

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 9 (1285) 2018

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 р.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285) – 275 с.

Державне видання
Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською, російською та англійською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, від 15 грудня 2015 р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015 р.

Координаційна рада:

Л. Л. Говажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: Р. С. Томашевський, канд. техн. наук, доц.,

С.І. Меньшикова, канд. фіз.-мат. наук.

Члени редколегії: Л. Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; Б. В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.; О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.; Г. І. Львов, д-р техн. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; М. І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; Р. Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.; В. І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.; О. Ю. Заковоротний, канд. техн. наук, доц.; О. О. Ларін, канд. техн. наук, доц.; В. В. Куліченко, канд. техн. наук, доц.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Нові рішення в сучасних технологіях», індексується в наукометричних базах **WorldCat, Google Scholar, Index Copernicus** і включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ «ХПІ»
Протокол № 3 від «30» березня 2018 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2018

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

**OF THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”**

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 9 (1285) 2018

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 275 p.

State edition

Certificate of State Committee of Ukraine for Information Policy KB №5256 from July 2, 2001

The collection is published in Ukrainian, Russian and English.

Bulletin of the National Technical University "KhPI" added to the "List of scientific professional publications of Ukraine, which can be published results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences", approved by the Certifying Board of MES of Ukraine on the activity academic councils, December 15, 2015 . Order number 1328 (appendix 8) of 12.21.2015 p.

Coordinating Board:

L. L. Tovazhnyanskyy, Dr. Tech. Sci., Prof. (**chief**);

K. A. Gorbunov, PhD. Tech. Sci., доц. (**secretary**);

A. P. Marchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; Ye. I. Sokol, member NAS of Ukraine, Dr. Tech. Sci., Prof.; E. E. Aleksandrov, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. V. Boyko, Dr. Tech. Sci., Prof.; F. F. Gladkiy, Dr. Tech. Sci., Prof.; M. D. Godlevskiy, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. I. Grabchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. G. Danko, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. D. Dmitrienko, Dr. Tech. Sci., Prof.; I. F. Domnin, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. V. Epifanov, PhD. Tech. Sci., Prof.; Yu. I. Zaytsev, PhD. Tech. Sci., Prof.; P. A. Kachanov, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. B. Klepikov, Dr. Tech. Sci., Prof.; S. I. Kondrashov, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. I. Kravchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; G. V. Lisachuk, Dr. Tech. Sci., Prof.; O. K. Morachkovsky, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. I. Nikolaenko, PhD. Hist. Sci, Prof.; P. G. Pererva, Dr. Econ. Sci., Prof.; V. A. Pulyaev, Dr. Tech. Sci., Prof.; M. I. Rishchenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. B. Samorodov, Dr. Tech. Sci., Prof.; G. M. Suchkov, Dr. Tech. Sci., Prof., Yu. V. Timofeev, Dr. Tech. Sci., Prof., M. A. Tkachuk, Dr. Tech. Sci., Prof.

Editorial Board:

Editor: Ye. I. Sokol, member NAS of Ukraine, Dr. Tech. Sci., Prof.

Secretary: R. S. Tomashevskiy, PhD. Tech. Sci.

S. I. Menshikova, PhD. Phys.-Math. Sci.

Members of the editorial board: L. L. Bragina, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. G. Danko, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. T. Dolbnya, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. Y. Zaruba, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. B. Klepikov, Dr. Tech. Sci., Prof.; B. V. Klymenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. S. Kutsenko, Dr. Tech. Sci., Prof.; G. I. Lvov, Dr. Tech. Sci., Prof.; P. G. Pererva, Dr. Econ. Sci., Prof.; N. I. Pogorelov, PhD. Econ. Sci, Prof.; L. G. Raskin, Dr. Tech. Sci., Prof.; R. D. Sytnik, Dr. Tech. Sci., Prof.; V. I. Shustikov, Dr. Tech. Sci., Prof.; A. U. Zakovorotnij, PhD. Tech. Sci.; A. A. Larin, PhD. Tech. Sci.; V. V. Kulichenko, PhD. Tech. Sci.

Bulletin of the National Technical University "KPI" series "New solutions in modern technologies," scientometric databases indexed in WorldCat, Google Scholar, Index Copernicus and included in the directory of periodicals database Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Recommended for publication by the Academic Council of NTU "KhPI"
Protocol number 3 of March, 30, 2018

© National Technical University "KhPI", 2018

УДК 621.914

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.01

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПЯТИОСЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ФОРМ ТИПА МОНОКОЛЕСО ИЗ МОНОЛИТНОЙ ЗАГОТОВКИ

И. В. БОНДАРЬ*, Д. В. КРИВОРУЧКО

Кафедра «Технология машиностроения, станки и инструменты», Сумский государственный университет, Сумы, УКРАИНА

**email: ishkabond@gmail.com*

АННОТАЦИЯ В настоящее время детали машин становятся все более сложными и точными. В этих условиях применение многоосевых станков с ЧПУ является действенным решением поставленных задач, так как различные компоновки этих станков позволяют обрабатывать детали разной серийности, габаритов и конфигураций. В работе представлена классификация деталей, требующих пятиосевой обработки. Рассмотрены особенности и резервы повышения эффективности пятиосевой обработки выделенных типов деталей. Отдельно рассмотрены методы повышения эффективности пятиосевой обработки деталей сложных форм (типа турбинных лопаток, крыльчаток и др.) на всех этапах обработки (черновая обработка; получистовая обработка; чистовая обработка). Выделены моменты, которым следует уделять особое внимание при пятиосевой обработке деталей сложных форм типа моноколесо из монолитной заготовки.

Ключевые слова: пятиосевая обработка; детали сложных форм; моноколесо; вибрация; стратегия обработки.

REVIEW OF MODERN METHODS OF FIVE-AXIS MACHINING ON CNC MILLING MACHINES OF COMPLEX PARTS SUCH AS BLISK FROM MONOLITHIC BILLET

I. BONDAR¹*, D. KRIVORUCHKO²

Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

ABSTRACT At the present time, the parts of the machines are becoming more complex and precise. This requires the development of new machining technologies. In these conditions, multi-axis CNC machining is one of those technologies. Various configurations of five-axis machines allow processing parts of different series, dimensions and configurations. In spite of the 20-year history of development, this approach still requires increasing efficiency in implementation to modern tasks. This article presents classification of the parts requiring five-axis machining. Three types of parts are identified: prismatic parts; molds, stamps; parts of complex forms. Each of the types of parts requires different approaches to processing, different methods for improving efficiency. The features of processing of parts of complex forms such as blisk are considered separately. In this article methods of increasing the efficiency of five-axis machining of complex parts (such as turbine blades, impellers, etc.) at all stages of processing (roughing, semi-finished processing, finishing) are considered. It was noted that special attention during the machining of blisk should be given:

- to the control of collisions between machine components and parts;
- to control and reduce of vibration during the machining of thin-walled parts;
- to simulation of machining on the machine;
- to productivity issues.

All listed items are detailed in this article.

Keywords: Five-axis machining; parts of complex forms; blisk; machining strategy; the trajectory of machining; vibration.

Введение

В современных условиях высокой конкуренции вопросы повышения качества производимой продукции и сокращения сроков изготовления актуальны во всех отраслях машиностроения. Следовательно, растет потребность изготовления детали на одном станке (см. рис 1) с минимальным количеством установов, что значительно сокращает время изготовления детали и способствует повышению ее качества. Пятиосевая обработка обеспечивает возможность изготовления пространственно сложных деталей современных машин с высокой точностью и качеством.

На рынке пятиосевых обрабатывающих центров представлено огромное количество моделей различных компоновок, что позволяет обрабатывать детали различной серийности, габаритов и конфигурации [1]. Следует учитывать, что детали различных конфигураций и назначения требуют различных подходов к обработке.

Вместе с тем представленные на рынке технические решения, реализующие пятиосевую обработку на фрезерных станках с ЧПУ, все еще требует совершенствования и повышения эффективности для реализации современных задач.

Цель работы

Целью данной работы является разделение деталей, требующих пятиосевой обработки, на классы с выявлением основных моментов, на которые следует обратить внимание, выявление основных тенденций в развитии пятиосевой обработки деталей сложных форм (типа моноколесо) и резервов повышения ее эффективности.

Классификация деталей, требующих пятиосевой обработки

Пятиосевая обработка является современным трендом в металлообрабатывающей промышленности, обеспечивая широкие технологические возможности изготовления

пространственно сложных изделий. Компоновки пятиосевых станков дают возможность обрабатывать детали различной серийности, габаритов, конфигураций. Но следует учитывать особенности обработки деталей различной конфигурации и применяемости.

В зависимости от конфигурации детали, требующие пятиосевой обработки можно разделить на три типа (рис. 2):

- призматические детали;
- пресс-формы, штампы;
- детали сложных форм (типа турбинных лопаток, крыльчаток и др).

Разделены детали таким образом потому, что у каждого из типов деталей есть свои нюансы при обработке, способы повышения эффективности производимой продукции.

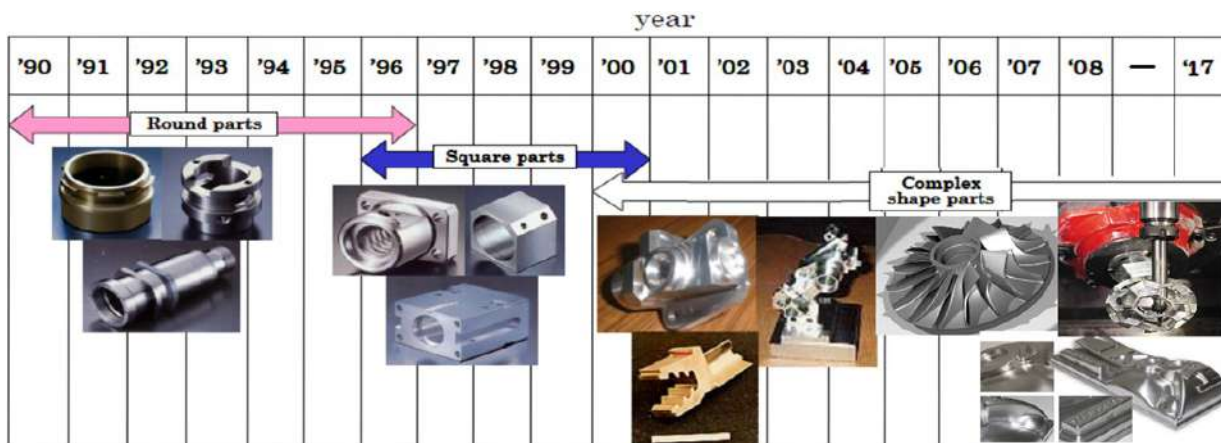


Рис. 1 - Изменение сложности деталей, изготавливаемых на одном станке



Рис. 2 - Классификация деталей, требующих пятиосевой обработки

Например, при обработке **призматических деталей** траектории движения инструмента обычно не характеризуются большой сложностью, но в данном типе деталей актуальна минимизация времени обработки. В настоящее время для сокращения времени обработки существует множество способов. Выбор оптимальной траектории обработки – одно из перспективных направлений, активно

развивающихся. На рис. 3 для примера представлено сравнение стандартной и усовершенствованной трохоидальной стратегий обработки. Последняя характеризуется сглаженными траекториями, что в отличие от острых углов в стандартной стратегии не влечет за собой движение инструмента с ускорением и как следствие ускоренного износа инструмента. При обработке неравномерных поверхностей (канавок,

выступов) детали с использованием усовершенствованной трохойдальной стратегии обработки обеспечивается постоянный угол перекрытия, что обеспечивает [2, 3]:

- длительный срок службы инструмента;
- высокую производительность.

Последняя разработка в данном направлении – стратегия Vortex (стратегия для высокоскоростной и пятиосевой обработки). Данная стратегия представляет собой генерацию САМ-системой особых «вихревых» траекторий, обеспечивающих постоянный угол перекрытия. Как следствие, обеспечиваются стабильные режимы резания.

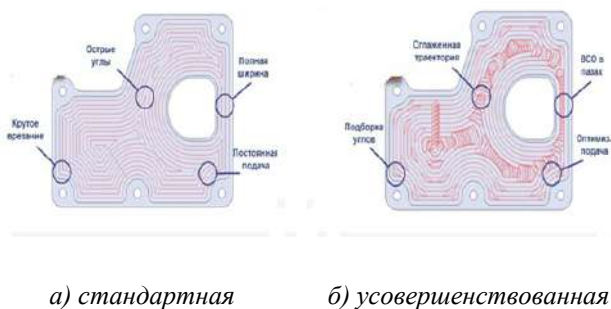


Рис. 3 – Тенденции усовершенствования современной стратегии обработки

Другой подход к уменьшению времени обработки – сокращение и оптимизация пути траектории инструмента при обработке. Так в [4] описан метод определения ширины обработки (рассчитанной как пересечение эллиптического профиля, являющийся проекцией нижней части инструмента в плоскость перпендикулярную направлению подачи) с дальнейшим генерированием траектории инструмента с постоянной высотой гребешка для концевых фрез. В дальнейшем метод определения ширины обработки был уточнен и усовершенствован [5-7]. Однако все эти методы вычисляют ширину полосы обработки в определенном месте на основе одной позы инструмента, что приводит к существенным ошибкам в предсказании гребешка, так как движение инструмента до и после определенного положения влияет на форму удаляемого материала. В [8] описан алгоритм, основанный на более точном и реалистичном расчете ширины полосы обработки и генерации траектории пятиосевого инструмента. Как только позиции инструмента известны, можно рассчитать ширину полосы обработки (синяя и красная кривая на рисунке 4). Проанализировав ширину полосы механической обработки (рис.4 (справа)), можно заметить, что в некоторых регионах траектория инструмента слишком сильно перетекает в необработанную зону, оставляя остаток материала на границе, в то время как в других зонах эффективность обработки очень низкая (синяя кривая почти на

границе линии без обработки). Это означает, что части траектории инструмента должны быть отрегулированы для лучшего использования ширины полосы обработки (зона с низкой эффективностью на рисунке 4), либо ближе к границе, чтобы полностью обработать необработанную область на границе.

Для деталей типа **пресс-форм** характерно:

- изготавливаются из твердых материалов;
- к ним выдвигаются высокие требования к качеству поверхности.

При обработке формообразующей оснастки (например, штампов, пресс-форм, литейных форм и т. д.) большое внимание уделяют качеству поверхности, производительности обработки, возможности использовать закаленные материалы. Здесь очень эффективны высокоскоростная обработка, симуляция обработки и возможность автоматического отслеживания изменений в конструкции изделия или оснастки.

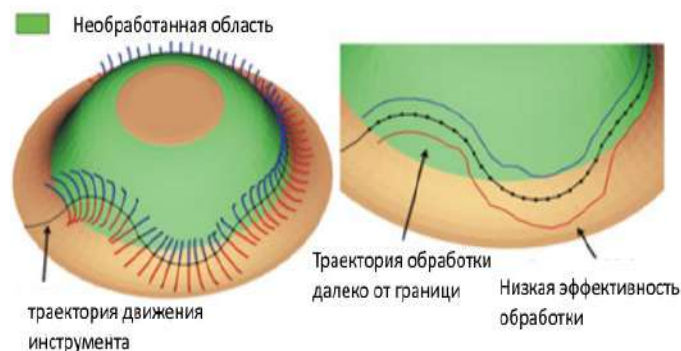


Рис. 4 - Анализ траектории обработки

Особенности обработки деталей сложных форм типа моноколеса

Детали сложных форм типа турбинных лопаток, моноколеса и т. д. являются одними из основных элементов лопаточных машин, которые в зависимости от взаимодействия с потоком рабочей среды бывают разных типов (рис. 5) [9]. В зависимости от типа лопаточной машины и конкретной конструкции рабочие колеса также будут различными по конфигурации и конструктивно-технологическому признаку. Различают два класса рабочих колес в зависимости от конструктивно-технологического признака (рис. 6) [10, 11]:

- рабочие колеса, с лопатками и диском изготавливаемыми отдельно (рис. 6, а);
- моноколеса, с лопатками и диском изготавливаемыми как единое целое (рис. 6, б).

Не зависимо от класса и конкретной конфигурации рабочих колес существует ряд характеристик, важных при обработке на пятикоординатном обрабатывающем центре, схожих для всех рабочих колес:

- характеризуются сложной геометрией;

- характеризуются сложными 5-осевыми траекториями;
- характеризуются понижением жесткости в области тонкостенных элементов детали;
- часто изготавливаются из труднообрабатываемых материалов.

При обработке рабочих колес особое внимание следует уделять:

- контролю над столкновениями узлов станка и элементов детали;
- контролю и понижению вибрации при обработке тонкостенных элементов детали;
- симуляции обработки на станке;
- вопросам повышения производительности.



Рис. 5 - Типы лопаточных машин

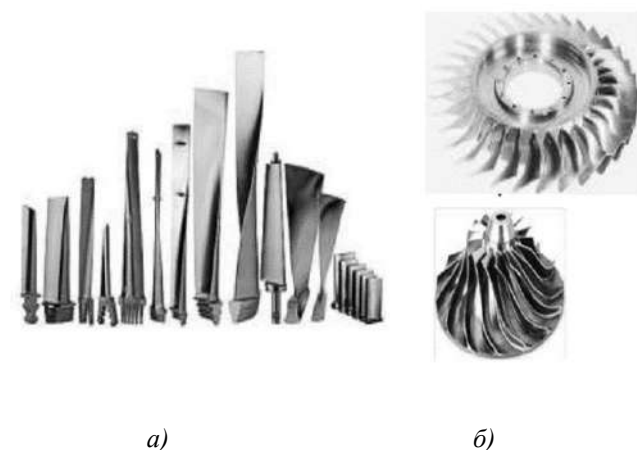


Рис. 6 - Классы рабочих колес в зависимости от конструктивно-технологического признака

Пятиосевая обработка является наиболее актуальным методом изготовления моноколес из монолитной заготовки [12]. Техпроцесс фрезерования можно подразделить на три этапа [13]: черновая обработка; получистовая обработка; чистовая обработка.

На этапе черновой обработки заготовки при изготовлении моноколеса удаляется практически весь объем металла из межлопаточного пространства.

Также на этом этапе, если это необходимо, выравниваются припуски на поверхностях спинки и корыта пера лопатки и поверхности втулки.

Конечный результат черновой обработки - заготовка с равномерным слоем припуска [14]. При обработке на трехкоординатном станке черновая обработка межлопаточного пространства осуществляется последовательно с двух сторон, далее необходимо повернуть делительный диск стола приспособления с заготовкой на шаг следующей лопатки, и повторить цикл обработки сначала необходимое количество раз. Пятиосевая же обработка позволяет выполнить данную операцию за один установ, чем существенно сокращает время обработки [15].

Задачей технолога-программиста на этапе получистовой обработки является обеспечение точности размеров, форм и расположения поверхностей, как указано в требованиях рабочего чертежа.

Чистовая обработка является окончательным этапом и должна обеспечивать требуемое качество поверхностного слоя (шероховатость и т.д.).

Методы черновой обработки рабочего колеса типа моноколесо из монолитной заготовки

Черновая обработка рабочего колеса типа моноколесо из литой заготовки предполагает прорезку межлопаточных каналов, при этом удаляется практически весь объем металла из межлопаточного пространства.

Предварительная прорезка производится фрезами различной конфигурации со своими достоинствами и недостатками.

Один из способов прорезки межлопаточных каналов - прорезка дисковой фрезой. Данный тип обработки высокопроизводительный. Недостаток данного метода: невозможно обрабатывать моноколесо с большой закруткой пера лопатки.

Второй способ - фрезерная обработка концевой фрезой, данный метод является более востребованным. Обработку концевой фрезой можно выполнить различными стратегиями: плоская обработка по строкам; вертикальное (плунжерное фрезерование).

При строчном фрезеровании межлопаточный канал образуется в следствии многопроходного огибания лопатки конической фрезой с постоянным перемещением по ее высоте. Метод строчного фрезерования обеспечивает более ровный сьем материала, чем при плунжерном фрезеровании и позволяет избежать уступов на обрабатываемой поверхности [16].

Плунжерное фрезерование предполагает обработку торцевой поверхностью и движение подачи вдоль оси фрезы (рис. 8). Применение плунжерного фрезерования (в сравнении со строчным) позволяет повысить жесткость и уменьшить вибрацию во время

процесса резания, так как повышается стойкость инструмента за счет того, что основное усилие резания направлено вдоль оси инструмента [16]. Как следствие – повышается производительность, так как повышенная стойкость инструмента позволяет повысить подачу до максимально возможной для конкретного станка [17, 18]. Недостатком данного метода является более высокое значение межстрочных гребешков, чем при строчном фрезеровании [18].

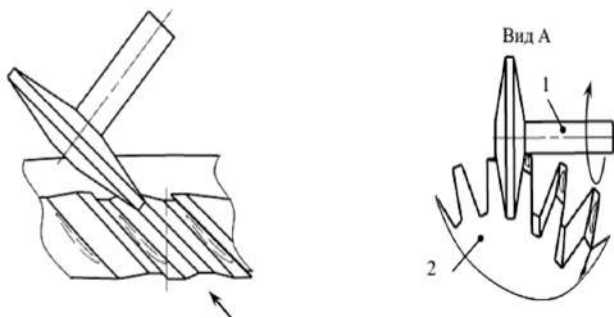


Рис. 7 - Прорезка межлопаточных каналов осевых моноколес дисковой фрезой:
1 – дисковая модульная фреза;
2 – монолитная заготовка.

Один из способов повышения производительности прорезания межлопаточных каналов из цельной заготовки является применение кольцевого инструмента (инструмента в виде тела вращения, имеющего внутреннюю полость, с режущими кромками, расположенными на наружной, внутренней и торцевой части инструмента) [9]. На данный момент исследованы несколько типов кольцевых инструментов, которые могут применяться для прорезания межлопаточных каналов моноколеса:

- кольцевая фреза;
- кольцевая пила;
- чашечный алмазный круг.

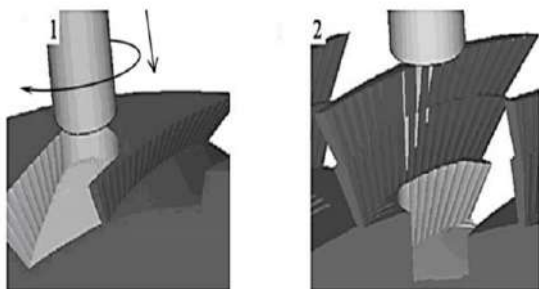


Рис. 8 - Плу́нжерное фрезерование межлопаточного канала [18]:
1 – межлопаточный канал в начале обработки;
2 – межлопаточный канал в конце обработки

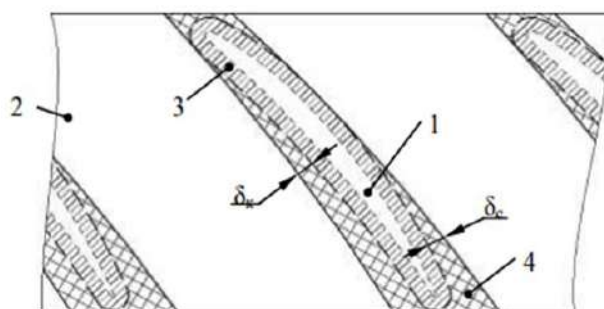


Рис. 9 - Погрешность формообразования межлопаточных каналов кольцевым инструментом:
1 – теоретический профиль пера лопатки;
2 – удаленный объем материала межлопаточного канала;
3 – слой притупска;
4 – слой металла, образованный из-за погрешности формообразования.

В процессе обработки отмечается значительная погрешность формообразования δ , причиной возникновения которой является несоответствие профиля лопаток и формообразующего кольцевого инструмента (рис. 9) [19]. Уменьшается погрешность путем подбора оптимальных параметров режущего инструмента (максимальная и минимальная ширина режущей части, диаметр инструмента и глубина внутренней полости) в зависимости от геометрических параметров моноколеса. Также следует отметить, что максимально приближенную к теоретической форме межлопаточного канала можно получить при увеличении количества осей управления, следовательно, пятиосевая обработка позволяет уменьшить погрешность формообразования по сравнению с трехосевой и является предпочтительной. Один из главных недостатков данной технологии обработки - отсутствие автоматизированных методик управления движением кольцевого инструмента, а ручной расчет очень трудоемкий. Автоматизированные методики современных САМ-систем способны рассчитать траекторию движения инструмента с внешней и торцевой режущей частью. Следовательно, необходимо произвести дополнительные построения, чтобы система учитывала внутреннюю режущую часть.

Методы понижения вибрации при обработке тонкостенных элементов моноколеса

При фрезеровании тонкостенных элементов деталей, таких как компрессорные лопатки на пятиосевых обрабатывающих центрах одной из основных проблем является вибрация, которая возникает вследствие низкой жесткости лопатки, низкой жесткости пятиосевого станка по сравнению с трехосевым таких же габаритов и снижение

жесткости СПИД системы в целом из-за ее сложной пространственной конфигурации [1, 20]. Возникающая вибрация отрицательно влияет на качество обработанной поверхности, точности изготовления, может привести к образованию на обработанной поверхности дефектов и порче детали, снижению эффективности обработки [21].

Один из методов понижения вибрации на этапе получистовой и чистовой обработок является применение демпфирующих сред. Демпфирующая среда, которая заполняет межлопаточное пространство обрабатываемых моноколес, способствует [9, 22, 23]:

- повышению жесткости тонкостенного элемента детали;
- уменьшает значение отклонения тонкостенного элемента детали от положения равновесия в момент резания фрезой;
- эффективно подавлению колебаний тонкостенного элемента детали во время холостого хода, между двумя резами соседних зубьев фрезы;
- повышению качества обработанной поверхности.

Для оценки зон устойчивости к автоколебаниям применяют так называемые «лепестковые диаграммы» (рис. 10) [24], определяемые расчетом для данного инструмента и технологической системы. Информация о нестабильных (зоны над кривой) и стабильных (зоны под кривой) областях позволяет определить глубину резания в соответствии со скоростью вращения шпинделя, при которой технологическая система будет виброустойчивой [25, 26]. Однако, диаграммы стабильности не постоянны в процессе обработки, т.к. по мере удаления припуска изменяются и динамические условия резания [27].

На понижение вибрации при пятиосевой обработке можно повлиять при помощи выбора инструмента подходящей геометрии [24]. Так, более жесткой и прочной будет фреза с большим диаметром, следовательно, нужно выбирать максимально возможный диаметр фрезы исходя из геометрии обрабатываемой детали. Если диаметры одинаковы – более виброустойчив будет инструмент с большим количеством зубьев, но с увеличением количества зубьев ухудшается отвод стружки, это тоже следует учитывать. В диапазоне возникновения регенеративных автоколебаний эффективным будет применение фрез с зубьями, заточенными по задней поверхности, фрез с переменным шагом зубьев [29], фрез с разницей в углах наклона соседних зубьев [30]. Регенеративные автоколебания возникают только в определенном диапазоне частот вращения шпинделя. Если определяющее соотношение (ОС) - отношение времени резания одним зубом (трез) к периоду собственных колебаний элемента заготовки или технологической системы (Тскз), находится в диапазоне от 1 до 7, то возникают регенеративные автоколебания. Если ОС не находится в этом диапазоне, возникают вынужденные колебания и

применение несимметричных фрез будет неэффективно и может привести к возбуждению дополнительной неуравновешенности процесса обработки [31].

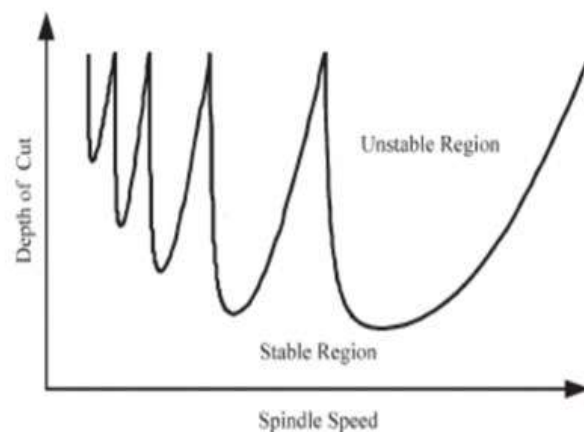


Рис. 10 - Типичная лепестковая диаграмма стабильности

Стратегия обработки

При пятиосевой обработке моноколес ввиду их сложной тонкостенной поверхности, узкого межлопаточного пространства, все еще есть много проблем с точностью, качеством и эффективностью обработки. Обработка условно подразделяется на обработку лопатки, межлопаточного пространства (ступицы), рассекателя и связующих их элементов (бандажа и скругления лопатки) (см. рис.11). Основными стратегиями обработки, реализуемыми в современных САМ-системах, для обработки являются «проекция поверхности» (для обработки межлопаточного пространства) и «бокком фрезы» (для обработки лопаток колеса компрессора) [32]. Недостаток стратегий – большой вылет инструмента и зарезы и требуется корректировка программы вручную. Общий смысл редактирования данной стратегии заключается в том, чтобы переориентировать ось инструмента посередине межлопаточного пространства и тем самым уменьшить вылет фрезы и исключить возможность зарезов. Классический метод решения данной задачи требует от инженера-программиста глубоких знаний в пятиосевой обработке, умения строить справочные поверхности в САД системе. Время программирования может занимать от нескольких часов до нескольких дней (в зависимости от сложности изделия).

Более современный метод обработки- применение модуля «моноколесо», доступного в современных САМ-системах. С использованием данного модуля инженер-программист выбирает геометрию, определяющую моноколесо или крыльчатку в отдельные наборы данных; задает

величины глубины и ширины резания; способ наклона фрезы (атаки). Далее программа автоматически определяет угол наклона поверхностей лопаток, образующих межлопастное пространство, что позволяет создать траекторию без разрывов, что является важным при обработке моноколеса, так как в некоторых случаях вертикальное врезание в материал (возникает из-за разрыва траектории) не допустимо. В данном модуле обработка лопаток ведется вершиной фрезы, что специально предусмотрено для фрезерования прочных сплавов, однако для фрезерования боковых поверхностей лопаток моноколеса, изготовленных, например, из алюминиевых сплавов, более эффективной будет обработка боковых поверхностей боком фрезы. По сравнению с классическими стратегиями обработки применение модуля «моноколесо» сокращает время программирования более чем в два раза [32].

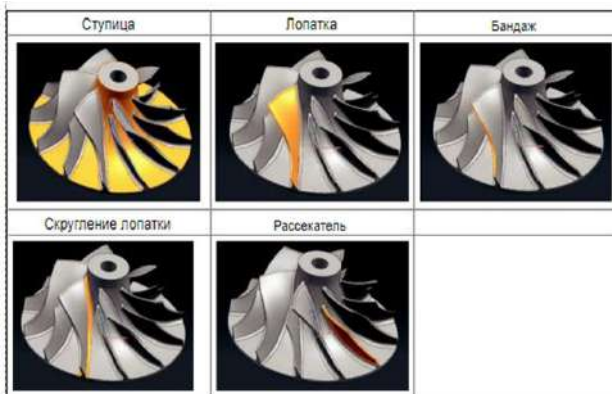


Рис. 11 - Схема обработки моноколеса

Выводы

Различие конфигураций и применяемости деталей требует различных подходов к их обработке. В зависимости от конфигурации выделено три типа деталей: призматические детали; пресс-формы, штампы; детали сложных форм (типа турбинных лопаток, моноколес и др).

Деталям призматической конфигурации не свойственны сложные траектории, но актуальна минимизация времени обработки. Детали типа пресс-форм часто изготавливаются из твердых материалов, при их изготовлении большое внимание уделяют качеству поверхности. Детали сложных форм (типа турбинных лопаток, моноколес и др) характеризуются сложной геометрией; сложными 5-осевыми траекториями; понижением жесткости в области тонкостенных элементов детали; часто изготавливаются из труднообрабатываемых материалов. При обработке каждого типа деталей необходимо учитывать все их особенности и предъявляемые к ним требования.

При фрезеровании тонкостенных элементов деталей, таких как компрессорные лопатки на

пятиосевых обрабатывающих центрах одной из основных проблем является вибрация, которая возникает вследствие низкой жесткости лопатки, низкой жесткости пятиосевого станка по сравнению с трехосевым таких же габаритов и снижение жесткости СПИД системы в целом из-за ее сложной пространственной конфигурации

В силу того, что виброустойчивость процесса фрезерования зависит не только от режимов резания, но и от жесткости технологической системы в текущем ее состоянии перспективным направлением является разработка САМ систем, способных еще на стадии проектирования обработки спрогнозировать и учесть деформацию и вибрационное состояние технологической системы, внося, например, поправки в траекторию инструмента и режим резания.

Список литературы

1. **Бондарь, И. В.** Пятиосевая обработка на фрезерных станках с ЧПУ / **И. В. Бондарь, Д. В. Криворучко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № № 7 (1229). – С. 10-17. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.02.
2. **Евченко, К.** Стратегия Vortex и технология оптимизации MachineDNA от компании Delcam – новые возможности для повышения производительности фрезерной обработки / **К. Евченко, Д. Маслов, А. Пинчук, С. Таликин** // *Оборудование и инструмент для профессионалов.* – 2013. – №1. – С. 112-115.
3. **Евченко, К.** PowerMILL 2013: стратегия Vortex и новые возможности для программирования пятиосевой обработки / **К. Евченко, А. Пинчук** // *САПР и графика.* – 2012. – №11. – с. 88-91.
4. **Lee, Y-S.** Adaptive Tool Path Planning for 5-axis Sculptured Surface Machining by Machining Strip Evaluation / **Y-S. Lee** // *SSM '98: Proceedings of the IFIP TC5 WG5.3 International Conference on Sculptured Surface Machining.* – 1999. – 351–360. – doi 10.1007/978-0-387-35392-0_36.
5. **Chiou, C-J.** A Machining Potential Field Approach to Tool Path Generation for Multi-axis Sculptured Surface Machining / **C-J. Chiou, Y-S. Lee** // *Computer-Aided Design.* – 2002. – 34. – 357–371. – doi 10.1016/S0010-4485(01)00102-6.
6. **Tournier, C.** Iso-scallop Tool Path Generation in 5-axis Milling / **C. Tournier, E. Duc** // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2005. – 25. – 867–875. – doi 10.1007/s00170-003-2054-7.
7. **Barakchi Fard, M.** Effect of Tool Tilt Angle on Machining Strip Width in Five-axis Flat-end Milling of Free-form Surfaces / **M. Barakchi Fard, H-Y. Feng** // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2009. – 44. – 211–222. – doi 10.1007/s00170-008-1828-3
8. **Lauwers, B.** Five-axis milling tool path generation with dynamic step-over calculation based on integrated material removal simulation / **B. Lauwers, D. Plakhotnik** // *Manufacturing Technology.* – 2012. – №61. – P. 139-142. – doi 10.1016/j.cirp.2012.03.090

9. **Курьлев, Д.** Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом / **Д. Курьлев**: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), Казань, 2016. 134 с.
10. **Тихонов, Н. Т.** Теория лопаточных машин авиационных газотурбинных двигателей. Курс лекций. / **Н. Т. Тихонов, Н. Ф. Мусаткин, В. Н. Матвеев**. Изд-во СГАУ, Самара. 2001. – 155 с.
11. **Богуслаев, В. А.** Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I. Монография / **В. А. Богуслаев**. Запорожье: ОАО «Мотор Сич». – 2003. – 396 с.
12. **Крымов, В. В.** Производство лопаток газотурбинных двигателей / **В. В. Крымов, К. И. Зудин, Ю. С. Елисеев**. М.: Машиностроение, 2003. – С. 376.
13. **Гейкин, В. А.** Технология производства двигателей нового поколения / **В. А. Гейкин, Н. И. Шаронова** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2010. – Т. 3, № 2 (45). – С. 11–13.
14. **Багров, С. В.** Оптимизация технологических процессов изготовления осевых моноколес компрессоров газотурбинных двигателей / **С. В. Багров, Л. Б. Уваров** // *Полет. Изд-во: Машиностроение*. – 2009. №12. – С. 24-32.
15. **Лунев, А. Н.** Обзор прогрессивных методов изготовления осевых моноколес авиационных газотурбинных двигателей / **А. Н. Лунев, Д. В. Курьлев** // *Фундаментальные исследования*. – 2016. - № 6-1. – с. 78-82.
16. **Кондратюк, Э. В.** Повышение эффективности процесса ВСФ центробежных колёс за счёт оптимизации режимов резания и использования высокопроизводительных методов обработки / **Э. В. Кондратюк, Г. В. Пухальская, В. Г. Жарик и др.** // *Вестник двигателестроения*. – 2012. – № 1. – С. 103-113.
17. **Панасенко, В. А.** Черновая обработка центробежных моноколёс ГТД с применением плунжерного фрезерования на обрабатывающих центрах с ЧПУ / **В. А. Панасенко, А. Я. Качан, В. Ф. Мозговой** // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 7. – С. 48-52.
18. **Witty, M.** Cutting tool geometry for plunge milling - process optimization for a stainless steel / **M. Witty, T. Bergs, A. Schafer, G. Cabral** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2013. – Vol. 213, Is. 8. – P. 1378-1386. – doi 10.1016/j.procir.2012.04.090.
19. **Лунев, А. Н.** Расчет кинематической погрешности при обработке кольцевым инструментом межлопаточного канала моноколес ГТД / **А. Н. Лунев, Л. Т. Моисеева, А. В. Стариков, Р. С. Ермаков** // *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. – 2007. – № 3. – С. 72-74.
20. **Болсуновский, С.** Применение специальных гасителей вибраций при чистовом фрезеровании тонкостенных деталей/ **С. Болсуновский, В. Вермель, Г. Губанов** // *САПР и графика*. – 2014. - №8. – с. 110 – 112.
21. **Junjin, M.** Vibration suppression of thin-walled workpiece machining considering external damping properties based on magnetorheological fluids flexible fixture / **M. Junjin, Z. Dinghua, W. Baohai L. Ming, Ch. Bing** // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2016. – Volume 29, Issue 4. – P. 1074-1083. – doi 10.1016/j.cja.2016.04.017.
22. **Внуков, Ю. Н.** Влияние демпфирующих сред на снижение вибраций упругой системы тонкостенной детали / **Ю. Н. Внуков [и др.]** // *Сучасні технології в машинобудуванні*: зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – Вип. 8. – С. 85-100.
23. **Внуков, Ю. Н.** Опробование усовершенствованной технологии подготовки и нанесения демпфирующей среды на моноколеса ГТД при концевом фрезеровании / **Ю. Н. Внуков, А. И. Гермашев, В. Ф. Мозговой, К. Б. Балушок, Э. В. Кондратюк** // *Вестник двигателестроения*. - 2015. - № 1. - С. 128-130.
24. **Внуков, Ю. Н.** Эволюция развития исследований сил при цилиндрическом фрезеровании от статических к динамическим условиям обработки (часть 2) / **Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя, Е. Б. Козлова** // *Сучасні технології в машинобудуванні*. – 2016. – вип. 11. – С. 20 - 41.
25. **Reza Kashyzadeh, K.** Study of Chatter Analysis in Turning Tool And Control Methods – A Review / **K. Reza Kashyzadeh, M. J. Ostad-Ahmad-Ghorabi** // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2012. – Vol. 2, Issue 4. – P. 1-5.
26. **Le Lan, J.-V.** Providing stability maps for milling operation / **J.-V. Le Lan, A. Marty, J.-F. Debongnie** // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2007. – № 47. – P. 1493-1496. – doi 10.1016/j.ijmachtools.2006.09.026.
27. **Thevenot, V.** Integration of dynamic behaviour in stability lobes method: 3D lobes construction and application to thin walled structure milling / **V. Thevenot, L. Arnaud, G. Desein, G. Cazenave-Larroche** // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2006. - Vol. 27. - pp.638-644. – doi 10.1007/s00170-004-2241-1.
28. **Внуков, Ю. Н.** О влиянии конструктивных и геометрических характеристик концевых фрез на виброустойчивость процесса фрезерования / **Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя, Е. Б. Козлова** // *Резание и инструмент в технологических системах*. – 2016. – №86. – С. 7-17.
29. **Голдберг, М.** Увеличение производительности благодаря использованию инновационных инструментальных технологий / **М. Голдберг** // *Оборудование и инструмент для профессионалов*. – 2013. –№2. – С. 12-14.
30. **Winston A. Knight.** Fundamentals of Metal Machining and Maching Tools / **Winston A. Knight**. Geoffrey Boothoyd. Third Edition, 2005. – 608 p.
31. **Козлова, О. Б.** Пригнічення регенеративних автоколивань при фрезеруванні тонкостінного елемента деталі кінцевими циліндричними фрезами / **О. Б. Козлова**: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.01. Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун т., Харків, 2016. – 24 с.
32. **Тарабрин, Г.** САМ-система PowerMILL: изготовление моноколеса турбины за 2 часа! / **Г. Тарабрин, М. Савельев, А.Машков, С. Нестеров, Е. Коблова** // *САПР и графика*. – 2009. - №10. – с. 89 - 92.

Bibliography (transliterated)

1. **Bondar, I., Krivoruchko, D.** Five-axis machining on CNC milling machines. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), 10-17, doi: 10.20998/2413-4295.2017.07.02.
2. **Evchenko, K., Maslov, D., Pinchuk, A., Talikin S.** Vortex Strategy and Delphi MachineDNA Optimization Technology - New Opportunities for Improving Milling Performance. *Equipment and tools for professionals.* 2013, 1, 112-115.
3. **Evchenko, K., Pinchuk, A.** PowerMILL 2013: Vortex strategy and new possibilities for programming five-axis machining. *CAD and graphics.* 2012, 11, 88-91.
4. **Lee, Y-S.** Adaptive Tool Path Planning for 5-axis Sculptured Surface Machining by Machining Strip Evaluation. *SSM '98: Proceedings of the IFIP TC5 WG5.3 International Conference on Sculptured Surface Machining.* 1999, 351–360, doi: 10.1007/978-0-387-35392-0_36.
5. **Chiou, C-J., Lee, Y-S.** A Machining Potential Field Approach to Tool Path Generation for Multi-axis Sculptured Surface Machining. *Computer-Aided Design.* 2002, 34, 357–371, doi: 10.1016/S0010-4485(01)00102-6.
6. **Tournier, C., Duc, E.** Iso-scallop Tool Path Generation in 5-axis Milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2005, 25, 867–875, doi 10.1007/s00170-003-2054-7.
7. **Barakchi Fard, M., Feng, H-Y.** Effect of Tool Tilt Angle on Machining Strip Width in Five-axis Flat-end Milling of Free-form Surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2009, 44, 211–222, doi: 10.1007/s00170-008-1828-3.
8. **Lauwers, B., Plakhotnik, D.** Five-axis milling tool path generation with dynamic step-over calculation based on integrated material removal simulation. *Manufacturing Technology.* 2012, 61, 139-142, doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.090.
9. **Kurylev, D.** Fundamentals of multi-coordinate shaping of interlace channels of axial monocals under preliminary cutting with a ring tool: dis. ... cand. tech. Sciences: spec. 05.02.07. Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev (KNITU-KAI), Kazan, 2016, 134 p.
10. **Tikhonov, N. T., Musatkin, N. F., Matveev, V. N.** The theory of scapular machines of aviation gas turbine engines. *Lecture course. SGAU Publishing House, Samara.* 2001, 155 p.
11. **Boguslaev, V. A.** Technological support of operational characteristics of GTE parts. *Compressor and fan blades. Part I. Monograph Zaporozhye: Motor Sich JSC.* 2003, 396.
12. **Krymov, V. V., Zudin, K. I., Eliseev, Yu. S.** Production of gas turbine engine blades. - *M. : Mechanical Engineering,* 2003, 376.
13. **Geikin, V. A., Sharonova, N. I.** The technology of production of new generation engines. *East-European Journal of Advanced Technologies.* 2010, 3, 2 (45), 11-13.
14. **Bagrov, S. V., Uvarov, L. B.** Optimization of technological processes for the manufacture of axle monocals of gas turbine engine compressors. *Flight.* Publishing house: Mechanical engineering. 2009, 12, 24-32.
15. **Lunev, A. N., Kurylev, D. V.** Review of progressive methods of manufacturing axial monocoles of aeronautical gas turbine engines. *Fundamental research.* 2016, 6-1, 78-82.
16. **Kondratyuk, E. V., Pukhalskaya, G. V., Zharik, V. G., etc.** Improving the efficiency of the WSF process for centrifugal wheels by optimizing cutting modes and using high-performance processing methods. *Vestnik engine building.* 2012, 1, 103-113.
17. **Panasenko, V. A., Kachan, A. Ya., Mozgovoy, V. F.** Roughing of centrifugal mono-wheels of GTE using plunger milling on CNC machining centers. *Aviation and space technology and technology.* 2011, 7, 48-52.
18. **Witty, M., Schafer, A., Cabral G.** Cutting tool geometry for plunge milling - process optimization for a stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology.* 2013, 213, 8, 1378-1386, doi: 10.1016/j.procir.2012.04.090.
19. **Lunev, A. N., Moiseeva, L. T., Starikov, A. V., Ermakov, R. S.** Calculation of the kinematic error in the processing of the interlop channel by the circular tool monocals GTE. *News of Higher Educational Institutions. Aviation equipment.* 2007, 3, 72-74.
20. **Bolsunovsky, S., Vermel, V., Gubanov, G.** Application of special vibration dampers for finishing milling thin-walled parts. *CAD and graphics.* 2014, 8, 110 - 112.
21. **Junjin, M., Dinghua, Z., Baohai, W., Ming, L., Bing Ch.** Vibration suppression of thin-walled workpiece machining considering external damping properties based on magnetorheological fluids flexible fixture. *Chinese Journal of Aeronautics.* 2016, 29, 4, 1074-1083, doi: 10.1016/j.cja.2016.04.017.
22. **Vnukov, Yu. N.,** Influence of damping media on the reduction of vibrations of an elastic system of a thin-walled component. *Modern technology in mechanical engineering: zb. sciences. etc. - Kharkiv: NTU "KhPI".* 2013, 8, 85-100.
23. **Vnukov, Yu. N., Germashev, A. I., Mozgovoy, V. F., Balushok, K. B., Kondratyuk, E. V.** Testing of the advanced technology of preparing and applying a damping medium on a mono-wheel GTE at the end milling. *Herald of engine building.* 2015, 1, 128-130.
24. **Vnukov, Yu. N., Dyadya, S. I., Kozlova, E. B.** Evolution of the development of the research of forces under cylindrical milling from static to dynamic processing conditions (part 2). *Modern technologies in machine building.* 2016, 11, 20 – 41.
25. **Reza Kashyzadeh, K., Ostad-Ahmad-Ghorabi, M. J.** Study of Chatter Analysis in Turning Tool And Control Methods – A Review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.* 2012, 2, 4, 1-5.
26. **Jean-Vincent Le Lan, Audrey Marty, Jean-Francois Debongnie.** Providing stability maps for milling operation. *International Journal of Machine Tools & Manufacture.* 2007, 47, 1493-1496, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.09.026.
27. **Thevenot, V., Arnaud, L., Dessein, G., Cazenave-Larroche G.** 'Integration of dynamic behaviour in stability lobes method: 3D lobes construction and application to thin walled structure milling?'. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2006, 27, 638-644, doi: 10.1007/s00170-004-2241-1.

28. **Vnukov, Yu. N.**, Dyadya, S. I., Kozlova, E. B. On the influence of constructive and geometric characteristics of end mills on the vibration resistance of the milling process. *Cutting and tools in technological systems*. 2016, **86**, 7-17.
29. **Goldberg, M.** Increasing productivity through the use of innovative instrumental technologies. *Equipment and tools for professionals*. 2013, **2**, 12-14.
30. **Winston A. Knight.** Fundamentals of Metal Machining and Maching Tools. *Geofrey Boothoyd*. 2005, Third Edition, 608.
31. **Kozlova, O. B.** Inhibition of regenerative self-oscillations during milling of a thin-walled element of a part by the end cylindrical cutters: Abstract of a thesis Cand. Tech. Sci. Diss. 05.03.01. Kharkiv Polytechnic Institute, National Academy of Sciences of Ukraine. tech Unitary. Kharkiv, 2016, 24 p.
32. **Tarabrin, G., Saveliev, M., Mashkov, A., Nesterov, S., Koblova, E.** CAM-system PowerMILL: a monocycle of a turbine for 2 hours! *CAD and graphics*. 2009, **10**, 89 - 92.

Сведения об авторах (About authors)

Бондарь Инна Владимировна – аспирант, Сумский государственный университет, аспирант кафедры «Технология машиностроения верстаты и инструменты», г. Сумы, Украина; e-mail: ishkaBond@gmail.com.

Inna Bondar – postgraduate, Sumy State University, postgraduate Department of Mechanical Engineering technology machines and tools, Sumy, Ukraine; e-mail: ishkaBond@gmail.com.

Криворучко Дмитрий Владимирович – доктор технических наук, доцент, Сумский государственный университет, ведущий научный сотрудник кафедры «Технология машиностроения верстаты и инструменты», г. Сумы, Украина; e-mail: dmytro.kryvoruchko@gmail.com.

Dmitrij Krivoruchko – Doctor of Technical Sciences, Docent, Sumy State University, Leading Researcher Department of Mechanical Engineering technology machines and tools, Sumy, Ukraine; e-mail: dmytro.kryvoruchko@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Бондарь, И. В. Обзор современных методов обработки деталей сложных форм типа моноколесо из монолитной заготовки / **И. В. Бондарь, Д. В. Криворучко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 5-14. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.01.

Please cite this article as:

Bondar, I., Krivoruchko, D. Review of modern methods of machining of complex parts such as blisk from a monolithic billet. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 5–14, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.01.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бондар, І. В. Огляд сучасних методів обробки деталей складних форм типу моноколесо з монолітної заготовки / **І. В. Бондар, Д. В. Криворучко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 5-14. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.01.

АННОТАЦІЯ В даний час деталі машин стають все більш складними і точними. У цих умовах застосування багатоосьових верстатів з ЧПУ є дієвим рішенням поставлених завдань, так як різні компонування цих верстатів дозволяють обробляти деталі різної серійності, габаритів і конфігурацій. В роботі подано класифікацію деталей, що вимагають п'ятиосьової обробки. Розглянуто особливості та резерви підвищення ефективності п'ятиосьової обробки виділених типів деталей. Окремо розглянуто методи підвищення ефективності п'ятиосьової обробки деталей складних форм (типу турбінних лопаток, крильчаток і ін.) На всіх етапах обробки (чорнова обробка; напівчистова обробка; чистова обробка). Виділено моменти, яким слід приділяти особливу увагу при п'ятиосьовій обробці деталей складних форм типу моноколесо з монолітної заготовки.

Ключові слова: п'ятиосьова обробка; деталі складних форм; моноколесо; вібрація; стратегія обробки.

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 644.4

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.02

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

И. Л. БОШКОВА, Н. В. ВОЛГУШЕВА

*Кафедра теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УКРАИНА
email: boshkova.irina@gmail.com

АННОТАЦИЯ Изучаются эффекты действия микроволнового электромагнитного поля на материалы растительного происхождения (семена, стебли травянистых растений). Показано, что в определенных режимах обработки наблюдается распушение целлюлозных волокон, что объясняется развитием больших градиентов давлений в материале. Приведены данные по оптимальным режимным параметрам для биостимуляции семян, стерилизации соломы при подготовке субстрата и экстрагированию веществ из некоторых видов растений. Проведена оценка энергетической эффективности методов микроволновой обработки на основе данных по КПД микроволновой камеры с загружаемым материалом. Определены условия достижения максимального КПД рабочей камеры при ее загрузке различными видами растительного материала.

Ключевые слова: микроволновое поле; растительная ткань; обработка; энергия; теплота; оптимальные параметры; коэффициент полезного действия

STUDY OF EFFICIENCY OF MICROWAVE PROCESSING OF MATERIALS OF PLANT ORIGIN

I. BOSHKOVA, N. VOLGUSHEVA

Odessa national academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The results of the investigation of the action of the microwave electromagnetic field on materials of plant origin for the purpose of determining optimal processing conditions in various technologies (seed biostimulation, heat treatment of a straw substratum, extraction of biologically active substances) are presented. The method of achieving this goal is a generalization of the calculated values for the heat of conversion of the microwave field energy when processing materials of different nature, with different moisture content and varying the loading of the microwave chamber. It is claimed that in order to obtain the effect of biostimulation, it is required to withstand the regime parameters at a level that does not allow the rupture of the cell walls, while in the preparation of the substrate this effect is preferable. When extracting biologically active substances (BAS), the development of pressure gradients in plant tissue helps to speed up the process, however, for every particular type of BAS, it is necessary to withstand the level of temperatures that can not damage the final product. The data on the optimal conditions for the microwave effect on a specific plant material for various technologies are obtained in the form of parameters such as the specific heat flux, the heating rate, and the processing time is obtained. On the basis of the calculations, the curves of the efficiency of the chamber on the mass of the material being loaded are obtained. Analysis of the curves led to the conclusion that when processing the plant materials under study, the ratio of the volume of the chamber to the volume of the material should be no less than ten. The maximum value of efficiency is achieved for the material, which is humidified according to technological conditions.

Keywords: microwave field; plant tissue; processing; energy; heat; optimal parameters; efficiency.

Введение

Нагрев в микроволновом электромагнитном поле материалов, содержащих полярные молекулы (такие как вода, спирты, жирные кислоты, белки) давно зарекомендовал себя как эффективный метод обработки, применение которого находят в различных областях техники. Однако развитие новых технологий микроволновой обработки чаще всего начинается с попыток замены традиционных источников тепла в существующих технологиях на источники микроволнового нагрева. Такая замена будет экономически выгодной в том случае, если она сопровождается комплексными исследованиями,

направленными на определение рациональных режимов. Новая микроволновая технология может оказаться конкурентоспособной, если позволяет получить конечный продукт, существенно превосходящий по своим свойствам получаемый при помощи традиционной технологии. Развитие различных применений микроволновой обработки обусловлено принципиальными физическими отличиями процессов и результатов от соответствующих традиционных технологий [1, 2].

Термообработка материалов растительного происхождения является определяющей для большинства технологических процессов, в частности, сушки, экстрагирования и биостимуляции.

Несмотря на свое разнообразие, растительные материалы имеют общую специфику, которая состоит в строении растительных клеток, анизотропии и наличия веществ со свойствами полярных диэлектриков. Энергетический кризис и увеличение спроса на продукцию улучшенного качества вызвали необходимость совершенствования традиционных технологий и развития новых. В этом направлении методы с использованием энергии микроволнового электромагнитного поля (МВ ЭМП) диэлектрических материалов давно зарекомендовали себя как высокоэффективные, применение которых признано целесообразным для модернизации ряда технологических схем производства и обработки материалов.

Как было установлено [3, 4], эффективность применения каждого из рассматриваемых методов связана с изменением структуры растительного материала в ходе МВ обработки. Если в методе биостимуляции семян одной из задач являлось исключение режимов, нарушающих целостность клеточных стенок [5], то при подготовке субстрата на основе соломы разрушение растительной структуры является желательным. Исследования [6] показали, что поверхность исходного соломистого материала представляет собой гладкую и относительно однородную поверхность по высоте, в то время как поверхность обработанного образца отличается существенной шероховатостью. Полученные результаты свидетельствуют о расширении капилляров вследствие микровзрывов.

В настоящее время созданы основы для практического применения в сельском хозяйстве микроволновой предпосевной технологии обработки семян [2, 3]. Оценка влияния времени микроволновой экспозиции на стимуляцию всхожести [7] демонстрирует наличие оптимума, при 10 с обработки всхожесть достигла максимума. Однако не отмечаются удельные затраты энергии (на килограмм семян) с учетом коэффициента полезного действия камеры. Было однозначно определено, что влияние обработки в МВ поле проявляется существенней на семенах с изначально невысокой всхожестью, чем на семенах, лабораторная всхожесть которых составляла выше 95 %. Воздействие микроволн значительно увеличило энергии прорастания и прорастания у 8-летних семян моркови [8]. Максимальное прорастание семян моркови было установлено на частоте 9,3 ГГц при воздействии до 5 мин. Действие микроволнового электромагнитного поля на семена способно привести к существенному биостимулирующему эффекту, который проявляется на всех этапах вегетации растений [9, 10]. Проявление биостимуляции заключается в увеличении энергии всхожести, энергии прорастания, а при росте растений из обработанных семян – в усилении корневой системы, сокращении фаз вегетации. Этот эффект наблюдали как при обработке семян, так и при обработке клубней картофеля [11]. При экспозиции до 20 мин.

на частотах 38 ГГц, 46 ГГц и 54 ГГц исследователи не наблюдали влияния микроволнового излучения на вес урожая картофеля клубней Felka Bona. Излучение на частоте 2,45 ГГц длительностью 10 с и мощностью микроволнового генератора 100 Вт, вызвали наибольший рост биомассы в семенных картофельных зародышах и увеличение веса клубней Felka Bona. В экспериментах [12] наблюдалось существенное увеличение биомассы (до 66 %) с увеличением времени экспозиции от 12 минут до 20 минут по сравнению с контролем. В некоторых случаях биостимуляция проходит одновременно с дезинфекцией [9, 12]. Обработка семян МВ ЭМП является экологически чистым и эффективным методом [13]. Однако нет однозначных данных по режимам обработки различных семян в микроволновом поле, что не дает возможность с достаточной точностью прогнозировать результат. Это снижает эффективность применения метода.

Недостаточная полнота исследований по каждому из процессов не позволяет прогнозировать эффекты, возникающие в материале, и оценить энергетическую эффективность их применения.

Цель работы

Оценка условий получения оптимального по энергетическим параметрам эффекта микроволнового воздействия в различных приложениях микроволновой обработки растительных материалов (обеззараживании с целью получения субстрата для дереворазрушающих грибов, биостимуляции семян и экстрагирования биологически активных веществ).

Изложение основного материала

Исследования особенностей взаимодействия микроволнового электромагнитного поля с растительными материалами с целью разработки ряда новых интенсивных и энергетически эффективных технологий, к которым относятся предпосевная обработка семян (биостимуляция семян), подготовка растительного субстрата для производства дереворазрушающих грибов и экстрагирование биологически активных веществ, привели к выводу о необходимости установления области режимных параметров обработки, подготовки сырья и условий его загрузки. Несмотря на существенные различия в конечных целях обработки для указанных методов, их объединяет то, что в процессе преобразования МВ энергии во внутреннюю энергию тела основная ее часть идет на нагрев материала и пренебрежимо мало – на испарение воды. Основное, что отличает обрабатываемые растительные материалы в указанных методиках – существенное различие во влагосодержании. Так, при предпосевной обработке семян влагосодержание соответствовало равновесному, при подготовке субстрата – уровню влажности 73%, при процессах экстрагирования

влагосодержание стремилось к 100%. Соответственно, различные цели микроволновой обработки определили ряд специфических задач для каждого из разрабатываемых методов.

Особенности каждого из рассматриваемого метода связаны с изменением структуры растительного материала в ходе МВ обработки. Но если при развитии метода биостимуляции семян одной из задач являлось исключение режимов, нарушающих целостность клеточных стенок, что приводит к гибели семян или к угнетению роста растений, то при подготовке растительного субстрата и при экстрагировании разрушение растительной структуры является желательным.

В результате исследования эффектов влияния микроволнового электромагнитного поля на семена была предложена гипотеза [5], согласно которой причиной возникновения эффекта биостимуляции можно считать улучшение транспортных свойств проводящей системы растительной ткани вследствие развития высоких градиентов давления в замкнутых микрообъемах микрофибрилл клеточных стенок и пор, заполненных средой, способной поглощать микроволновую энергию.

Следующая перспективная технология, включающая метод микроволновой обработки растительного материала, относится к культивированию дереворазрушающих грибов, таких как вешенка и шиитакэ. На сегодняшний день съедобные грибы относятся к ценным продуктам питания людей благодаря большому содержанию белков, балластных веществ, некоторых витаминов (РР, С и группы В), низкому содержанию жиров и низкой калорийности. В полной технологической схеме культивирования грибов наиболее сложным и энергоемким процессом является процесс приготовления растительного субстрата. Традиционные виды термообработки для стерилизации и пастеризации длительны и требуют больших затрат энергии. Кроме того, существует проблема неоднородности нагрева из-за неравномерности загрузки камеры материалом, а сами пастеризационные или стерилизационные установки отличаются высокой стоимостью. Нарушение технологического процесса при подготовке субстрата приводит к ухудшению его качества в результате обеднения питательными веществами и насыщения патогенными токсинами, что приводит к поражению мицелия и плодовых тел фитопатогенами. Так, в разных субстратах (кукуруза, пшеница, овес, отруби, жмыхи и др.) доля токсигенных грибов, например, продуцирующих афлатоксины, составляет от 2,8 до 94,3%. Это, в свою очередь, ведет к чрезмерному использованию антисептиков и фунгицидов для защиты культивируемых грибов, что значительно ухудшает не только экономические показатели при промышленном выращивании грибов, но и качество продукта. В отличие от традиционных способов термической обработки субстрата для выращивания

вешенки, применение микроволновой технологии имеет ряд существенных преимуществ. К ним относятся:

- высокая скорость повышения температуры в субстрате;
- одновременный объемный и равномерный нагрев всего субстрата, находящегося в зоне рабочей камеры МВ установки;
- высокая стерильность процесса обработки субстрата, более комфортные условия труда;
- существенное сокращение длительности обработки субстрата в рабочей камере (до 5-8 минут).
- снижение инфицированности субстрата за счет специфического характера влияния МВ поля на конкурентную микрофлору.

Термообработка с использованием микроволнового метода в режимах, улучшающих питательные для мицелия свойства соломы, объясняются изменением структуры материала. На рис. 1 представлены модели, полученные на основе атомно-силового метода зондовой микроскопии [6]. Для получения данных использовался сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) NanoEducator, который позволяет анализировать материал с нанометровым уровнем пространственного разрешения.

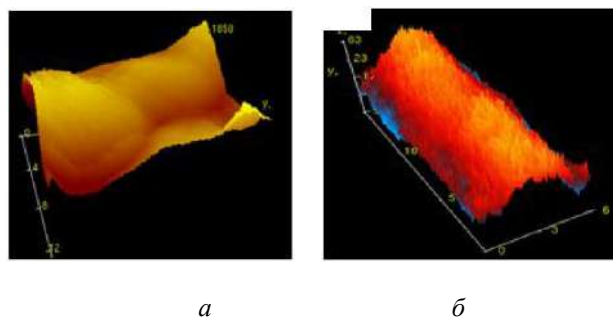


Рис. 1 – Поверхность соломистого материала размером 23x23 мкм [6]:

a – исходный материал; *б* – обработанный в МВ поле

Видно, что поверхность исходного соломистого материала представляет собой гладкую и относительно однородную поверхность по высоте, в то время как поверхность обработанного образца отличается существенной шероховатостью. Полученные результаты свидетельствуют о распушении целлюлозы вследствие микровзрывов. Представляется, что для получения эффекта биостимуляции требуется выдерживать режимные параметры на уровне, не допускающим разрывов клеточных стенок [5], в то время как при подготовке субстрата этот эффект нужно достичь. При экстрагировании биологически активных веществ (БАВ) развитие градиентов давления в растительной ткани способствует ускорению процесса, однако при этом для каждого конкретного вида БАВ необходимо выдерживать тот уровень температур, который не способен повредить конечному продукту. Поэтому

предварительно перед оценкой энергетической эффективности микроволновых технологий необходимы данные по оптимальным условиям микроволнового воздействия на конкретный растительный материал. Эти данные могут быть представлены в виде таких параметров, как удельный тепловой поток q_v , темп нагрева $\frac{\Delta t}{\tau}$ и длительность обработки τ .

Для оценки энергетической эффективности применения микроволновых технологий производились расчеты теплоты, возникающей от преобразования микроволновой энергии растительным материалом. В настоящее время методы оценки энергоэффективности отличаются разнообразием, они могут включать такие характеристики, как теплофизические свойства, качество энергии, производительность и пр., однако при всем многообразии подходов, определяемых спецификой конкретных разработок, универсальным критерием оценки эффективности тепловых процессов является коэффициент полезного действия КПД, определение которого является отправной точкой в исследованиях, проводимых с целью оптимизации теплопереноса.

КПД камеры определялось как отношение теплоты, включающей в себя значение полезного теплового потока $Q_{пол}$, потери в окружающую среду (в объем рабочей камеры) в результате естественной конвекции $Q_{конв}$ и лучистого теплообмена между образцом и стенками камеры ($Q_{\Sigma} = Q_{пол} + Q_{конв} + Q_{луч}$), к выходной мощности магнетрона:

$$\eta_k = \frac{Q_{\Sigma}}{P_{вых}} \quad (1)$$

Полезный тепловой поток определяется по результатам измерений температуры материала в начале и конце обработки:

$$Q_{пол} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{\tau}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

где m - масса материала, τ - длительность МВ воздействия.

Для расчета теплоты, образованной в материале при взаимодействии с микроволновым полем, предлагается применять следующую зависимость:

$$q = \frac{P_{вых} \cdot \eta_k}{V}, \text{ Вт/м}^3, \quad (3)$$

где V - объем, занимаемый материалом.

Для получения значений η_k необходимы эмпирические зависимости, соответствующие конкретному виду обрабатываемого материала.

Обсуждение результатов

Для микроволновой технологии подготовки субстрата эффективность МВ воздействия оценивалась по количеству выросших грибов (вешенка). Получен оптимальный режим обработки, для которого экспозиция составляет 140 с при массе загрузки 0,4 кг влажностью 74 %. Для этого режима КПД камеры составлял 80%.

Микроволновые технологии экстрагирования биологически активных веществ находятся в стадии разработки. В настоящее время массив данных по биологически активным веществам различных растений и их взаимодействию с вредными микроорганизмами и вредителями.

Энергетическая эффективность экстрагирования БАВ из ряда растительных материалов (в частности, хвои, шелухи лука, полыни, молочая прутьевидного) с применением энергии МВ поля выше в сравнении с традиционной технологией в 1,6 (хвоя) - 11 (шелуха лука) раз. Интенсивность извлечения биологически активных веществ увеличивается в 11 (шелуха лука) - 30 (молочай прутьевидный) раз в сравнении с традиционной технологией.

Оптимальные характеристики микроволновой обработки в различных технологиях, полученные по результатам экспериментальных исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики микроволновой обработки в различных технологиях. I – биостимуляция, II – термообработка соломистого субстрата, III - экстрагирование.

	Цель микроволновой обработки					
	I			II	III	
	1	2	3	4	5	6
$q_v \cdot 10^{-5}$, Вт/м ³	7,5	4,2	6,7	7,8	7,2	6,3
$\frac{\Delta t}{\tau}$, К/с	0,15	0,14	0,17	0,9	0,4	0,8
τ , с	90	110	50	140	150	180

Примечание: 1 – пшеница, 2 – подсолнечник, 3 – горох, 4 – солома влажная, 5 – чистотел, 6 – молюкан дикий.

При расчете принималось, что насыпная плотность пшеницы – 780 кг/м³, семян подсолнечника – 440 кг/м³, гороха – 700 кг/м³. При термообработке соломы в течение 90 с температура повысилась на 80 °С и затем оставалась на уровне 100 °С, что учитывалось при расчете темпа нагрева. Аналогичная ситуация была при исследовании МВ экстрагирования: материал нагревался в течение 120 с. Дальнейшая выдержка материала под действием МВ поля, очевидно, способствовала выходу целевых компонентов, а в случае обработки соломы – накоплению структурных изменений в

материале. Обращает на себя внимание тот факт, что для всех исследуемых методов обработки значение удельной мощности одного порядка, однако эффекты стерилизации и улучшения питательных свойств (термообработка соломы) или экстрагирования БАВ требуют большего времени нахождения материала в МВ камере, чем при обработке семян с целью их стимуляции. Это подтверждает разработанную теорию, согласно которой полученные эффекты при экстрагировании связаны с разрывами в клеточных стенках и сосудистой системе, в то время как для достижения биостимуляции эти явления должны быть исключены и эффект достигается на начальной стадии расширения объемов жидкости, заключенных жесткими целлюлозными оболочками.

Различия в темпе нагрева в исследуемых методах связаны с диэлектрическими свойствами обрабатываемых материалов. При экстрагировании использовался свежесобранный материал с высоким влагосодержанием, также как и замоченная предварительно солома, что обеспечивало высокую интенсивность преобразования энергии микроволнового поля в тепловую.

При снижении удельной мощности достигаются требуемые эффекты путем увеличения длительности обработки. Во всех случаях эффективность обработки определялась также температурой материала.

На рис. 2 приведены кривые зависимости КПД рабочей (микроволновой) камеры от массы загружаемого материала. При проведении экспериментов использовалась микроволновая камера с внутренним объемом $V_k=0,0198 \text{ м}^3$.

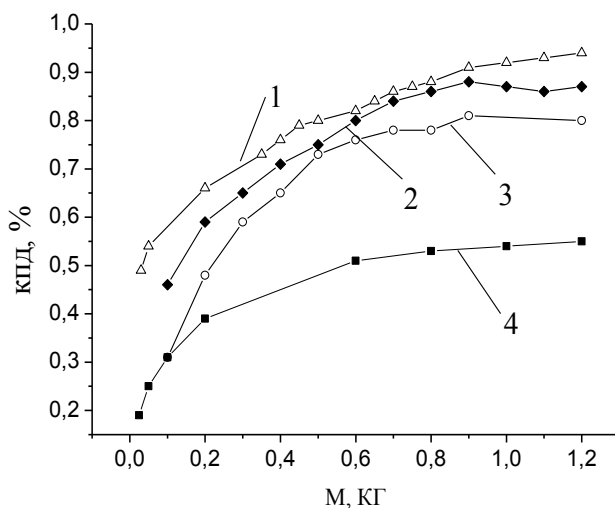


Рис. 2 – Влияние объема загрузки материала на КПД камеры

1 - вода, 2 - материал для экстрагирования БАВ (молокан дикий, залитый водой), 3 - увлажненная солома для подготовки грибного субстрата, 4 - семена пшеницы

Результаты исследования влияния вида материала и объема загрузки на КПД камеры показывают, что, чем выше влагосодержание, тем большего значения КПД можно достичь. Для семян с влагосодержанием не выше 12 % КПД не превышает 56 %. Максимальный КПД при обработке пшеницы наблюдался при соотношении объемов камеры к объему материала $V_k/V_m=14,5$ и выше; при обработке стеблей молокана дикого, залитого водой - $V_k/V_m=13,6$; и увлажненной соломы (влажность 75%) - $V_k/V_m=9,6$. Можно заключить, что для достижения максимального КПД рабочей камеры при обработке исследуемых растительных материалов соотношение объема камеры к объему загрузки должно быть не меньше 10. Равномерность обработки достигается в первую очередь выбором толщины слоя, который должен учитывать глубину проникновения электромагнитной энергии в материал. Эти рекомендации можно применять при конструировании микроволновых установок для обработки материалов растительного происхождения.

Выводы

Интенсификация процессов переноса массы при применении микроволновых технологий нагрева непосредственно связана с изменениями в структуре растительной ткани, происходящими вследствие дифференцированности ее структуры.

Методы оценки теплового эффекта взаимодействия микроволнового электромагнитного поля с растительным материалом, примененные при определении КПД микроволновой камеры в зависимости от физических свойств материала и формирования слоя в объеме микроволновой камеры, позволяют с допустимой погрешностью определять эффективность преобразования энергии микроволнового поля.

Для повышения КПД рабочей (микроволновой) камеры необходимо обеспечить оптимальную загрузку, причем вид материала определяет максимальное значение этой величины. Снижение влагосодержания приводит к снижению КПД камеры.

Для достижения максимального КПД рабочей камеры при обработке исследуемых растительных материалов соотношение объема камеры к объему загрузки должно быть не меньше 10.

Список литературы

1. Feng, H. J. Combined microwave and spouted bed drying of diced apples: effect of drying conditions on drying kinetics and product temperature / H. J. Feng, P. R. Tang, Cavalieri // *Drying Tech.* – 1999. – №. 17(10). – P. 1981-1998.
2. Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds. Theory and Practice. Editors Farid Chemat Giancarlo Cravotto. Springer Science+Business Media New York 2013. – 248 p.

3. **Li, Y.** Intermittent microwave drying of wheat / **Y. Li, T. Zhang, C. Wu, C. Zhang** // *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. – 2014. – Vol. 2, Issue 1. – P. 32–36.
4. **Puligundla, P.** Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update / **P. Puligundla** // *Journal of Food Processing & Technology*. – 2013. – Vol. 04, Issue 11. – P. 2–9. – doi: 10.4172/2157-7110.1000278.
5. **Kalinin, L. G.** Physical model of response of the plant tissue to a microwave electromagnetic field / **L. G. Kalinin, I. L. Boshkova** // *Biofizika*. – 2003. – Vol. 48, Issue 1. – P. 122–124.
6. **Московский, М. Н.** Структурный анализ поверхности соломы, обработанной СВЧ излучением / **М. Н. Московский, Р. А. Фридрих, А. А. Гуляев** // *Вестник ДГТУ*. – 2010. – Т. 10, № 5. – С. 648–654.
7. **Jakubowski, T.** Evaluation of the impact of pre-sowing microwave stimulation of bean seeds on the germination process / **T. Jakubowski** // *Agricultural Engineering*. – 2015. – Vol. 2, Issue 154. – P. 45–56.
8. **Radzevičius, A.** The effect of strong microwave electric field radiation on: (1) vegetable seed germination and seedling growth rate / **A. Radzevičius, S. Sakalauskiene, M. Dagys, R. Simniškis, R. Karklelienė, Č. Bobinas, P. Duchovskis** // *Zemdirbyste-Agriculture*. – 2013. – Vol. 100, Issue 2. – P. 179–184. – doi: 10.13080/z-a.2013.100.023.
9. **Morozov, G. A.** Microwave Technology for Treatment Seed / **G. A. Morozov, V. I. Blokhin, N. E. Stakhova et. al.** // *World Journal of Agricultural Research*. – 2013. – Vol. 1, Issue 3. – P. 39–43.
10. **Ragha, L.** Effects of Low-Power Microwave Fields on Seed Germination and Growth Rate / **L. Ragha, S. Mishra, V. Ramachandran, M. S. Bhatia** // *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. – 2011. – Vol. 03, Issue 05. – P. 165–171. – doi: 10.4236/jemaa.2011.35027.
11. **Jakubowski, T.** The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers / **T. Jakubowski** // *Agricultural Engineering*. – 2010. – Vol. 6, Issue 124. – P. 57–64.
12. **Friesen, A. P.** Effect of microwave radiation on dry bean seed infected with *Colletotrichum lindemuthianum* with and without the use of chemical seed treatment / **A. P. Friesen, R. L. Conner, D. E. Robinson, W. R. Barton, C. L. Gillard** // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2014. – Vol. 94, Issue 8. – P. 1373–1384. – doi: 10.4141/cjps-2014-035.
13. **Sharma, K. K.** Seed treatments for sustainable agriculture – A review / **K. K. Sharma, U. S. Singh, P. Sharma, A. Kumar, L. Sharma** // *Journal of Applied and Natural Science*. – 2015. – Vol. 7, Issue 1. – P. 521–539.

Bibliography (transliterated)

1. **Feng, H. J., Tang P. R., Cavaliere** Combined microwave and spouted bed drying of diced apples: effect of drying conditions on drying kinetics and product temperature. *Drying Tech*, 1999, **17(10)**, 1981–1998.
2. Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds. Theory and Practice. Editors Farid Chemat Giancarlo Cravotto. Springer Science+Business Media New York 2013, 248 p.
3. **Li, Y., Zhang, T., Wu, C., Zhang, C.** Intermittent microwave drying of wheat. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2014, **2 (1)**, 32–36.
4. **Puligundla, P.** Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update. *Journal of Food Processing & Technology*, 2013, **04 (11)**, doi: 10.4172/2157-7110.1000278,
5. **Kalinin, L. G., Boshkova, I. L.** Physical model of response of the plant tissue to a microwave electromagnetic field. *Biofizika*, 2003, **48 (1)**, 122–124.
6. **Moskovskiy, M. N., Fridrih, R. A., Gulyaev, A. A.** Strukturnyy analiz poverhnosti solomy, obrabotannoy SVCh izlucheniem. *Vestnik DGTU*, 2010, **10 (5)**, 648–654.
7. **Jakubowski, T.** Evaluation of the impact of pre-sowing microwave stimulation of bean seeds on the germination process. *Agricultural Engineering*, 2015, **2 (154)**, 45–56.
8. **Radzevičius, A., Sakalauskiene, S., Dagys, M., Simniškis, R., Karklelienė, R., Bobinas, Č., Duchovskis, P.** The effect of strong microwave electric field radiation on: (1) vegetable seed germination and seedling growth rate. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2013, **100 (2)**, 179–184, doi: 10.13080/z-a.2013.100.023,
9. **Morozov, G. A., Blokhin, V. I., Stakhova, N. E. et. al.** Microwave Technology for Treatment Seed. *World Journal of Agricultural Research*, 2013, **1 (3)**, 39–43.
10. **Ragha, L., Mishra, S., Ramachandran, V., Bhatia, M. S.** Effects of Low-Power Microwave Fields on Seed Germination and Growth Rate. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 2011, **03 (05)**, 165–171, doi: 10.4236/jemaa.2011.35027,
11. **Jakubowski, T.** The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers. *Agricultural Engineering*, 2010, **6 (124)**, 57–64.
12. **Friesen, A. P., Conner, R. L., Robinson, D. E., Barton, W. R., Gillard, C. L.** Effect of microwave radiation on dry bean seed infected with *Colletotrichum lindemuthianum* with and without the use of chemical seed treatment. *Canadian Journal of Plant Science*, 2014, **94 (8)**, 1373–1384, doi: 10.4141/cjps-2014-035.
13. **Sharma, K. K., Singh, U. S., Sharma, P., Kumar, A., Sharma, L.** Seed treatments for sustainable agriculture – A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 2015, **7 (1)**, 521–539.

Сведения об авторах (About authors)

Бошкова Ирина Леонидовна – доктор технических наук, профессор, Одесская национальная академия пищевых технологий, профессор кафедры теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей, г. Одесса, Украина; e-mail: boshkova.irina@gmail.com.

Irina Boshkova – Doctor of technical sciences, Professor, The department of Heat-and-Power Engineering and Fuel Pipeline Transportation, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: boshkova.irina@gmail.com.

Волгушева Наталья Викторовна – кандидат технических наук, Одесская национальная академия пищевых технологий, доцент кафедры теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей, г. Одесса, Украина; e-mail: natvolgusheva@gmail.com.

Natalya Volgusheva – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, The department of Heat-and-Power Engineering and Fuel Pipeline Transportation, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: natvolgusheva@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Бошкова, И. Л. Изучение эффективности микроволновой обработки материалов растительного происхождения / **И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 15-21. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.02.

Please cite this article as:

Boshkova, I., Volgusheva, N. Study of efficiency of microwave processing of materials of plant origin. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 15–21, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.02.

Будь ласка, посилайте на цю статтю наступним чином:

Бошкова, І. Л. Вивчення ефективності мікрохвильової обробки матеріалів рослинного походження / **І. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 9 (1285). – С. 15-21. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.02.

АНОТАЦІЯ Вивчаються ефекти дії мікрохвильового електромагнітного поля на матеріали рослинного походження (насіння, стебла трав'янистих рослин). Показано, що в певних режимах обробки спостерігається розпушення целюлозних волокон, що пояснюється розвитком великих градієнтів тисків в матеріалі. Наведено дані по оптимальних режимних параметрах для біостимуляції насіння, стерилізації соломи при підготовці субстрату і екстрагування речовин з деяких видів рослин. Проведено оцінку енергетичної ефективності методів мікрохвильової обробки на основі даних по ККД мікрохвильовій камері з завантажуваним матеріалом. Визначено умови досягнення максимального ККД робочої камери при її завантаженні різними видами рослинного матеріалу.

Ключові слова: мікрохвильове поле; рослинна тканина; обробка; енергія; теплота; оптимальні параметри; коефіцієнт корисної дії

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 622.834: 622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.03

О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ РАЗГРУЗКЕ *)

И. В. ИОРДАНОВ¹, Д. А. ЧЕПИГА¹, Ю. И. СИМОНОВА^{1*}, В. Ю. ДОВГАЛЬ²,
А. И. СТОЙЛОВСКИЙ³

¹ГВУЗ «ДонНТУ» МОН Украины, г. Покровск, УКРАИНА

²ГП «Мирноградуголь», г. Мирноград, УКРАИНА

³«Шахта «Капитальная» ГП «Мирноградуголь», г. Мирноград, УКРАИНА

* email: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

АННОТАЦИЯ При анализе напряженно-деформированного состояния боковых пород в массиве, вмещающем горные выработки, в результате внезапных обрушений расщелившейся толщи или посадках пород кровли, необходимо учитывать вид и уровень напряжений, характер которых зависит от способа управления кровлей в очистном забое. В условиях, когда отношение длины зависающей породной консоли L , (м) к мощности пород непосредственной кровли h , (м) 5:1, при $L < 5$ м и полном обрушении кровли, разрушение боковых пород будет происходить в результате действия максимальных касательных напряжений. При отношении длины зависающей породной консоли L , (м) к мощности пород непосредственной кровли h , (м) 10:1 и $L > 10$ м, когда позади очистного забоя обеспечиваются поддержание и плавный прогиб подработанной породной толщи, разрушение слоев происходит в результате изгибных деформаций.

Ключевые слова: горная выработка; кровля; боковые породы; напряжения; деформации; обрушения пород.

ON THE STRESSED DEFORMED CONDITION OF THE ROCK MASSIVE AT UNLOADING

I. IORDANOV¹, D. CHEPIGA¹, Y. SIMONOVA^{1*}, V. DOVGAL², A. STOYLOVSKY³

¹Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

²State enterprise "Mirnogradugol", Mirnograd, UKRAINE

³Mine Capital "Mine Capital "State Enterprise" Mirnograugol ", Mirnograd, UKRAINE

ABSTRACT The effectiveness of mining of coal seams and the safety of the introduction of mining operations in mines depends on the condition of the mine workings. The purpose of the present studies is to study the stability of the roof rocks of a coal seam, represented as a load-bearing beam structure under the action of dynamic loads, which, depending on the physical and mechanical properties, dimensions and shape of the cross-section of the girder beam, undergo a certain type and stress level, in depending on the way the roof is managed in the bottom face. When analyzing the stressed-deformed state of the lateral rocks in an array containing mining workings, as a result of sudden collapse of the stratified strata or plantings of roofing rocks, it is necessary to take into account the type and level of stresses, the nature of which depends on the method of controlling the roof in the stope hanging wall. Under the conditions when the ratio of the length of the hanging rock console L , (m) to the thickness of the rocks of the immediate roof h , (m) 5: 1, at $L < 5$ m and the complete collapse of the roof, the destruction of the lateral rocks will occur as a result of the action of the maximum tangential stresses. With a ratio of the length of the rock consoles L , (m) to the thickness of the rocks of the immediate roof h , (m) 10: 1 and $L > 10$ m, when the maintenance and smooth deflection of the subsoil rock bed is ensured behind the extraction face, the fracture of the layers occurs as a result of flexural deformations. The parameters of the beam, as the main bearing element in the system under consideration, have a significant effect on the stability of mine workings, when shock loads are applied to the side rocks. In this case, it is necessary to take into account the physical and mechanical properties of the roof of the coal seam.

Key words: excavation; roof; lateral rocks; stresses; deformations; caving of rocks.

Актуальность работы

Добыча полезных ископаемых в подземных условиях сопровождается целым рядом факторов, приводящих к повышенной опасности для людей и негативному воздействию на окружающую среду.

Опыт работы шахт украинского Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в углепородном массиве начинает проявляться такой негативный фактор, как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на состояние горных выработок и приводящий к возрастанию риска

*) Работа выполняется под научно-методическим руководством докт. техн. наук, проф. Подкопаева С.В. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск.

травмирования горнорабочих в результате обрушений нарушенной породной толщи. Аварии, произошедшие при обрушениях боковых пород на шахтах сопровождаются, как правило, крупным материальным ущербом и невосполнимой утратой потери человеческой жизни.

Считается [1], что обрушениям и обвалам, связанным с отрывом некоторого объема пород от остального массива, всегда предшествует расслоение. По отношению ко всему, слоистость углепородного массива следует рассматривать как фактор, ослабляющий породу, от которого зависит устойчивость кровли разрабатываемых угольных пластов и состояние эксплуатируемых горных выработок [2, 22].

Эффективность отработки угольных пластов и безопасность введения горных работ на шахтах, в значительной степени зависит не только от состояния горных выработок, но и от способа управления кровлей в очистном забое. Как показало изучение процесса сдвижений и деформаций горных пород [3, 5, 17], при выемке угольных пластов в нарушенной толще происходит образование характерных зон сдвижения, на динамику и параметры которых в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве. Наиболее интенсивно процесс сдвижения под- и надработанной толщи развивается и протекает при полном обрушении кровли в лавах, наименее интенсивно – при полной закладке выработанного пространства [2].

Несоответствие применяемых способов управления кровлей, средств и способов крепления горных выработок конкретным горно- геологическим условиям угольного предприятия изменяет геомеханическую обстановку в углепородном массиве и создает аварийные ситуации, при которых имеют место завалы горных выработок и травматизм горнорабочих.

Напряженно-деформированное состояние массива осадочных горных пород имеет решающее значение для изучения устойчивости пород кровли, как основного грузонесущего элемента углепородного массива и горных выработок, особенно при действии на них кратковременных динамических нагрузок, которые имеют место при обрушениях боковых пород и могут полностью изменить природу разрушения [12, 14, 15].

Постановка задачи

Целью настоящих исследований является изучение устойчивости пород кровли угольного пласта, представленной в виде несущей конструкции-балки при действии на нее динамических нагрузок, которые в зависимости от физико- механических свойств, размеров и формы поперечного сечения породной балки, претерпевают определенного вида и уровня напряжения, в зависимости от способа управления кровлей в очистном забое.

Изложение материала и результаты

Согласно гипотезе балок [4] можно предположить, что в очистном забое непосредственная и основная кровли, представленные твердыми слоистыми породами, деформируются и разрушаются подобно консольным балкам. Устойчивость породного обнажения в призабойном пространстве лавы, существенно зависит от степени предварительной трещиноватости кровли, сформировавшейся впереди очистного забоя, а так же в результате ее прогиба, когда отдельные блоки расслоившейся породной толщи работают как шарниры [5].

Для того чтобы выполнить анализ напряженно-деформационного состояния пород кровли разрабатываемого пласта, и установить природу разрушения углепородного массива необходимо определить величины действующих в рассматриваемой системе напряжений с учетом динамического воздействия, т.е. в результате внезапного приложения нагрузки, что в реальных условиях разработки угольных пластов, соответствует внезапной посадке пород кровли или обрушениям боковых пород.

Динамический прогиб балки δ , (м) можно определить приравняв работу, совершаемую нагрузкой, энергии деформации, накопленной в балке [6-8, 18].

Отмечается [11], что в выражении

$$\delta = \delta_{ст} + \sqrt{\delta_{ст}^2 + 2h\delta_{ст}}, \quad (1)$$

где $\delta_{ст}$ -статический прогиб балки, м; при $h=0$, $\delta=2\delta_{ст}$ и это означает, что когда груз к балке прикладывается мгновенно или внезапно, такая ситуация является наиболее опасной для грузонесущей конструкции.

Рассмотрим породы кровли мощностью $h=1$ м разрабатываемого угольного пласта в виде консольной балки, длиной L , (м) (рис.1). В поперечном сечении такой балки при воздействии силы F , (Н) возникают два силовых фактора: изгибающий момент M , (Н•м) и поперечная сила $Q=F$, (Н).

Известно [8, 9], что изгибающий момент M , (Н•м) реализуется в поперечном сечении балки системой нормальных напряжений σ (МПа). Поперечная сила Q , (Н), вектор которой лежит в плоскости сечения, вызывает в точках сечения касательные напряжения τ , (МПа).

Равновесие системы, в этом случае, обеспечивается условием

$$\sum y = 0; Q = F = \int \tau dA. \quad (2)$$

В действительности, касательные напряжения распределяются по сечению неравномерно. Однако, если принять допущение о равномерном

распределении напряжений, что широко используется на практике [11, 16], то

$$F = \tau \cdot A \quad (3)$$

и

$$\tau = \frac{F}{A}. \quad (4)$$

На рис.1б в элементе ABCD длиной $l < 5$, (м) выделим величину ΔS , (м) абсолютный сдвиг и γ -относительный сдвиг.

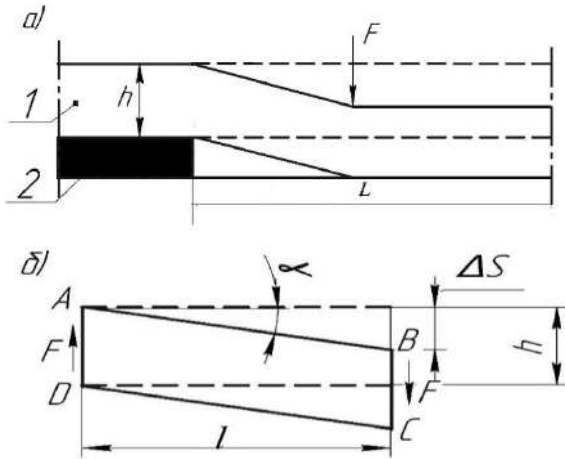


Рис.1 – Определение величины сдвиговой податливости при определении напряженно-деформированного состояния пород кровли (1) разрабатываемого угольного пласта (2) а) общая схема; б) расчетная схема: F – внешняя нагрузка, имеющая размерность силы, (Н); L – длина балки, h – мощность пород кровли, (м); l – длина элемента ABCD, (м); h – мощность пород кровли, (м); ΔS – абсолютный сдвиг, (м); γ – относительный сдвиг элемента

В этом случае

$$\gamma \approx \operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta S}{l}. \quad (5)$$

В области упругих деформаций справедлив закон Гука [11], а значит

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (6)$$

где G - модуль сдвига, МПа.

С учетом вышеизложенного для случая чистого сдвига, имеем

$$\frac{F}{A} = G \frac{\Delta S}{l}, \quad (7)$$

откуда

$$\Delta S = \frac{F \cdot b}{G \cdot A}, \quad (8)$$

где A - площадь грани BC в элементе ABCD, м²; b - ширина элемента, м.

При деформации балки, грань BC в элементе ABCD перемещается на расстояние ΔS , (м), когда сдвигающая сила F , (Н) увеличивается от нуля до ее конечного значения (рис 1,б). Такое перемещение определяется выражением (8). Выражение (6) принимает вид

$$\tau = G \cdot \frac{\Delta S}{l}, \quad (9)$$

из которого видно, что с увеличением длины элемента l , (м), величина касательных напряжений τ , (МПа), уменьшается.

Известно [8, 12, 13], что внешние силы, деформируя балку, совершают работу. Эта работа переходит в потенциальную энергию деформации. В одних случаях и при определенных условиях, деформирование породной балки и ее разрушение может происходить в результате изгиба, в других – за счет деформации сдвига.

Определим прогибы однородной консольной породной балки длиной L , (м), с учетом сдвигов от равномерно распределенной нагрузки q , (Н/м), которая зависит от веса расслоившейся породной толщи (рис.2).

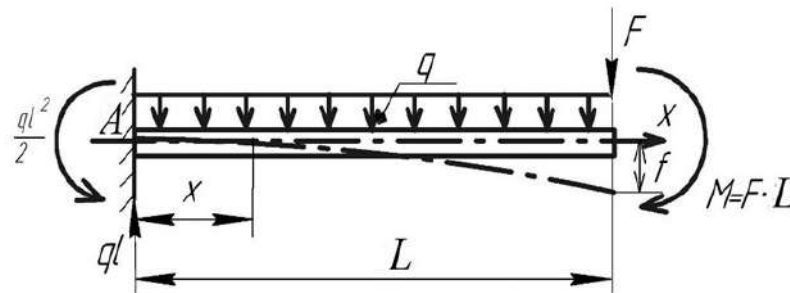


Рис. 2 – Расчетная схема к определению величины прогиба f , (м) консольной балки длиной L , (м) от равномерно распределенной нагрузки q , (Н/м): M - изгибающий момент, (Н•м); Q - поперечная сила, (Н); F - возмущающая сила, (Н)

Для решения такой задачи воспользуемся системой уравнений, и тогда согласно [11, 23]

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI}, \\ \frac{df}{dx} = \varphi + \frac{kQ}{GA}. \end{cases} \quad (10)$$

Где f - прогиб балки, м; φ - угол поворота, м; G - модуль сдвига, МПа; A -площадь поперечного сечения балки, м², $A=bh$; Q -поперечная сила, Н; I - момент инерции сечения балки, м⁴;

$$I = \frac{bh^3}{12}. \quad (11)$$

Из первого уравнения системы определим

$$\varphi = -\int_0^x \frac{Mdx}{EI} + \varphi_0. \quad (12)$$

из второго уравнения системы

$$f = \int_0^x \varphi dx + \int_0^x \frac{kF}{GA} dx + f_0. \quad (13)$$

где φ_0 и f_0 - соответственно, начальный угол поворота и прогиб балки.

Для рассматриваемого случая

$$M = -q\left(\frac{L^2}{2} + \frac{x^2}{2} - Lx\right) \quad (14)$$

$$Q = q(L - x). \quad (14a)$$

В жесткой заделке выполняются условия, когда в т. А угол поворота $\varphi_0 = 0$ и прогиб $f_0 = 0$. Поэтому для определения значения φ и f получим следующие выражения

$$\varphi = \frac{q}{2}\left(\frac{L^2x}{EI} - \frac{Lx^2}{EI} + \frac{x^3}{3EI}\right), \quad (15)$$

$$f = q\left(\frac{L^2x^2}{4EI} - \frac{Lx^3}{6EI} + \frac{x^4}{24EI} + \frac{k}{GA}\left(Lx - \frac{x^2}{2}\right)\right). \quad (16)$$

Выражение для определения прогиба балки f , (м) в результате действия равномерно распределенной нагрузки можно представить, как

$$f = f_M - f_G, \quad (17)$$

где f_M -прогибы, вызванные изгибающими моментами, (м); f_G - прогибы, вызванные деформацией сдвига, (м).

В случае, когда $x=L$ прогиб на конце балки определяется как

$$f_G = \frac{kqL^2}{2GA}, \quad (18)$$

$$f_M = \frac{qL^4}{8EI}. \quad (19)$$

Тогда, с учетом этого

$$\frac{f_G}{f_M} = 4\frac{E}{G} \cdot \frac{I}{AL^2} \cdot k, \quad (20)$$

где k - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений при сдвиге, $k=1,2$ [10]; E - модуль упругости балки, МПа.

На рис. 3 представлена зависимость, отражающая изменение прогиба консольной балки вызванного деформацией сдвига f_G , (м), к величине прогиба такой балки при действии изгибающего момента f_M , (м) с учетом равномерно распределенной нагрузки q , (Н/м).

Нами установлено, что отношение исследуемых величины $\frac{f_G}{f_M} = 1,13$ для балки, длина которой $L=1$ м, уменьшается до $\frac{f_G}{f_M} = 0,011$ при $L=10$ м (рис.3). В случае когда $L=60$ м, $\frac{f_G}{f_M} = 0,0003$. Очевидно, в длинных балках, при анализе напряженно- деформированного состояния боковых пород и определении величины прогиба, деформациями сдвига можно пренебречь.

При изучении влияния энергии искривления консольной балки в результате изгиба U_M , (Дж) и сдвига U_G , (Дж), при значении коэффициента Пуассона $\nu=0,3$ нами была установлена зависимость в виде

$$\frac{U_G}{U_M} = \frac{0.78h^2}{L^2}, \quad (21)$$

и график, изображенный на рис.4, из которого видно, что деформациями сдвига при расчете длинных балок на изгиб, можно пренебречь.

Определим величины напряжений в консольной балке. Согласно [8, 16] наибольшее по величине напряжение возникает в заделке, т.е. в т. А (рис.2).

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W}, \quad (22)$$

$$\tau_{max} = \frac{3F}{2A}, \quad (23)$$

где W - момент сопротивления изгибу, м³

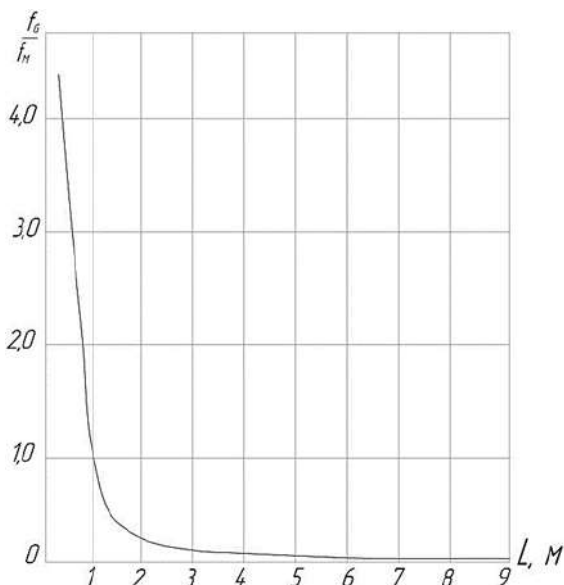


Рис. 3 – Отношение прогиба f_G , (м) вызванного деформациями сдвига к прогибу f_M , (м) в результате изгиба консольной балки длиной L , (м) от действия равномерно распределенной нагрузки q , (Н/м)

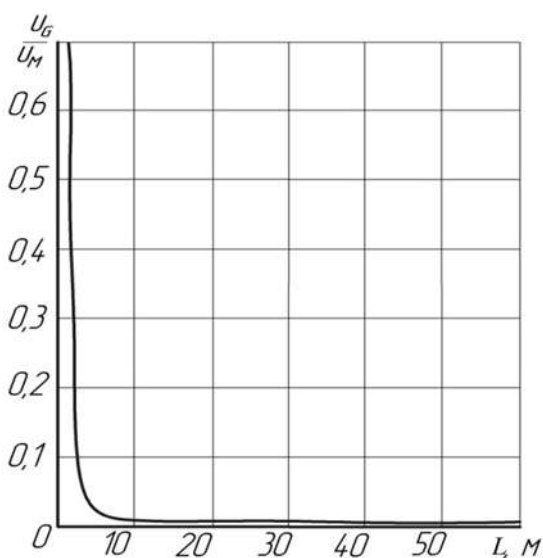


Рис. 4 – Отношение потенциальной энергии деформаций сдвига U_G , (Дж) к потенциальной энергии деформаций изгиба U_M , (Дж) при действии на консольную балку длины L , (м) равномерно распределенной нагрузки q , (Н/м)

С учетом рассматриваемого нами случая, максимальные нормальные напряжения можно определить, как

$$\sigma_{max} = \frac{6M}{bh^2} \quad (24)$$

Максимальные касательные напряжения определяются по выражению

$$\tau_{max} = \frac{3F}{2A}, \quad (25)$$

где b - ширина балки, м.

Оценим отношение нормальных и касательных напряжений при изгибе балки от равномерно распределенной нагрузки. Сопоставив после соответствующих преобразований выражение (24) и (25), получим отношение

$$\frac{\sigma_{max}}{\tau_{max}} = 2 \frac{L}{h}. \quad (26)$$

из которого видно, что с увеличением длины балки нормальные напряжения увеличиваются, а касательные - уменьшаются. Определяющими параметрами при этом являются длина балки L , (м) и мощность пород непосредственной кровли h , (м) разрабатываемого угольного пласта.

Как видно из выражений (9) и (26), а так же приведенных нами зависимостей (рис.3 и рис.4), в случае когда длина балки $L > 10$ м, при отношении длины L , (м) к высоте h , (м) 10:1, разрушение пород кровли происходит в результате изгиба, при достижении предельной величины обнажения.

При длине балки $L < 5$ м и отношении длины L , (м) к высоте h , (м) 5:1, кровля угольного пласта разрушается в результате сдвига. В этом случае, для прогнозирования устойчивости пород кровли, требуется проверка их прочности на сдвиг [20, 21], т.е. имеем условие, когда разрушение может происходить от действия максимальных касательных напряжений,

$$\tau_{max} \leq R_{сд}, \quad (27)$$

где $R_{сд}$ - расчетное сопротивление пород кровли на сдвиг, МПа.

Применительно к рассматриваемой задаче, в расчетах при прогнозировании устойчивости пород кровли необходимо учитывать варианты опирания свободного конца балки, т.е. способ управления кровлей в лаве.

Из практики работы глубоких шахт видно, что наиболее распространенным видом проявления горного давления в очистных выработках в результате разгрузки углепородного массива, является расслоение пород подработанной толщи и обрушение пород кровли при достижении критических обнажений [5].

Рассмотрим породы кровли разрабатываемого угольного пласта в виде балки, (рис.5а) которая имеет опоры А и В, расстояние между которыми a , (м) (рис.5 б,в). В одном случае, балка имеет в т. А жесткое защемление (рис.5, б), в другом - неподвижную шарнирную опору (рис.5, в).

Согласно [10, 11], прогиб f , (м) такой балки с учетом сдвига можно определить по выражению

$$f = \frac{F(L-a)^2L}{3EI} + \left(1 + \frac{3EI}{aLGS}\right), \quad (28)$$

где a - ширина призабойного пространства, м; E - модуль упругости, Н/м²; G - модуль сдвига, Н/м²; I - момент инерции балки, м⁴.

В (28) выражение

$$\frac{3EI}{aLGS} \quad (29)$$

определяет величину сдвиговой податливости, т.е. перемещение балки, обусловленные сдвигами. С учетом выражения (29) установлено, что с увеличением длины балки L , (м), при постоянной ширине призабойного пространства, когда $a = 5$ м, величина сдвиговой податливости уменьшается (рис.6). Очевидно, что при малых значениях a , (м), и L , (м), когда $a < 5$ м, и $L < (5-10)$ м, необходимо учитывать перемещения, обусловленные сдвигами и для таких случаев справедливо требование (27).

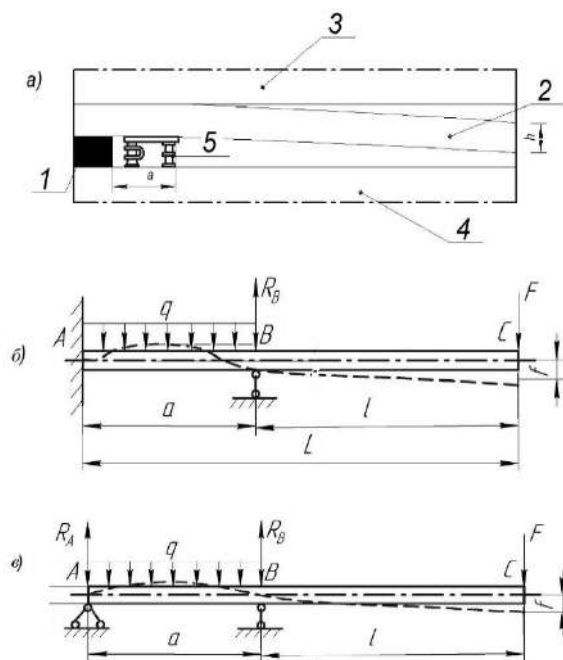


Рис. 5 – Расчетная схема к определению устойчивости расщелившихся пород кровли разрабатываемого угольного пласта: а) общая схема взаимодействия породных слоев постоянной жесткости: 1- угольный пласт; 2- непосредственная кровля; 3- основная кровля; 4- почва; 5- крепь в призабойном пространстве лавы; б) консольная балка; в) балка с неподвижными шарнирными опорами; L - длина балки, м; a - ширина призабойного пространства, м; l - длина свободного конца балки, м; f - прогиб балки в точке C , м; h - высота балки-мощность пород непосредственной кровли, м; F - действующая сила, Н; R_A, R_B – реакция опор в т.А и т.В, Н

Известно [10, 11], что деформации сдвига создают дополнительный прогиб балки. Оценим величину этого прогиба, в общем прогибе балки, длина которой изменяется от $L = 10$ м до $L = 60$ м. Обозначим, через $\delta_{сдв}$, (м) прогиб, зависящий только от сдвига и определим его величину как это рекомендовано в [11]

$$\delta_{сдв} = \frac{\alpha_{сдв} \cdot Q}{G \cdot S}, \quad (30)$$

где $\frac{Q}{S}$ – среднее касательное напряжение, полученное делением поперечной силы Q , (Н) на площадь поперечного сечения балки S , (м²); α - коэффициент сдвига,

$$\alpha_{сдв} = \frac{12 + 11\nu}{10(1 + \nu)}, \quad (31)$$

ν - коэффициент Пуассона.

На рис.7 приведены зависимости, отражающие изменение величины прогиба $\delta_{сдв}$, (м) зависящего только от сдвига при различной длине балки L , (м).

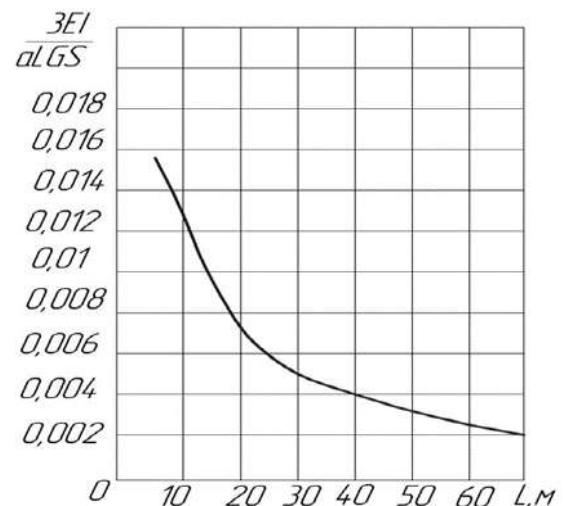


Рис. 6 – Изменение величины сдвиговой податливости $\frac{3EI}{aLGS}$ балки от ее длины L , (м) при ширине призабойного пространства $a = 5$ м

Из приведенных зависимостей (рис.7) видно, что с увеличением длины балки L , (м) и ширины призабойного пространства a , (м), ее прогиб зависящий только от сдвига, увеличивается. Но эти величины настолько малы, что ими в общей величине прогиба длиной балки, когда $L > 10$ м, можно пренебречь (рис.7).

Для обеспечения эксплуатационного состояния горных выработок, когда расщелившаяся породная толща эффективно поддерживается позади очистного забоя и плавно прогибается, необходимо чтобы основные несущие элементы в такой выработке были устойчивыми, а вид и уровень напряжений,

возникающих в боковых породах, соответствовали условиям прочности для определённого типа пород.

В таких условиях критические напряжения, вызывающие потерю устойчивости балки определяются по формуле Эйлера [6, 19] и зависят от ее гибкости. При этом, действующие в любом сечении балки напряжения не должны превышать предела пропорциональности. В тех случаях, когда такие условия не выполняются, формула Эйлера принимает вид

$$\sigma_{max} = [\sigma_{изг}],$$

где $[\sigma_{изг}]$ - предел прочности пород кровли на изгиб, МПа, а разрушение балок будет происходить от действующих напряжений в результате их изгиба, когда последние достигают своих предельных значений.

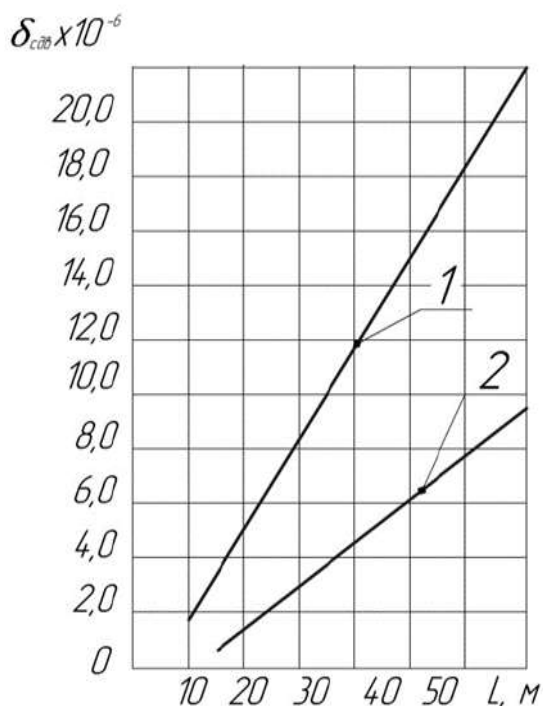


Рис. 7 – Изменение величины прогиба балки, зависящего только от сдвига $\delta_{сдв}$, (м) при различной длине L, (м) и ширине призабойного пространства a, (м), $G = 6000$ МПа, $\nu = 0.3$ и $\alpha_{сдв} = 1,11$: 1- $a=5$ м; 2- $a=10$ м

Таким образом, при разработке угольных пластов в сложных горно- геологических условиях, напряженно- деформационное состояние боковых пород зависит от способа управления кровлей в очистном забое, физико- механических свойств и параметров породной балки, как основного несущего элемента расслоившегося породного массива. При полном обрушении кровли, когда длина балки $L < 5$ м, при отношении длины балки L, (м) к мощности пород непосредственной кровли h, (м) 5:1, при внезапных

обрушениях расслоившейся толщи, разрушение происходит в результате сдвига.

Использование закладки выработанного пространства, позволит обеспечить эффективное поддержание и плавный прогиб расслоившейся породной толщи позади очистного забоя. В этом случае, при отношении L:h как 10:1, когда длина балки $L > 10$ м, величиной сдвиговой податливости можно пренебречь, а разрушение кровли будет происходить за счет изгибных деформаций, при превышении предельных значений породных обнажений.

Вывод

Напряженно-деформированное состояние боковых пород в массиве, вмещающем горные выработки, при внезапных обрушениях нарушенной толщи или посадках пород кровли, определяется видом и уровнем напряжений, зависящих от способа управления кровлей в очистном забое. При полном обрушении кровли в очистном забое, разрушение боковых пород происходит в результате сдвига. В случае применения закладки выработанного пространства, разрушение боковых пород происходит в результате действующих изгибных напряжений.

Список литературы

1. Левкин, Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс, 2002. - 393 с.
2. Андрушко, В. Ф. Управление кровлей в сложных горно- геологических условиях / В. Ф. Андрушко, С. А. Саракитянец, Ю. Г. Спицын. - К.: Техника, 1985. – 372 с.
3. Давидянец, В. Т. Совершенствование способов и средств управления кровлей на шахтах Донбасса. / В. Т. Давидянец. – М.; Недра, 1969. – 277 с.
4. Шашенко, А. Н. Геомеханика / А. Н. Шашенко, В. П. Пустовойшенко, Е. А. Сдвижикова. - К.: Новый друк, 2016. - 528 с.
5. Борисов, А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. - М.: Недра, 1980. - 380 с.
6. Циглер, Ф. Механика твердых тел и жидкостей / Ф. Циглер. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». - 2002. - 912 с.
7. Varuh, H. Applied Dynamics / H. Varuh. – Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872 p.
8. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.; Наука, 1979. – 560 с.
9. Strauh, D. Classical Mechanics: An Introduction / D. Strauh. – Springer, 2009. – 422 p.
10. Пановко, Я. Г. Механика деформируемого твердого тела. Современные концепции, ошибки и парадоксы / Я. Г. Пановко. – М.; Наука, 1985. – 288 с.
11. Тимошенко, С. П. Механика материалов / С. П. Тимошенко, Дж. Гере. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. – 672 с.
12. Никифоровский, В. С. Динамическое разрушение твердых тел / В. С. Никифоровский, Е. М. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 274 с.

13. Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках / **Х. А. Рахматулин, Е. А. Шемякин, Ю. А. Демьянов, А. В. Звягин.** – М.: Университетская книга; Логос, 2008. – 624 с.
14. **Ставрогин, А. Н.** Экспериментальная физика и механика горных пород / **А. Н.Ставрогин, Б. Г.Тарасов.** – СПб: Наука, 2001. – 343 с.
15. **Работков, Ю. Н.** Элементы наследственной механики твердых тел / **Ю. Н. Работков.** – М.: Наука, 1977. – 384 с.
16. **Kleppner, D.** An introduction to Mechanics / **D. Kleppner, R.Kolenkow.** – Cambridge University Press, 2014. – 542 p.
17. **Linkov, A. M.** The Problem of Stability and Dynamic Phenomena in Mines Soc. Rock Mechanics / **A. M. Linkov.** – P1799. Lisboa Cedex, 1994. – 132 p.
18. **Hoek, E.** Practical estimates of rock mass strength / **E. Hoek, E. T. Brown** // *Int.J.Rock Mech. Min. Science.* – 1997. – No. 34 (8). – P. 165-168. – doi: 10.1016/S1365-1609997080069-x.
19. **Alber, M.** Investigation of Limestone Pillar Failure / **M. Alber, J. Heiland** // *Rock Mech. Rock Engng.* – 2001. – No.34 (3) – P.167-186. doi:10.1007/s00603030170007.
20. **Ержанов, Ж. С.** Ползучесть осадочных горных пород. Теория и эксперимент / **Ж. С. Ержанов, А. С. Сагинов, Г. Н. Гуменюк, А. А. Сарсенбаев.** – Алма-Ата; Наука, 1970. – 208 с.
21. **Разумовский, И. А.** Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела / **И. А. Разумовский.** – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2007. – 240 с.
22. **Подкопаев, С. В.** О напряженно-деформированном состоянии боковых пород при внезапном обрушении основной кровли / **С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига** // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2017 (102).* – с. 66 – 71.
23. **Александров, А. В., Потанов В. Д., Державин Б. П.** Сопrotивление материалов / **А. В. Александров, В. Д. Потанов, Б. П. Державин.** – М.: Высшая школа, 2003-560 с.
5. **Borisov, A. A.** Mekhanika gornyykh porod i massivov.- М.: Nedra, 1980. - 380 s.
6. **Tsigler, F.** Mekhanika tverdykh tel i zhidkostey. - Izhevsk: NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika» - 2002.- 912 s.
7. **Baruh, H.** Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015. – 872 p.
8. **Timoshenko, S. P.,** Gud'yer Dzh. Teoriya uprugosti. – М.: Nauka, 1979. – 560 p.
9. **Strauh, D.** Classical Mechanics: An Introduction. – Springer, 2009. – 422 p.
10. **Panovko, Y. G.** Mekhanika deformiruyemogo tverdogo tela. Sovremennyye kontseptsii, oshibki i paradoksy. – М.: Nauka, 1985. – 288 s.
11. **Timoshenko, S. P., Gere, Dzh.** Mekhanika materialov. – SPb.: Izd-vo «Lan'», 2002. – 672 s.
12. **Nikiforovskiy, V. S., Shemyakin, Y. M.** Dinamicheskoye razrusheniye tverdykh tel. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 274 s.
13. Prochnost' i razrusheniye pri kratkovremennykh nagruzkakh / **K. A. Rakhmatulin, Y. A. Shemyakin, Y. A. Dem'yanov, A. V. Zvyagin.** – М.: Universitetskaya kniga; Logos, 2008. – 624 s.
14. **Stavrogin, A. N., Tarasov, B. G.** Eksperimental'naya fizika i mekhanika gornyykh porod. – SPb:Nauka, 2001. – 343 s.
15. **Rabotkov, Y. N.** Elementy nasledstvennoy mekhaniki tverdykh tel. – М.: Nauka, 1977. – 384 s.
16. **Kleppner, D., Kolenkow, R.** An introduction to Mechanics. – Cambridge University Press, 2014. – 542 p.
17. **Linkov, A. M.** The Problem of Stability and Dynamic Phenomena in Mines Soc. Rock Mechanics, P1799. Lisboa Cedex, 1994. – 132 p.
18. **Hoek, E., Brown, E. T.** Practical estimates of rock mass strength. *Int.J.Rock Mech. Min. Science*, 1997, **34** (8), 165-168, doi: 10.1016/S1365-1609997080069-x.
19. **Alber, M. and Heiland, J.** Investigation of Limestone Pillar Failure. *Rock Mech. Rock Engng.*, 2001, **34** (3), 167-186, doi:10.1007/s00603030170007.
20. **Yerzhanov, Z. S., Saginov, A. S., Gumenyuk, G. N., Sarsenbayev, A. A.** Polzuchest' osadochnyykh gornakh porod. Teoriya i yeksperiment. – Alma-Ata; Nauka, 1970. – 208 s.
21. **Razumovskiy, I. A.** Interferentsionno-opticheskiye metody mekhaniki deformiruyemogo tverdogo tela. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 240 с.
22. **Podkopayev, S. V., Iordanov, I. V., Chepiga, D. A.** O napryazhenno-deformirovannom sostoyanii bokovykh porod pri vnezapnom obrushenii osnovnoy krovli. *Vіsник КрНУ імені Михайла Остроградського. Вип. 1/2017 (102)*, 66 - 71
23. **Aleksandrov, A. V., Potapov, V. D., Derzhavin, B. P.** Soprotivleniye materialov. М.: Vysshaya shkola, 2003 – 560 s.

Bibliography (transliterated)

1. **Levkin, N. B.** Predotvrashcheniye avariyy i travmatizma v ugol'nykh shakhtakh Ukrainy. – Donetsk: Donbass, 2002. - 393 s.
2. **Andrushko, V. F., Sarakityants, S. A., Spitsyn, Y. G.** Upravleniye krovley v slozhnykh gorno- geologicheskikh usloviyakh.- К.: Tekhnika, 1985. - 372 s.
3. **Davidyants, V. T.** Sovershenstvovaniye sposobov i sredstv upravleniya krovley na shakhtakh Donbassa. – М.: Nedra, 1969 – 277 s.
4. **Shashenko, A. N., Pustovoyshenko, V. P., Sdvizhikova, Y. A.** Geomekhanika.- К.: Novyy druk, 2016. - 528 s.

Сведения об авторах (About authors)

Иорданов Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, соискатель кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

Igor Iordanov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Applicant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

Чепига Дарья Анатольевна – аспирант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; e-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Daria Chepiga – graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Симонова Юлія Ігорівна - аспірант кафедри «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua.

Yuliia Simonova - graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua.

Довгаль Віталій Юрьевич- генеральный директор ГП «Мирноградуголь», г.Мирноград, Украина.

Vitaliy Dovgal - General Director of the State Enterprise "Mirnogradugol", Mirnograd, Ukraine.

Стойловский Александр Иванович- директор «Шахта «Капитальная» ГП «Мирноградуголь».

Aleksandr Stoylovskiy - Director of "Mine Capital" Mine Capital "State Enterprise" Mirnogradugol ", Mirnograd, Ukraine.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Иорданов, И. В. О напряженно-деформированном состоянии угленородного массива при разгрузке / **И. В. Иорданов, Д. А. Чепига, Ю. И. Симонова, В. Ю. Довгаль, А. И. Стойловский** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 22-30. – doi:10.20998/2413-4295.2018.12.01.

Please cite this article as:

Iordanov, I., Chepiga, D., Simonova, Y., Dovgal, V., Stoylovskiy, A. On the stressed deformed condition of the rock massive at unloading. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 22–30, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.03.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Иорданов, И. В. Про напружено-деформований стан вугленородного масива при розвантаженні / **И. В. Иорданов, Д. А. Чепига, Ю. И. Симонова, В. Ю. Довгаль, А. И. Стойловский** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 22-30. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.03.

АНОТАЦІЯ При аналізі напружено-деформованого стану бічних порід в масиві, що вміщає гірські вироблення, в результаті раптових обвалень товщі, яка розширюється, або посадках порід покрівлі, необхідно враховувати вид і рівень напружень, характер яких залежить від способу управління покрівлею в очисному заборі. В умовах, коли відношення довжини, що зависла від породної консолі L , (м) до потужності порід безпосередньої покрівлі h , (м) 5: 1, при $L < 5$ м і повному обваленні покрівлі, руйнування бічних порід відбуватиметься в результаті дії максимальних дотичних напружень. При відношенні довжини залежної від породної консолі L , (м) до потужності порід безпосередньої покрівлі h , (м) 10: 1 і $L > 10$ м, коли позаду очисного забою забезпечує підтримку і плавний прогин підробленої породної товщі, руйнування шарів відбувається в результаті вигинистих деформацій.

Ключові слова: гірничі виробки; покрівля; бічні породи; напруги; деформації; обвалення порід.

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 621.979

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.04

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВІБРОПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ

Р. Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, Я. В. ІВАНЧУК*, Є. І. ІВАШКО

Кафедра галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА
*e-mail: ivanchuck@ukr.net

АНОТАЦІЯ На основі розробленої структури вібропресових формувальних машин, типів приводів та їх характеристик експериментально досліджено процес формоутворення заготовок з порошкових матеріалів вібраційним і віброударним способом обробки. Визначено збільшення середньої щільності заготовок відносно статичного пресування. За допомогою проведеного аналізу експериментальних даних якісних характеристик заготовок з порошкових матеріалів методом оцінки квантильного розмаху було обрано ефективні режими віброударного пресування, а також встановлена доцільність часового обмеження формування кінцевого виробу.

Ключові слова: вібропрес; експеримент; формоутворення; порошковий матеріал; віброудар; пресування; заготовка

INVESTIGATION OF PARAMETERS OF FORMING PROCESSING OF BILLS FROM POWDER MATERIALS ON VIBRATIONAL PRESSING EQUIPMENT

R. D. ISKOVICH-LOTOTSKY, Y. V. IVANCHUK*, E. I. IVASHKO

Industrial engineering department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, UKRAINE

ABSTRACT Determined high process efficiency of forming preforms from powder materials through vibration and vibro-impact processing. Based on the developed structure of vibropress molding machines, the types of drives and their characteristics, the process of shaping blanks from powder materials with a vibrating and vibro-impact processing method has been experimentally studied. The increase in the average density of blanks with respect to static pressing is determined. Through the analysis of the experimental data quality characteristics preforms from powder materials by quantile estimates amplitude were selected effective modes vibro compaction. The expediency of temporarily limiting the formation of the final product has been established. The development of a promising method for assessing the efficiency of technological processes for shaping blanks from powder materials, by developing a methodology for determining the basic parameters of the operation of vibropress equipment with a hydroimpulse drive, will increase the efficiency of its technological process.

Keywords: vibropress; experiment; shaping; powder material; vibration pull; pressing; workpiece

Вступ

Широке використання в порошковій металургії знаходять вібраційні та віброударні технологічні процеси, а також обладнання для їх реалізації [1-3]. Встановлено, що прикладання до об'єктів обробки корисних вібрацій або ударних імпульсів дозволяє значно інтенсифікувати протікання ряду технологічних процесів, забезпечити оптимальність параметрів навантаження і одержати виріб з високими якісними параметрами. Зокрема, при пресуванні заготовок виробу з порошкових матеріалів (карбідів, боридів тощо) середня щільність і рівнощільність по об'єму заготовок збільшується на 60–70 % в умовах безвідходного виробництва. Тому дослідження процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів за допомогою вібраційної і віброударної обробки на основі проведених технологічних експериментів є актуальною задачею.

Мета роботи

Метою роботи є оцінка ефективності технологічних процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів, за допомогою розробки методики визначення основних параметрів роботи

вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом [1,4].

Викладення основного матеріалу

Для експериментальної оцінки методу формоутворення необхідно вибрати критерій оцінювання ефективності всього технологічного процесу. Головним критерієм оцінювання методу формоутворення є якість заготовки. Саме якість заготовки виробу повинна забезпечуватись відповідними показниками, як міцність, середня щільність ρ_{cp} та відносна нерівнощільність ϵ_p по усьому об'єму в умовах безвідходного виробництва, усуваючи подальшу механічну обробку. Саме якість заготовки залежить від ефективності робочого процесу (формоутворення) та ефективності роботи машини (вібропресового обладнання) [4].

Дослідження проводились на вібропресі ІВПМ (рис. 1). Даний вібропрес оснащений: універсальним гідроімпульсним приводом [1,4] з двокаскадним триходовим двопозиційним віброзбуджувачем 3, який приєднаний схемою «на вході» (рис. 2), станиною 1; гідроаккумулятор з регульованим об'ємом 2; віброзбуджувачем 3; робочим столом 4; пружинами пружного повернення 5; рухомою поперечиною 6;

змінним інерційними вантажами 7; гідроциліндрами статичного притискання 8; прес-формою 9; датчиками тиску ДА і ДЦ; датчиками переміщень ДР і ДП; датчиками зусилля ДЗ; датчиком прискорень ДП.

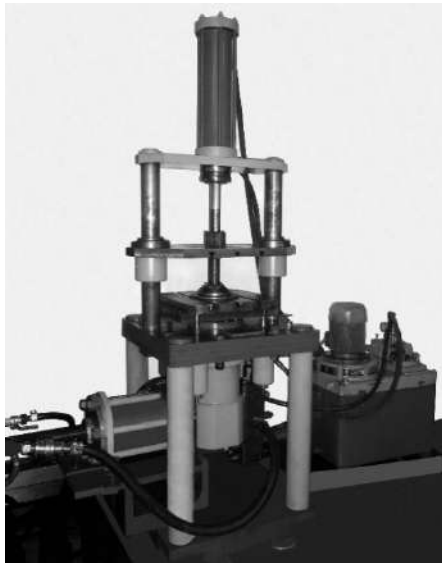


Рис. 1 – Загальний вигляд експериментальної установки вібропреса ІВПМ

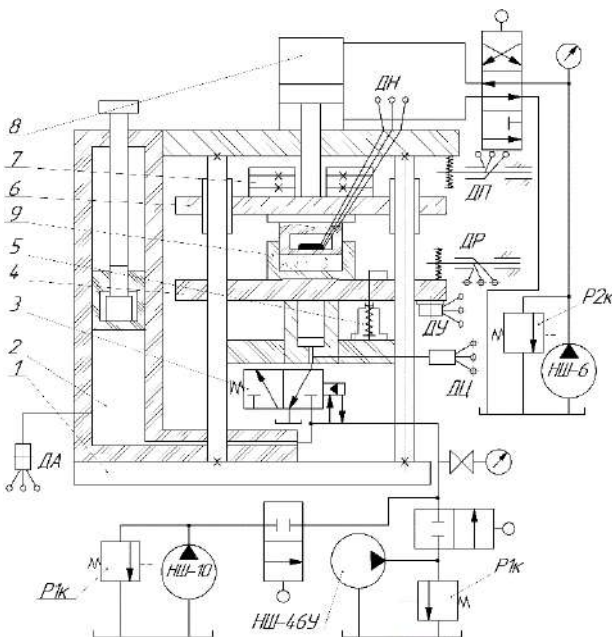


Рис. 2 – Конструктивна схема експериментальної установки вібропреса ІВПМ

Вузол пружного повернення робочої ланки ІВПМ виконаний у вигляді механічних пружин стискання, а додаткове статичне притискання рухомої поперечини до заготовки забезпечує гідроциліндр з незалежним допоміжним насосним приводом.

Для зміни параметрів навантаження на вібропресі ІВПМ передбачено: східчасту зміну подачі робочої рідини в ГПП відповідно від насосів НШ-10

($0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) та НШ-46У ($10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$); статичне притискання пуансона до заготовки штоком гідроциліндра 8, що приводиться в рух від насоса допоміжного приводу НШ-6 ($0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) при плавному регулюванні тиску налаштування спрацьовування запобіжного клапана $p_{2к}$ в межах від 0 до 2,5 МПа; використання змінних інерційних вантажів 7 (по 5 кг та 10 кг) загальною масою до 80 кг; плавне регулювання тиску p_1 налаштування спрацьовування вібробуджувача 3 в межах від 5 до 15 МПа під час налаштування запобіжного клапана на тиск $p_{1к}=16 \text{ МПа}$; зміну об'єму порожнини гідроаккумулятора 2 в межах від 10^{-3} до $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Регулювання енергії одноциклового гідроаккумулятора E_a і вибір режиму віброударного пресування (ВУП) на ІВПМ з вібробуджувачем здійснювалися зміною співвідношень параметрів ГПП: об'єму гідроаккумулятора W_a ($0,0012 \text{ м}^3$; $0,00152 \text{ м}^3$; $0,002 \text{ м}^3$); тиску налаштування спрацьовування вібробуджувача p_2 (8 МПа; 10 МПа; 11 МПа); подачі насоса Q_a ($0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ –НШ10; $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ –НШ46У). Маса інерційного вантажу m вибиралась з умови створення на поверхні заготовки питомого зусилля $p=0,1 \dots 0,15 \text{ МПа}$, а додаткове статичне притискання забезпечувало можливість його збільшення до 1 МПа. Величина енергії одноциклового гідроаккумулятора E_a для кожного випадку визначалася розрахунковим шляхом за допомогою виразу $E_a = (p_{\text{max}}^2 W_0) / 2K_{np}$. Значення K_{np} бралось постійним ($K_{np}=1,41 \cdot 10^9 \text{ Па}$) [6-8]. Для певних співвідношень параметрів приводу, які забезпечують енергії $E_{a1} = 34,2 \text{ Дж}$ ($W_{a1}=1,52 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1=8 \text{ МПа}$; $f=13,6 \text{ Гц}$), $E_{a2}=48,2 \text{ Дж}$ ($W_{a2}=1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1=10 \text{ МПа}$; $f=11,8 \text{ Гц}$), $E_{a3} = 53,1 \text{ Дж}$ ($W_{a3}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1=10 \text{ МПа}$; $f=11,1 \text{ Гц}$) і $E_{a4}=85,8 \text{ Дж}$ ($W_{a4}=2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $p_1=11 \text{ МПа}$; $f=8,2 \text{ Гц}$), на ІВПМ реалізовувалися основні режими ВУП, а саме режими: ВУП-I – $p=0,12 \text{ МПа}$; ВУП-II – $p=0,15 \text{ МПа}$; ВУП-III – $p=0,13 \text{ МПа}$.

Значення ρ_{cp} та ϵ_p визначалися за допомогою виразів:

$$\rho_{cp} = \frac{m_{\text{заг}}}{W_{\text{заг}}}; \epsilon_p = \frac{|\rho_i - \rho_{cp}|}{\rho_{cp}} \cdot 100 \%,$$

де $m_{\text{заг}}$ – маса навішування порошкового матеріалу; $W_{\text{заг}}$ – об'єм заготовки після завершення її формоутворення; ρ_i – середня щільність виділеного об'єму W_i заготовки масою m_i . За відомими аналітичними залежностями розраховувався об'єм заготовок правильної геометричної форми [9, 10].

Оцінка придатності заготовок, отриманих ВУП, проводилось порівнянням розрахункових величин ρ_{cp} та ϵ_p з їхніми допустимими значеннями $\rho_{cp} \geq [\rho_{cp}]$ і $\epsilon_p \leq [\epsilon_p]$, що дозволяє опосередковано охарактеризувати механічну міцність заготовок і рівномірність розподілення в них внутрішніх напружень. З раніше проведених досліджень [11,12] визначили, що параметри заготовки ρ_{cp} та ϵ_p залежать від величини енергії E_a , накопиченої в одноциклового

гідроакумуляторі для здійснення робочого ходу ІВПМ та енергії $E_{повн}$, яка витрачається на весь процес формоутворення.

Під час експериментальних досліджень були використані заготовки виробів «еталонних зразків» з порошкових матеріалів. «Еталонний зразок» – маса якого дорівнювала 110 гр – засипався в циліндричний контейнер діаметром 55 мм прес-форми закритого типу. Порошкові матеріали брались чотирьох типів М1, М2, М3, М4. М1 – мінеральний порошок НЕФ (вологістю 13 %, зв'язка жирова 3,2 %); М2 – мінеральний порошок НЕФ (вологість 2 %, зв'язка відсутня); М3 – карбід кремнію зел. № 4, 10, 12; М28 – 80 % (бакеліт 10 %, кокс 10 %); М4 – вогнетривкий шамот (вологість 13,8 %, зв'язка глиняна 31,2 %).

Шляхом регулювання величини енергії одноциклового гідроакумулятора E_a , у межах конкретного режиму ВУП, можна забезпечити зменшення або збільшення середньої щільності «еталонного» зразка з будь-якого вказаного порошкового матеріалу від недопресовування або до перепресовування.

Тривалість процесу ВУП t встановлювалася 3 с, 4 с, 5 с і 7 с. Ефективність кожного з режимів, у залежності від тривалості навантаження, оцінювалася за результатами вимірювань середньої щільності ρ_{cp} та відносної нерівнощільності ε_p трьох «еталонних» зразків даного порошкового матеріалу, а також знаходження їх середньоарифметичних значень. Середня щільність зразків визначалася безпосередньо після їх витягування з прес-форми.

Для визначення відносної нерівнощільності кожен «еталонний» зразок, попередньо витриманий у сушильній шафі при температурі 100 °С протягом 16...18 годин, знову піддавався вимірюванню середньої щільності, а потім розділявся на три приблизно рівні за висотою частини. Об'єм даних частин визначався гідростатичним зважуванням. При розрахунку відносної нерівнощільності вибиралося максимальне значення $|\rho_i - \rho_{cp}|$ абсолютного відхилення середньої щільності висушеного зразка [4,13].

На основі результатів експериментальних досліджень порошкових матеріалів М1, М2, М3 та М4 в програмі Statistica 10.1 будують діаграми зміни середньої щільності заготовки в залежності від режиму ВУП (рис. 3), де для кожного типу порошкового матеріалу визначаємо найефективніший його основний режим (на рис. 3 виділено поверхнею).

Отримані діаграми дозволили визначити ефективні режими навантаження для даних типів зразків, а саме: М1 і М2 – ВУП-I; для М3 – ВУП-III; для М4 – ВУП-II.

Також було визначено, що для постійної величини енергії одноциклового гідроакумулятора E_a , збільшення тривалості процесу ВУП дозволяє збільшувати середню щільність «еталонного» зразка тільки до визначеної межі, вище якої середня щільність зразка практично залишається незмінною, а

якість помітно знижується в результаті перепресовування і руйнування [14, 15].

Виходячи з фізико-механічних характеристик кожного порошкового матеріалу можна обґрунтувати вибір режиму ВУП. У розглянутих випадках режими ВУП-I і ВУП-II, що забезпечують повне розвантаження заготовки, бажано застосовувати для формоутворення порошкових матеріалів із пластифікатором та зв'язкою, а режим ВУП-III – для сухих порошкових матеріалів.

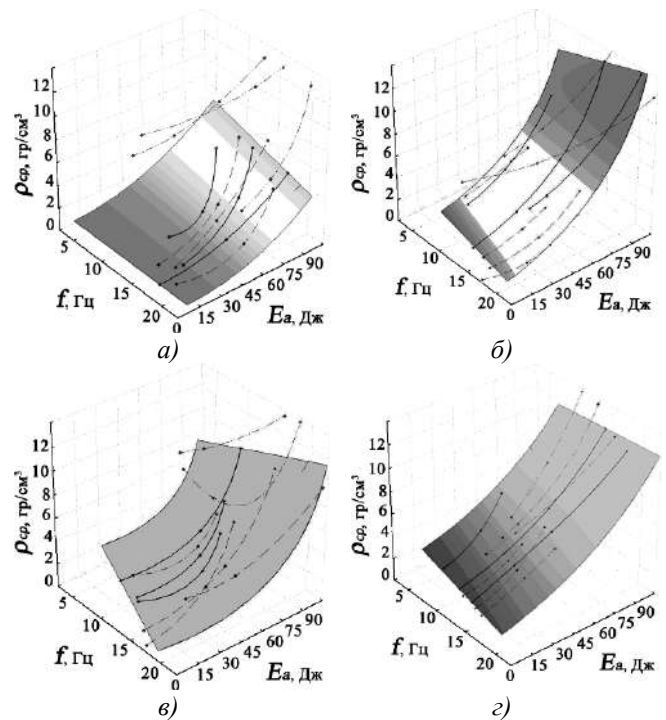


Рис. 3 – Діаграми зміни середньої щільності заготовки в залежності від режиму віброударного пресування:
а – матеріал М1; б – матеріал М2; в – матеріал М3; г – матеріал М4

Наведені рекомендації можна обґрунтувати з позиції резонансно-структурної теорії процесів ВУП порошкових матеріалів [5]: під час повернення контейнера прес-форми з заготовкою із сухого порошкового матеріалу у вихідне положення відбувається зіткнення столу зі станиною після чого у заготовці поширюється ударна хвиля стиску, яка переходить в хвилю розтягу (верхній кінець заготовки розвантажений); енергія ударної хвилі концентрується в зонах контактів частинок основи і при недостатніх силах зчеплення викликає їх руйнування, що супроводжується розпушенням заготовки; додаткове статичне притискання рухомої поперечини з інерційним вантажем до заготовки (режим ВУП-III) створює в останній поле напружень стиску, яке компенсує можливе руйнування (розпушення) структури скелета заготовки. Режими ВУП-I і ВУП-II близькі між собою і тому мають приблизно рівні технологічні можливості, але з точки

зору ефективності реалізації даних режимів на ІВПМ, перевагу варто віддати режиму ВУП-I, як стійкішому, що допускає здійснення регулювання в певних межах параметрів навантаження. Максимальна допустима частота f_p робочих ходів ІВПМ, що відповідає частоті спрацювання вібробудувача ГП, визначається в залежності від типу порошкового матеріалу. Зміну частоти робочих ходів ІВПМ для постійної величини енергії E_a , в межах вибраного основного режиму, допускають тільки ВУП-I і ВУП-III. Але, як показали експерименти, зберігаючи відповідні значення енергій $[E_a]$ та $[E_{повн}]$, така зміна частоти робочих ходів не впливає на середню щільність і відносну нерівнощільність «еталонних» зразків [8,11,14].

Згідно з резонансно-структурною теорією [5], кожній заготовці з порошкового матеріалу, в залежності від її геометричних (висота) та фізико-механічних (середня щільність, динамічний модуль пружності) параметрів, у початковий і кінцевий моменти процесу формотворення способом ВУП, повинна відповідати визначена тривалість τ_0 короткочасного імпульсу примусової сили зовнішнього впливу. Для випадків реалізації способів ВУП на ІВПМ таким короткочасним імпульсом сили є імпульс тиску рідини в порожнині приводного гідроциліндра. Його тривалість однозначно визначається величиною енергії E_a . Отже, експериментально встановлена наявність для кожного «еталонного» зразка раціональної величини енергії $[E_a]$, що підтверджує зазначене положення резонансно-структурної теорії.

Також під час обробки експериментальних даних було використано методи графічного зображення, які дають найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин, встановити наявність екстремумів функції. При цьому отримані точки на графіку було з'єднано плавною лінією так, щоб вона, за змогою проходила щонайближче до всіх екстремальних точок, оскільки більшість функцій має плавний характер. Тому графічною інтерпретацією якісних показників заготовок при ВУП (рис. 4) отриманих в статистичному середовищі Statistica 10.1 було додатково підтверджено обрані (рис. 3) найефективніші режими ВУП.

Для мінеральних порошоків НЕФ (вологість 13 %, зв'язка жирова 3,2 %) та мінеральних порошоків НЕФ (вологість 2%, зв'язка відсутня) – ВУП-I; карбід кремнію зел. (№ 4, 10, 12 М28 – 80 %, бакеліт 10%, кокс 10%) – ВУП-III; вогнетривкого шамоту (вологість 13,8 %, зв'язка глиняна 31,2 %) – ВУП-II.

Для оцінки статистичного розподілу отриманих експериментальних даних якісних характеристик заготовок з порошкових матеріалів було використано метод оцінки квантильного розмаху [7, 9] (рис. 5), що визначило концентрацію мінімальних значень для

середньої щільності та відносної нерівнощільності вихідних заготовок з досліджуваних матеріалів.

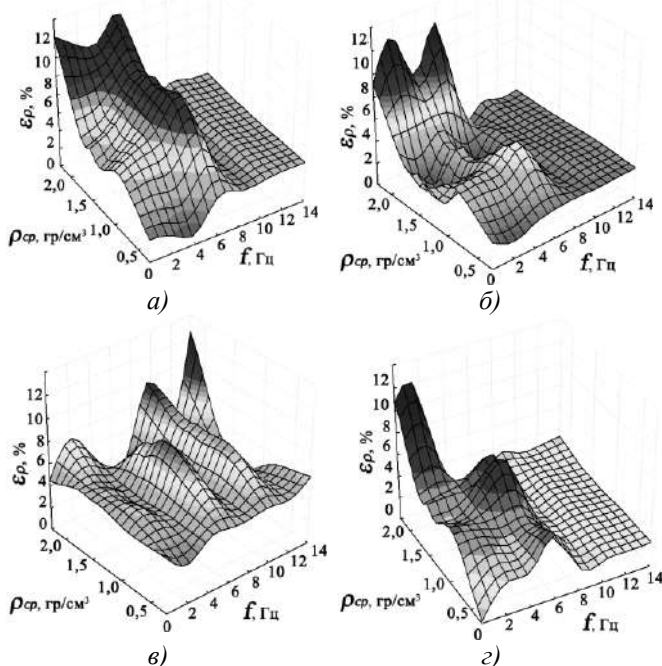


Рис. 4 – Діаграми якісних характеристик заготовок з порошкових матеріалів в залежності від режиму ВУП: а – матеріал М1; б – матеріал М2; в – матеріал М3; г – матеріал М4

Для матеріалу з мінеральних порошоків НЕФ М1 (вологість 13 %, зв'язка жирова 3,2 %) (рис. 5, а, д) сукупність оптимальних технологічних показників знаходяться в режимі ВУП-I, що становлять для середньої щільності заготовки 2,3 гр/см³ для відносної нерівнощільності 6,5 %. Оцінка оброблюваного матеріалу з мінеральних порошоків НЕФ М2 (вологість 2 %, зв'язка відсутня) (рис. 5, б, е) дещо відокремлюється в порівнянні з отриманими даними в математичній моделі, а саме відображає доцільність застосування комбінації технологічних режимів ВУП-I, ВУП-II, при яких якісні характеристики набувають значень: у випадку аналізу щільності її мінімальне значення 1,9 гр/см³ спостерігається при ВУП-II, у випадку аналізу відносної нерівнощільності мінімальне значення 2,3 % – ВУП-I.

Дослідження вихідних зразків сформованих з карбід кремнію зелений М3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, М28 – 80 %; бакеліт рідкий – 10 %; кокс нафтовий – 10 %) (рис. 5, в, ж) засвідчило, що оптимальні значення середньої щільності заготовки 2,1 гр/см³ та відносної нерівнощільності 3,9 % спостерігаються при III-ому режимі віброударного пресування. У випадку з оцінюванням якісних характеристик спресованих матеріалів з вогнетривкого шамоту М4 (вологість 13,8 %, зв'язка глиняна 31,2 %) (рис. 5, г, з) слід відзначити, що мінімальні значення середньої щільності та відносної

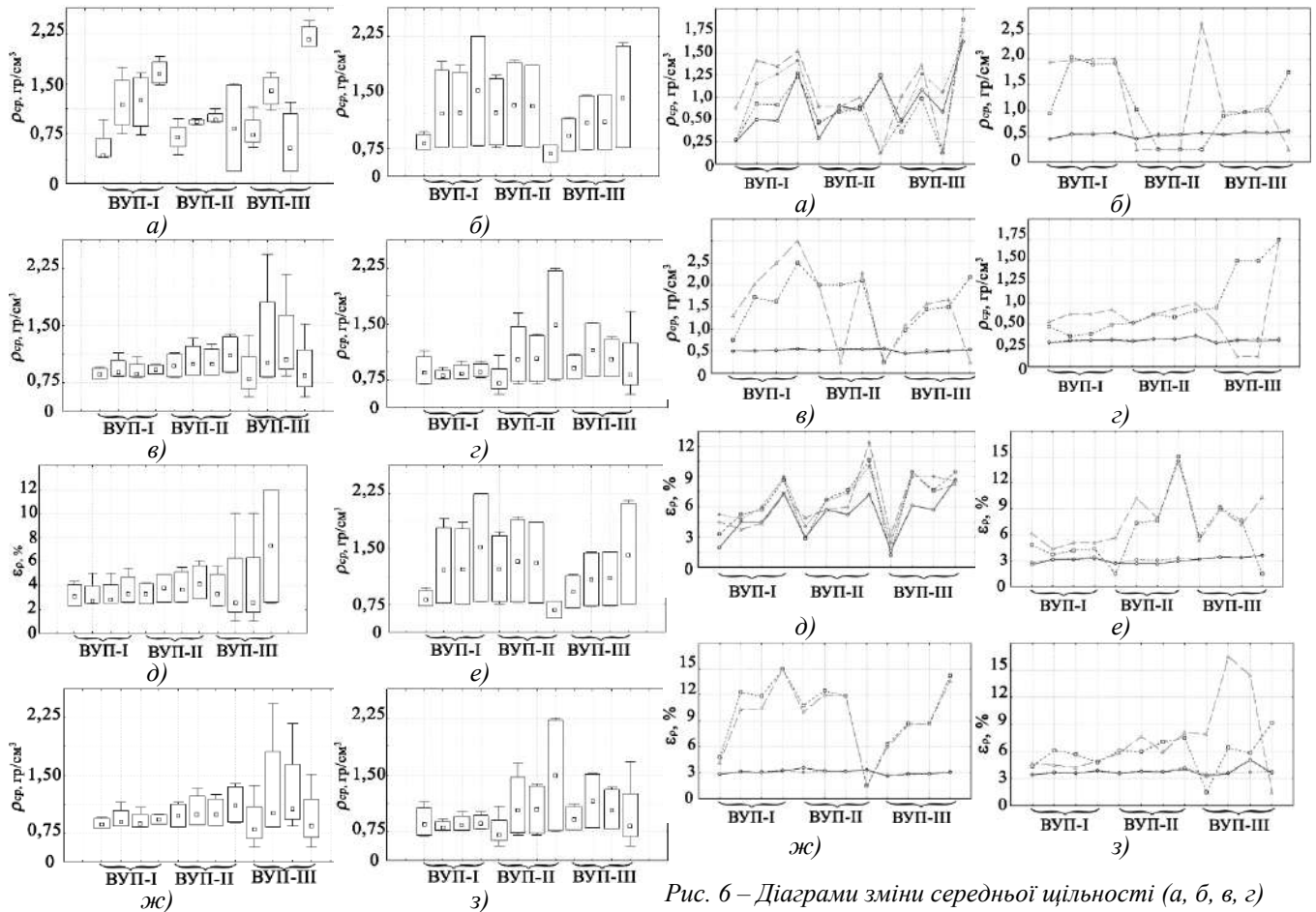


Рис. 5 – Діаграми квантилю розмаху для середньої щільності (а, б, в, г) і відносної нерівнощільності (д, е, ж, з) оброблюваних матеріалів залежно від режимів ВУП: а, д – матеріал М1; б, е – матеріал М2; в, ж – матеріал М3; г, з – матеріал М4
□ – мода; □ – дисперсія; ┆ – розмах значень без відбраковки

Рис. 6 – Діаграми зміни середньої щільності (а, б, в, г) і відносної нерівнощільності (д, е, ж, з) оброблюваних матеріалів залежно від режимів ВУП: а, д – час ВУП 3 с; б, е – час ВУП 4 с; в, ж – час ВУП 5 с; г, з – час ВУП 7 с; □ – матеріал М1; - - - - матеріал М2; ---- – матеріал М3; – матеріал М4

нерівнощільності, відповідно рівні 2,1–2,29 гр/см³ та 3,8–4,2 % і спостерігаються при ВУП-I та ВУП-II. Також значення якісних параметрів матеріалу М1 (середньої щільності та відносної нерівнощільності оброблюваного матеріалу) за умови режиму роботи $p=0,12$ МПа; $E_a=85,8$ Дж; $f=8,2$ Гц супроводжується значними енерговитратами за умови зниження якісних характеристик.

На графічній інтерпретації (рис. 6) представлені залежності середньої щільності та відносної нерівнощільності отриманих виробів для тривалості процесу ВУП $t=3, 4, 5, 7$ с в залежності від технологічних параметрів режимів ВУП.

На графічній інтерпретації (рис. 6) залежності середньої щільності та відносної нерівнощільності отриманих виробів від технологічних параметрів режимів ВУП чітко спостерігається оптимальний час 3 секунди, а подальше його збільшення призводить до значних енергозатрат і як наслідок, – до підвищення собівартості кінцевого виробу за сталих показників якості.

Аналіз статистичного взаємозв'язку якісних характеристик досліджуваних матеріалів засвідчив, що оптимальними технологічними параметрами обробки матеріалів М1, М2 є тиск 0,12 МПа, М3 – 0,15 МПа, М4 – 0,13 МПа, проте слід відзначити зростання досліджуваних показників середньої щільності та відносної нерівнощільності оброблюваного матеріалу при збільшенні енергетичних характеристик обробки та зменшенні частоти коливань технологічного впливу.

Висновки

1. Розроблено методику експериментального дослідження процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів і визначено збільшення середньої щільності заготовок на 60–70 %, відносно статичного пресування, вібраційним і віброударним способом обробки на основі розробленої структури вібропресових формувальних машин, типів приводів та їх характеристик.

2. За допомогою проведеного аналізу експериментальних даних якісних характеристик заготовок з порошкових матеріалів методом оцінки квантильного розмаху було обрано ефективні режими віброударного пресування, а також встановлена доцільність часового обмеження формування кінцевого виробу.

Список літератури

1. **Іскович–Лотоцький, Р. Д.** Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів / **Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук** // Монографія. – Монографія. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2012. – 156 с.
2. **Надутьий, В. П.** Повышение эффективности процесса удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия / **В. П. Надутьий, Е. С. Лапшин, А. И. Шевченко, А. В. Буров** // *Научный вестник НГУ*. – 2011. – №2. – С. 95–99.
3. **Еремеева, Ж. В.** Особенности применения наноразмерных порошков углерода и хрома на процессы подготовки шихты и прессования порошковых сталей / **Ж. В. Еремеева, Н. М. Ниткин, Г. П. Шарипзянова** // *Известия московского государственного технического университета МАМИ*. – 2011. – №2(12). – С. 123–127.
4. **Iskovych–Lototsky, R. D.** Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials / **R. D. Iskovych–Lototsky, O. V. Zelinska, Y. V. Ivanchuk, N. R. Veselovska** // *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. – 2017. – Vol. 1, № 1(85). – P. 9–17. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
5. **Іскович–Лотоцький, Р. Д.** Модування робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів / **Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський** // *Східно–європейський журнал передових технологій*. – Харків, 2016. – Том 1, № 8(79). – С.11–20. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.
6. **Іскович–Лотоцький, Р. Д.** Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів / **Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський** // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. – Д., 2014. – №5(53) – С.109 – 118. – doi: 10.15802/stp2014/30458.
7. **Fekri, A.** Does intense monitoring matter? A quantile regression approach / **A. Fekri, S. Buerhan, H. Muslim, M. Hafiz** // *Borsa Istanbul Review*. – 2017. – 17(2). – P. 75-85. – doi: 10.1016/j.bir.2017.02.004.
8. **Capitao, S. D.** Assessing permanent deformation resistance of high modulus asphalt mixtures / **S. D. Capitao, L. Picado-Santos** // *Journal of transportation engineering-ASCE*. – 2006. – V. 132(5). – P. 394-401. – doi: 10.1061/(asce)0733-947x(2006)132:5(394).
9. **de Oliveira, Al.** Evaluation of the Superficial Texture of Concrete Pavers Using Digital Image Processing / **AL. de Oliveira, LR. Prudencio** // *Journal of construction engineering and management*. – 2015. – V. 141(10). – P. 394-401. – doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001012.
10. **Carlos, E.** Microstructure and mechanical properties of artificial marble / **E. Carlos, J. Rubén, A. Eduardo** // *Construction and Building Materials*. – 2017. – V. 149. – P. 149–155. – doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.119.

11. **Jörg, C.** Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations / **C. Jörg, K. Mont, S. Pornsak** // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2010. – V. 88(1). – P. 100–108. – doi: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.
12. **Deli, W.** Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations / **W. Deli, X. Wei, G. Xudong, P. Haiqing** // *International Journal of Non-Linear Mechanics*. – 2016. – V. 86. – P. 55–65. – doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.
13. **Jeffrey, R.** Vibro-fluidization of fine boron nitride powder at low pressure / **R. Jeffrey, G. Steven, W. Alan** // *Powder Technology*. – 2001. – V. 121(2-3). – P. 195–204. – doi: 10.1016/s0032-5910(01)00337-0.
14. **Heather, E.** Granule formation mechanisms and morphology from single drop impact on powder beds / **E. Heather, D. Kayrak-Talay, S. William** // *Powder Technology*. – 2011. – V. 212(1). – P. 69–79. – doi: 10.1016/s0032-5910(01)00337-0.
15. **Soleymani, M.** Effect of slurry pool formation on the load orientation, power draw, and impact force in tumbling mills / **M. Soleymani, M. Fooladi, M. Rezaeizadeh** // *Powder Technology*. – 2016. – V. 287. – P. 160–168. – doi: 10.1016/j.powtec.2015.10.009.

Bibliography (transliterated)

1. **Iskovych–Lototskyi, R. D., Ivanchuk, Ya. V.** Vibratsiini ta vibroudarni prystroi dlia rozvantazhennia transportnykh zasobiv. Monohrafiia. – Vinnytsia : UNIVERSUM–Vinnytsia, 2012. – 156 s.
2. **Nadutyj, V. P., Lapshin, E. S., Shevchenko, A. I., Burov, A. V.** Povyshenie jeffektivnosti processa udalenija vlagi pri tonkom grohochenii gornoj massy za schet impul'snogo vozdeystviya. *Naukovy visnyk NHU*, 2011, 2, 95–99.
3. **Eremeeva, Zh. V., Nytkyn, N. M., Sharypzyanova, H. P.** Osobennosty prymeneniya nanorazmernikh poroshkov uhleroda y khroma na protsessi podhotovky shykhti y pressovaniya poroshkovykh stalei. *Yzvestiya moskovskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta MAMY*, 2011, 2(12), 123–127.
4. **Iskovych–Lototsky, R. D., Zelinska, O. V., Ivanchuk, Y. V., Veselovska, N. R.** Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*, 2017, 1, № 1(85), 9–17. doi: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
5. **Iskovych–Lototskyi, R. D., Ivanchuk, Ya. V., Veselovskiy, Ya. P.** Modeliuvannya robochykh protsesiv v piroliznii ustanovtsi dlia utylizatsii vidkhodiv. *Skhidno–yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. – Kharkiv, 2016, 1, № 8(79), 11–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.
6. **Iskovych–Lototskyi, R. D., Ivanchuk, Ya. V., Veselovskiy, Ya. P.** Osnovy rezonansno–strukturnoyi teorii vibroudarnoho rozvantazhennia transportnykh zasobiv. *Nauka ta prohes transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho unyversytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana*, 2014, 5(53), 109 – 118. doi: 10.15802/stp2014/30458.
7. **Fekri, A. S., Buerhan, H., Muslim, M. Hafiz** Does intense monitoring matter? A quantile regression approach. *Borsa Istanbul Review*, 2017, 17(2), 75–85. doi: 10.1016/j.bir.2017.02.004.
8. **Capitao, S. D., Picado-Santos, L.** Assessing permanent deformation resistance of high modulus asphalt mixtures.

- Journal of transportation engineering-ASCE*, 2006, **132**(5), 394-401. doi: 10.1061/(asce)0733-947x(2006)132:5(394).
9. **de Oliveira, Al., Prudencio, L. R.** Evaluation of the Superficial Texture of Concrete Pavers Using Digital Image Processing. *Journal of construction engineering and management*, 2015, **141**(10), 394-401. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001012.
 10. **Carlos, E., Rubén, J., Eduardo, A.** Microstructure and mechanical properties of artificial marble. *Construction and Building Materials*, 2017, **149**, 149-155. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.119.
 11. **Jörg, C., Mont, K., Pornsak, S.** Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, **88**(1), 100-108. doi: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.
 12. **Delí, W., Wei, X., Xudong, G., Haiqing, P.** Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2016, **86**, 55-65. doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.
 13. **Jeffrey, R., Steven, G., Alan, W.** Vibro-fluidization of fine boron nitride powder at low pressure. *Powder Technology*, 2001, **121**(2-3), 195-204. doi: 10.1016/s0032-5910(01)00337-0.
 14. **Heather, E., Kayrak-Talay, D., William, S.** Granule formation mechanisms and morphology from single drop impact on powder beds. *Powder Technology*, 2011, **212**(1), 69-79. doi: 10.1016/s0032-5910(01)00337-0.
 15. **Soleymani, M., Fooladi, M., Rezaeizadeh, M.** Effect of slurry pool formation on the load orientation, power draw, and impact force in tumbling mills. *Powder Technology*, 2016, **287**, 160-168. doi: 10.1016/j.powtec.2015.10.009.

Відомості про авторів (About authors)

Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри галузевого машинобудування; м. Вінниця, Україна.

Rostislav Iskovych-Lototsky – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Head of Industrial Engineering Department, Vinnytsia, Ukraine.

Іванчук Ярослав Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри галузевого машинобудування; м. Вінниця, Україна; e-mail: ivanchuck@ukr.net.

Yaroslav Ivanchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Associate Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: ivanchuck@ukr.net.

Івашко Євгеній Іванович – Вінницький національний технічний університет, старший лаборант з вищої освіти кафедри галузевого машинобудування; м. Вінниця, Україна.

Evheniy Ivashko – Vinnytsia National Technical University, senior laboratory assistant for higher education with Industrial Engineering Department, Vinnytsia, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Іскович-Лотоцький, Р. Д. Дослідження параметрів процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні / **Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Є. І. Івашко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 31-37. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.04.

Please cite this article as:

Iskovich-Lototsky, R., Ivanchuk, Y., Ivashko, E. Investigation of parameters of forming processing of bills from powder materials on vibrational pressing equipment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 31-37, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.04.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Іскович-Лотоцький, Р. Д. Исследование параметров процесса формообразования заготовок из порошковых материалов на вибропресового оборудовании / **Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Є. І. Івашко** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 31-37. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.04.

АННОТАЦІЯ На основі розробленої структури вібропресових формовочних машин, типів приводів і їх характеристик експериментально досліджено процес формообразования заготовок из порошковых материалов вибрационным и виброударным способом обработки. Определено увеличение средней плотности заготовок относительно статического прессования. С помощью проведенного анализа экспериментальных данных качественных характеристик заготовок из порошковых материалов методом оценки квантильного размаха были выбраны эффективные режимы виброударного прессования, а также установлена целесообразность временного ограничения формирования конечного изделия.

Ключевые слова: вибропрес; експеримент; формообразование; порошковый материал; виброудар; прессование; заготовка

Поступила (received) 08.02.2018

УДК 621.316

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.05

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

С. В. КРАВЧУК*, А. В. СИТНИК, А. А. ОГОРДНИК, В. А. ПЛОТИЦЯ

Кафедра електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА
*e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

АНОТАЦІЯ В роботі розв'язується актуальна задача підвищення балансової надійності локальних електричних систем (ЛЕС) за рахунок встановлення накопичувача в межах балансової належності фотоелектричної електростанції (ФЕС). Проаналізовано закон розподілу генерування ФЕС для певного проміжку часу доби протягом року. Запропоновано математичну модель генерування ФЕС у вигляді гаусових сумішей. Отримано основні характеристики імовірнісного характеру генерування сонячної електростанції. Визначено імовірність покриття заданого графіка навантаження генерування ФЕС протягом певного часу доби впродовж всього року. На основі визначених імовірнісних характеристик генерування ФЕС визначено ємність накопичувача, що дозволить підвищити балансову надійність ЛЕС.

Ключові слова: потужність генерації; фотоелектричні станції; графік навантаження; ємність накопичувача; гаусові суміші розподілу; імовірнісні характеристики.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM CAPACITY OF THE PHOTOELECTRIC STATIONS STORAGE FOR INCREASING THE BALANCE RELIABILITY OF LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

S. KRAVCHUK, A.V. SITNIK, A.A. OGORODNIK, V.O. PLOTITSA

Department of power plants and systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, UKRAINE

ABSTRACT In this work the actual task of increasing the balance reliability of local electrical systems (LES) is solved by establishing a drive within the limits of the balance sheet of a photovoltaic electric stations (PES). The law of distribution of generation of PES for a certain period of time of day during the year is analyzed. A mathematical model for generating PES in the form of Gaussian mixtures is proposed. The main characteristics of the probabilistic nature of solar power generation are obtained. The probability of covering the given loading schedule by generating the PES is determined for a certain time of day throughout the year. On the basis of certain probabilistic characteristics of the PES generation, the capacity of the drive is determined, which will increase the balance reliability of the LES.

The probabilistic characteristics of both the process of generating electricity at the PES and the process of its consumption are precisely determined by a mathematical model based on the Gaussian mixture. On the basis of the received characteristics it is relatively easy to obtain the probability of covering the loading schedule with the source of renewable energy and to determine the probability of providing balance reliability in the local electrical system. It is expedient to estimate the probability of providing a loading schedule at hourly intervals on which the day is broken. This reduces the analysis errors that are caused by the natural conditions for generating electricity from renewable sources, and take into account the features of its consumption graphs.

In this paper the capacity of the drive is determined based on the possibilities of accumulation of surplus electricity, at the peak generation time of the PES.

Keywords: generation power; photoelectric stations; load schedule; storage capacity; Gaussian mixes of distribution; probabilistic characteristics.

Вступ

Графік генерування електричної енергії фотovoltaїчними електростанціями безпосередньо залежить від природних особливостей регіону, в якому вони розташовані. Ця особливість ФЕС вносить певні проблеми під час розв'язання задачі забезпечення надійного і якісного електропостачання споживачів. Тому, постає задача зменшення нестабільності такого генерування за рахунок встановлення накопичувача електроенергії.

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, відмітимо балансову надійність як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження енергії. Від того, якими способами і засобами забезпечується

балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1-4]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС і ВЕС. Нестабільність генерування ФЕС і ВЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з ЕЕС. В умовах сьогодення забезпечення балансу лежить суто на централізованій системі електропостачання [6-8]. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукатимуть власників ВДЕ, працювати за заданим графіком. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування, щодо покриття графіка навантаження [9-12]. На основі статистичних даних по генеруванню, якщо станція

вже експлуатується, або прогнозних по виробітку електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію щодо визначення потужності накопичувача, як елемента дотримання заданого графіка генерування, а отже і балансування в електричній мережі до якої приєднана станція [13-15].

Мета роботи

Метою роботи є оцінювання впливу відновлюваних джерел енергії, зокрема ФЕС на балансову надійність локальної електричної системи та визначення ємності та графіку роботи накопичувача для її підвищення.

Виклад основного матеріалу

Розроблення методу визначення покриття графіка споживання потенційно можливим генеруванням фотоелектричної електростанції є необхідним для забезпечення балансової надійності. Для цього потрібно визначити основні ймовірнісні характеристики процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС.

На рис. 1, як приклад, в розрізі кожної доби в проміжок часу 12:30–13:00 протягом року для підстанції «Ямпіль 110/10 кВ» побудовані гістограми густин генерування і споживання потужностей (потужності подані у відносних одиницях, де за базис прийнято їх номінальні значення). З рис. 1 видно, що розподіл генерування ФЕС та навантаження – полімодальний. В тих випадках, коли «форму» розподілу не вдається описати одним розподілом, то її можна описати за допомогою суміші розподілів. Серед інших, можна виділити модель гаусової суміші, яка представляє собою зважену суму k компонентів, густина розподілу якого має вигляд [7]:

$$p(x) = \sum_{j=1}^m w_j p_j(x), \quad (1)$$

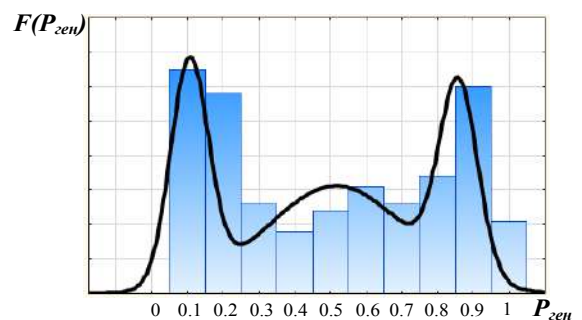
де $p_j(x)$ – функція густини розподілу j -тої компоненти суміші; w_j – вага j -тої компоненти суміші (апріорна імовірність) $\sum_{j=1}^k w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1 \dots k$ – кількість компонент в суміші.

Функція густини розподілу має вигляд:

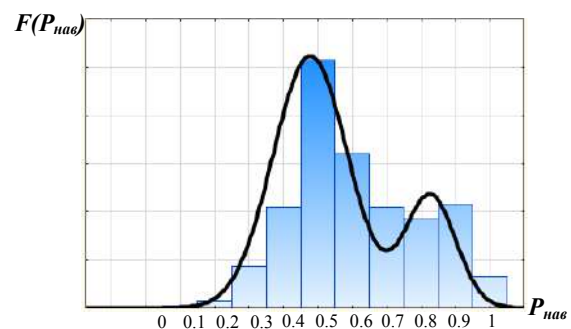
$$p_j(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{k}{2}} |\zeta_j|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_j)^T \zeta_j^{-1} (x-\mu_j)},$$

де μ_j – математичне очікування j -тої компоненти; $|\zeta_j|$ – визначник коваріаційної матриці j -тої компоненти суміші, k – кількість компонент в суміші.

В задачі визначення розподілу випадкової величини на певному проміжку часу загальна математична модель розподілу буде описуватись рівнянням (1). Розщеплення гаусової суміші пропонується проводити за допомогою методу оцінки-максимізації (expectation-maximization) правдоподібності. ЕМ-алгоритм складається з ітераційного повторення двох кроків. На Е-кроці вираховуємо очікуване значення (expectation) вектора прихованих параметрів G за поточним наближенням вектора параметрів Θ . На М-кроці вирішується задача максимізації правдоподібності (maximization) і знаходиться наступне наближення вектора Θ , за поточними значеннями векторів G та Θ .



а)



б)

Рис. 1 – Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС (а) та для навантаження ЛЕС (б)

Е-крок. Позначимо густину імовірності як $p(x, \theta_j)$, того що об'єкт x отриманий з j -тої компоненти суміші. Згідно з формулою умовної імовірності:

$$p(x, \theta_j) = p(x)P(\theta_j | x) = w_j p_j(x). \quad (2)$$

Позначимо, $g_{ij} = P(\theta_j | x_i)$ – невідома апостеріорна імовірність того, що x_i отриманий з j -тої компоненти суміші. Приймаємо ці величини в якості прихованих змінних, тобто $G = (g_{ij}) = (g_{1 \dots j} \dots g_j)$, де g_j – j -й стовбець матриці G .

М-крок. Визначивши за формулою Байеса значення прихованих змінних g_{ij} , вирішуємо оптимізаційну задачу:

$$Q(\Theta) = \ln \prod_{i=1}^m p(x_i) = \sum_{i=1}^m \ln \sum_{j=1}^k w_j p_j(x_i) \rightarrow \max(\Theta) \quad (3)$$

Результатом розв'язування оптимізаційної задачі є імовірнісні характеристики процесів генерування та навантаження за критерієм максимуму правдоподібності. Маючи такі характеристики, визначено закон розподілу випадкових потужностей генерування ФЕС (рис. 1а) та навантаження ЛЕС (рис. 1б). На основі визначених характеристик, маючи вагу кожної компоненти генерування та навантаження, можна визначити імовірність видачі певної потужності генерування ФЕС та навантаження.

Для цього пропонується розбити кожну компоненту генерування та навантаження на складові з певним кроком (чим менший крок, тим точність розрахунку вища) та знайти імовірність їх появи за допомогою інтегралу імовірності:

$$F(X_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_u}^{X_{u+1}} e^{-\frac{r^2}{2}} dX_u, \quad (4)$$

де $r = \frac{(X_u - \mu)}{\sigma}$, а X_u відповідно приймає значення X_u та X_{u+1} кожної складової компоненти генерування ФЕС чи споживання; μ – математичне очікування; σ – середньоквадратичне відхилення.

Визначивши імовірність появи u -тої складової компоненти генерування $p_{ген_u}$ та навантаження $p_{нав_u}$, визначаємо імовірність покриття u -тої компоненти навантаження генеруванням ФЕС:

$$p_{покр_u} = p_{нав_u} \cdot \sum_{z=1}^f p_{ген_{z_t}} \cdot \overline{p_{нав_u} \leq p_{ген_{z_t}}}, \quad (5)$$

де f – кількість складових компонент генерування; t – часовий проміжок, на якому визначається імовірність покриття споживання генеруванням ФЕС.

Імовірність покриття графіка навантаження, дозволяє визначити математичне очікування надлишкової потужності, тобто потужність генерування ФЕС, що більша за навантаження на t -му проміжку часу доби:

$$M_{над_t} = \sum_u \overline{p_{покр_{t_u}}} \cdot \overline{P_{нав_u}} \quad (6)$$

де $p_{покр_u}$ – ймовірність покриття графіка навантаження; $P_{нав_u}$ – середня потужність

навантаження звітного періоду; u – кількість компонент складових в гаусовій суміші.

Аналогічно можна визначити потужність, що повинна бути забезпечена накопичувачем для підтримання заданого графіка генерування ФЕС:

$$M_{деф_t} = \sum_u \overline{p_{непокр_{t_u}}} \cdot \overline{P_{нав_u}} \quad (7)$$

де $p_{непокр_u}$ – ймовірність не покриття графіка навантаження.

Таким чином, маючи дані щодо надлишку (6) та дефіциту потужності (7), можна визначити ємність накопичувача та графік його роботи.

Формування графіка роботи накопичувача здійснюється при допущення, що години, в які $M_{над_t} > M_{деф_t}$, можна віднести умовно до годин в яких накопичувач буде на накопичення енергії, коли $M_{над_t} < M_{деф_t}$, мова йтиме про режим видачі потужності.

Таким чином ємність накопичувача може бути визначена:

$$Q = \frac{\sum W_{над}}{U_{н-ч}}, \quad (8)$$

$W_{над}$ – потужність, що є надлишковою в результаті покриття графіка навантаження генерування ФЕС;

$U_{н-ч}$ – напруга на затискачах накопичувача енергії.

Для проведення розрахунку аналізується схема Ямпільських РЕМ 10кВ та Гальжбіївська ФЕС, що приєднана до неї фідером 15 (рис.2).

Протяжність ліній фідера 15 ПС 110/10 «Ямпіль» становить 18 км. Даний фідер містить: 37 вузлів, 16 трансформаторних підстанцій, Гальжбіївську ФЕС потужністю 1431 кВт. Сумарна потужність трансформаторних підстанцій від яких живляться споживачі становить 2 149 кВт.

На рис. 3 проілюстровано надлишки та дефіцити потужності у вигляді графіка, що відображає значення можливості накопичення певної величини ємності – $Q(t)$ відповідно до залежності (8) за умови, що початкова ємність накопичувача дорівнює нулю.

З рисунку 3 видно, що для встановленої потужності генерування ФЕС, $M_{над_t} > M_{деф_t}$ на проміжку часу з 10:30 по 13:30. Надлишкову енергію можна визначити: $W_{над} = \sum_t P_t$. Таким чином, для встановленої потужності ФЕС, ємність накопичувача буде дорівнювати:

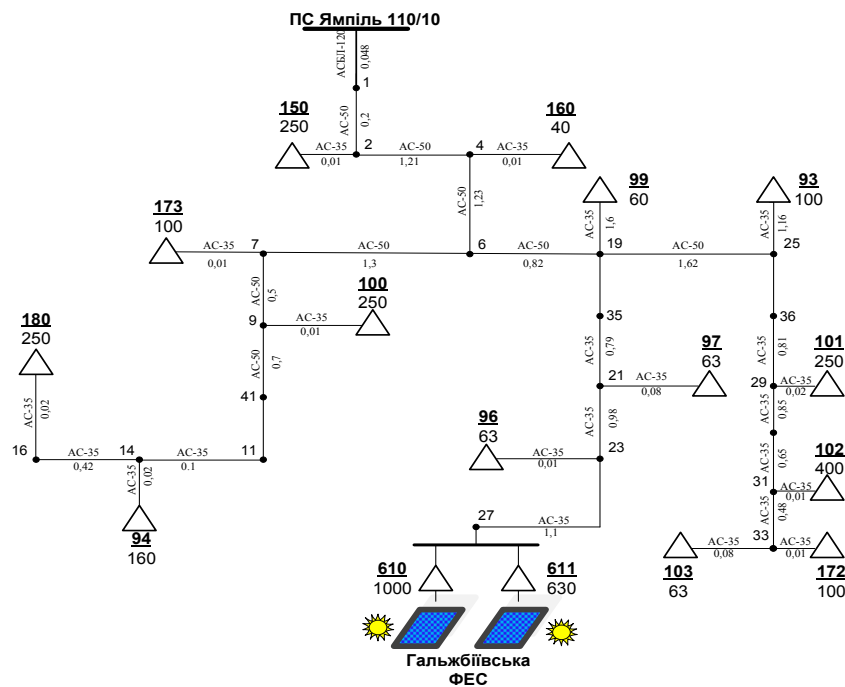


Рис. 2 – Схема живильного фідера 15 Ямпільських РЕМ



Рис. 3 – Зміна математичного очікування дефіциту та надлишку генерування Гальжбіївської ФЕС протягом доби

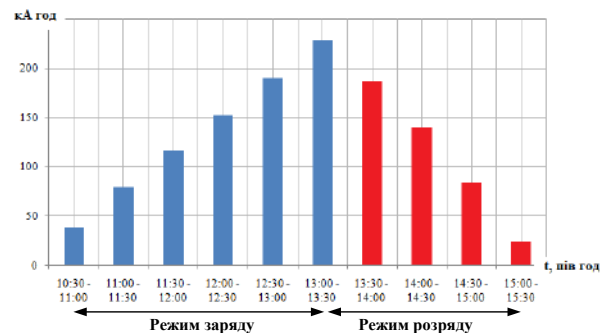


Рис. 4 – Графік роботи накопичувача повного циклу «заряд/розряд»

$$Q(t) = \frac{W_{\text{над}}(t)}{U_{\text{н-ч}}} = \frac{2756.35}{12} = 230 \text{ кА} \cdot \text{год}$$

За рахунок заряду, який можна накопичити в години надлишку генерування ФЕС з 10:30 по 13:30, можна збільшити кількість годин, в які ФЕС буде самостійно забезпечувати баланс між генеруванням і електроспоживанням ЛЕС (рис. 4). Ще однією перевагою використання накопичувачів є те, що надлишок генерування не призведе до збільшення додаткових втрат активної потужності та погіршення якості електроенергії в електричній мережі.

Встановлення накопичувача такої ємності потребує суттєвих капіталовкладень. Кількість накопиченої електроенергії залежить безпосередньо від цієї ємності, а також від встановленої потужності генерування ФЕС.

Висновки

Нестабільність генерування фотовольтаїчних електростанцій на протязі доби і відповідно негативний вплив на балансову надійність ЛЕС може компенсуватися резервним джерелом електроенергії. В роботі, на основі визначених імовірнісних характеристик процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС, запропоновано метод визначення ємності накопичувача.

Список літератури

1. **Popov, V. A.** Algorithm of multicriterion control regimes of work microgrids / **V. Popov, O. Yarmoliuk, P. Zamkovoy** // *East European journal of advanced technologies*. - 2014. - № 2. - Р. 61-68. - doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.23158.
2. **Kirilenko, A.V.** Control mode of power from renewable energy sources in terms of frequency change in the power / **O.V. Kirilenko, V.V. Pavlovsky, A.S. Yandulskyy, S.A.**

Stelyuk // *Technical electrodynamics*. - 2012. - № 4. - P. 52-57.

3. **Yandulskyy, O.S** Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve / **O.S Yandulskyy, G.A Trunina, A.B Nesterko** // *Herald Kremenchuk University*. - 2015. - Vol. 2. - P. 50-54.
4. **Rubanenko, O.E** Optimal control normal modes EEC with regard to the technical condition of transformers with RPN / **O.E Rubanenko, VA Lesko** // *Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine*. - 2013. Special issue. - S.154-161.
5. **Burykin, O.B.** Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / **O.B. Burykin, J.V. Malogulko, Y.V. Tomashevskiy, P. Komada, N.A. Orshubekov, M. Kozhamberdiyeva, A. Sagymbekova** // *Przegląd Elektrotechniczny*. - 2017. - R. 93. - 3. - P. 97-102. - doi:10.15199/48.2017.03.23.
6. **Lezhniuk, P. D.** Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system / **PD Lezhniuk, VA Komar, S. Kravchuk** // *Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies*. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - № 42 (1214). - P. 69-75. - doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.42.11.
7. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / **С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин**. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 607 с.
8. **Ali, Ahmadian.** Fuzzy Load Modeling of Plug-in Electric Vehicles for Optimal Storage and DG Planning in Active Distribution Network / **Ahmadian Ali, Sedghi Mahdi, Aliakbar-Golkar Masoud** // *Vehicular Technology IEEE Transactions*. - 2017. - vol. 66. - pp. 3622-3631.
9. **Hao-Tian, Zhang.** A novel probabilistic approach for evaluating fault ride-through capability of wind generation / **Zhang Hao-Tian, Chang Kang, Zhang Huiling, Lei Lai Loi** // *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*. - 2016. - vol. 1. - pp. 135-140.
10. **Enslin, J.** Harmonic Interaction Between a Large Number of Distributed Power Inverters and the Distribution Network / **J. Enslin, P. Heskes** // *IEEE Transaction on power electronics*. - 2004. - vol. 19, no. 6. - pp.1586-1593. - doi: 10.1109/PESC.2003.1217719.
11. **Seyed Mohammad Hossein Nabavi.** Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization / **Seyed Mohammad Hossein Nabavi, Somayeh Hajforoosh, Mohammad A.S. Masoum** // *IEEE Transactions on Power Systems*. - 2011.
12. **Keane, A.** Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation / **A. Keane, L. (Nando) F. Ochoa, E. Vittal, C. J. Dent, G. P. Harrison** // *IEEE Transactions on Power Systems*. - 2011. - vol. 26. - no. 1. - pp. 252-260.
13. **Ardeshna, N. K.** Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation / **N. K. Ardeshna, B. H. Chowdhury** // *IEEE Transactions on Power Systems*. - 2010. - pp. 1-8.
14. **Borges, C. L. T.** Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement / **C. L. T. Borges, and D. M. Falcao** // *International Journal of Power and Energy Systems*. - 2006. - vol. 28. - 6. - pp. 413-420.
15. **Chen, X.** Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability / **X. Chen and W. Gao** // *IEEE Southeastcon*. - 2008. - pp. 468-473.

Bibliography (transliterated)

1. **Popov, V. A., Yarmoliuk, O., Zamkovoy, P.** Algorithm of multicriterion control regimes of work microgrids. *East European journal of advanced technologies*, 2014, № 2, 61-68, doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.23158.
2. **Kirilenko, A.V., Pavlovsky, V.V., Yandulskyy, A.S., Stelyuk, S.A.** control mode of power from renewable energy sources in terms of frequency change in the power. *Technical electrodynamics*, 2012, № 4, 52-57.
3. **Yandulskyy, O.S., Trunina, G.A, Nesterko, A.B.** Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve. *Herald Kremenchuk University*, 2015, Vol. 2, 50-54.
4. **Rubanenko, O.E., Lesko, V.A.** Optimal control normal modes EEC with regard to the technical condition of transformers with RPN. *Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine*, 2013, Special issue, 154-161.
5. **Burykin, O.B., Malogulko, J.V., Tomashevskiy, Y.V., Komada, P., Orshubekov, N.A., Kozhamberdiyeva, M., Sagymbekova, A.** Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017, 93, 3, 97-102, doi:10.15199/48.2017.03.23.
6. **Lezhniuk, P.D., Komar, V.A., Kravchuk, S.** Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system. *Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies*, Kharkov: NTU "KPI", 2016, № 42 (1214), 69-75, doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.
7. **Ayvazyan, S.A., Buhstaber, V.M., Enyukov, I.S., Meshalkin, L.D.** Prikladnaya statistika: Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti. - M.: Finansyi i statistika, 1989. - 607 s.
8. **Ali Ahmadian, Mahdi Sedghi, Masoud Aliakbar-Golkar.** Fuzzy Load Modeling of Plug-in Electric Vehicles for Optimal Storage and DG Planning in Active Distribution Network. *Vehicular Technology IEEE Transactions*, 2017, vol. 66, 3622-3631.
9. **Hao-Tian, Zhang, Kang, Chang, Huiling, Zhang, Loi, Lei Lai.** A novel probabilistic approach for evaluating fault ride-through capability of wind generation. *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 2016, vol. 1, 135-140.
10. **Enslin, J., Heskes, P.** Harmonic Interaction Between a Large Number of Distributed Power Inverters and the Distribution Network. *IEEE Transaction on power electronics*, 2004, no. 6, 1586-1593, doi: 10.1109/PESC.2003.1217719.
11. **Seyed Mohammad Hossein Nabavi, Somayeh Hajforoosh, Mohammad A.S. Masoum.** Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2011.
12. **Andrew, Keane, Luis (Nando) F. Ochoa, Eknath, Vittal, Chris, J. Dent, Gareth, Harrison P.** Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation” *IEEE Transactions on Power Systems*, 2011, vol. 26, no. 1, 252-260.
13. **Nikhil, K. Ardeshna, Badrul, H. Chowdhury.** Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2010, 1-8.

14. **Borges, C. L. T., Falcao, D. M.**, Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. *International Journal of Power and Energy Systems*, 2006, vol. 28, no. 6, 413-420.
15. **Chen, X., Gao, W.** Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability. *IEEE Southeastcon*, 2008, 468-473.

Відомості про авторів (About authors)

Кравчук Сергій Васильович – кандидат технічних наук, асистент, Вінницький національний технічний університет, асистент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Sergey Kravchuk - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Ситник Артур Валерійович – інженер, Вінницький національний технічний університет, інженер кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sitnik.94@inbox.ru.

Artur Sitnik - engineer, Vinnitsa National Technical University, engineer of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sitnik.94@inbox.ru.

Огороднік Андрій Анатолійович – студент, Вінницький національний технічний університет, студент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Andrey Ogorodnik - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Плотиця Віктор Олександрович – студент, Вінницький національний технічний університет, студент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Viktor Plotitsa - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю так:

Кравчук, С. В. Визначення оптимальної ємності накопичувача фотоелектричної станції для підвищення балансової надійності локальних електричних систем / **С. В. Кравчук, А. В. Ситник, А. А. Огороднік, В. О. Плотиця** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 38-43. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.05.

Please cite this article as:

Kravchuk, S., Sitnik, A., Ogorodnik, A., Plotitsa, O. Determination of the optimum capacity of the photoelectric stations storage for increasing the balance reliability of local electric systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 38–43, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кравчук, С. В. Определение оптимальной емкости накопителя фотоэлектрических станции для повышения балансовой надежности локальных электрических систем / **С. В. Кравчук, А. В. Ситник, А. А. Огороднік, В. А. Плотиця** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 38-43. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.05.

АНОТАЦІЯ В роботі вирішується задача підвищення балансової надійності локальних електричних систем за счет установки накопителя в пределах балансовой принадлежности фотоэлектрической электростанции.

Проанализированы закон распределения генерирования ФЭС для определенного времени суток в течение года. Предложена математическая модель генерирования ФЭС в виде гауссовых смесей. Получены основные характеристики вероятностного характера генерирования солнечной электростанции. Определены вероятность покрытия заданного графика нагрузки генерированием ФЭС в течение определенного времени суток в течение всего года. На основе определенных вероятностных характеристик генерирования ФЭС определено емкость накопителя, что позволит повысить балансовую надежность ЛЭС.

Ключевые слова: мощность генерации; фотоэлектрические станции; график нагрузки; емкость накопителя; гауссовы смеси распределения; вероятностные характеристики.

Поступила (received) 10.03.2018

УДК 621.316

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.06

УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА НАВАНТАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

С. В. КРАВЧУК*, А. В. СИТНИК, О. О. СТАХОВ, С. В. БАРАНОВСЬКИЙ

Кафедра електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА
*e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

АНОТАЦІЯ В статті розглянуто можливість узгодження графіків навантаження та генерування фотоелектричних станцій засобами морфометричного аналізу. Показано, що неузгоджене з графіком навантаження генерування відновлювальних джерел електроенергії збільшує нерівномірність графіка електричних навантажень.

Оскільки відновлювальні джерела електроенергії відносяться до умовно-керованих джерел енергії, то узгодження їх роботи з навантаженням буде відбуватися за рахунок зміщення графіка електричних навантажень до максимумів добового генерування відновлювальних джерел електроенергії, зокрема фотоелектростанцій. Для узгодження графіків електричних навантажень та генерування відновлюваних джерел енергії запропоновано алгоритм методу узгодження.

Ключові слова: фотоелектричні станції; графік навантаження; локальна електрична система; добова нерівномірність; втрати потужності.

RECONCILIATION OF PHOTOELECTRIC STATION GENERATION SCHEDULE AND LOCAL ELECTRICAL SYSTEM LOADING

S. KRAVCHUK*, SITNIK A.V., STAHOV O.O., BARANOVSKIY S.V.

Department of power plants and systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, UKRAINE

ABSTRACT The experience of the introduction of renewable energy sources (RES), the main component of dispersed generation (DG), demonstrates the need for harmonization of the work of energy sources and consumers.

The growth of the share of RES in the Ukrainian electricity balance leads to a deterioration of the situation especially in distribution electric networks. The practice of introducing RES, in particular photovoltaic electric stations (PES), demonstrates an increase in the uneven schedule of electricity consumption. This leads to a complication of the work of the electric power stations operating in the peak and half-end part of the daily schedule and loading of the elements of the network, and as a consequence, the growth of losses in distribution electrical networks. The article considers the possibility of reconciling the load schedules and the generation of photovoltaic stations by means of morphometric analysis. It is shown that the unbalanced load schedule of the generation of renewable energy sources increases the uneven schedule of electrical loads.

Since renewable energy sources belong to conditionally controlled energy sources, the coordination of their work with the load will occur due to shifting the schedule of electrical loads to the maximum daily production of renewable energy sources, in particular photovoltaic power stations. In order to reconcile the schedules of electrical loads and the generation of renewable energy sources, the algorithm of the method is proposed.

The method of reconciling the schedules of generation of renewable energy sources, in particular FES and electrical load, has been developed, which will minimize electricity losses in distribution networks and reduce the unevenness of the daily schedule of electrical loads.

Keywords: photoelectric stations; load schedule; local electrical system; daily unevenness; power losses.

Вступ

Збільшення генерування фотовольтаїчних електростанцій, в розподільних мережах шляхом зменшення навантаження на централізовану систему електропостачання дозволяє отримувати низку позитивних ефектів. Вони проявляються у зменшенні втрат потужності й електроенергії в ЛЕП, якими здійснюється транспортування потужності, підвищенні якості електроенергії, розвантаженні електричних мереж.

Проте, це стосується лише випадків, коли графік генерування ФЕС є узгодженими з графіком локального електроспоживання. Тому, постає задача штучного узгодження графіків генерування ВДЕ, зокрема ФЕС та електричного навантаження.

Огляд літературних джерел показує, що всі методи мають за мету провести узгодження режимів роботи ВДЕ і електроспоживачів, відмінними є критерії узгодження і засоби узгодження.

Найбільш розповсюджені критерії узгодження (оптимальності), за якими виконується розв'язування задачі: мінімум втрат електроенергії [1,2,3], якість електроенергії [4], надійність електропостачання [5], пропускна спроможність [6], максимум видачі потужності [7,8], максимум прибутку [9], мінімум інвестицій [11] тощо.

У ряді робіт [10-19] були спроби вирішити задачу узгодження в багатокритеріальній постановці. Так у [15] вирішується задача пошуку оптимальних місць під'єднання та потужностей ВДЕ, за критерієм мінімуму втрат активної потужності та забезпечення

відповідної якості електроенергії. В [17] запропоновано розв'язувати задачу розміщення джерел розосередженого генерування за надійністю електропостачання та пропускної спроможності ліній електропередач. В [19] автори пропонують виконувати оптимізацію за надійністю електропостачання і мінімумом втрат активної потужності, використовуючи метод генетичних алгоритмів та парето-оптимізації.

В цій роботі пропонується виконати узгодження графіків роботи ВДЕ і електроспоживачів, чим досягати вирівнювання останнього.

Мета роботи

Метою статті є розроблення методу узгодження графіків генерування відновлюваних джерел енергії, зокрема ФЕС та електричного навантаження, що дозволить мінімізувати втрати електроенергії в розподільних електричних мережах та зменшити нерівномірність добового графіка електричних навантажень

Виклад основного матеріалу

Оскільки графік електричних навантажень нерівномірний, а як зазначається в [20], робота ФЕС збільшує таку нерівномірність. Оскільки пік видачі потужності ФЕС припадає на денний провал в ГЕН, тому потрібно мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік електричних навантажень в години максимуму генерування ФЕС. За кордоном впроваджується концепція віртуальних електростанцій, що значно спрощує задачу вирівнювання добового ГЕН.

Основна ідея такого підходу – не вироблення електроенергії, а створення нових або мотивування вже існуючих споживачів електроенергії здійснювати маневрування власним споживанням. В Україні зараз основним мотивуючим заходом є зонний тариф на електроенергію (табл.1), згідно якого вартість електроенергії диференціюється за періодами часу доби.

Таким чином споживач може зменшити плату за електроенергію, не зменшуючи обсягів споживання. При цьому зменшується нерівномірність ГЕН.

Таблиця 1 – Зонний тариф на електроенергію диференційований за періодами часу

Період часу	Нічний	Денний	Піковий
Двоступінні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	-
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 23:00	-
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,4	1	1,5
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 08:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00

Для оцінювання вартості зміщення потужності споживання потрібно розробити показник, який би враховував зміну тарифного коефіцієнта вартості електроенергії згідно зонного тарифу, вартість компенсаційних витрат споживачеві за зміщення графіка електроспоживання, вартість зменшення втрат потужності внаслідок вирівнювання сумарного добового ГЕН:

$$B_{ij} = P_{zm} \cdot C_m (K_{Tj} - K_{Ti}) + \beta - \Delta P \cdot C_m \quad (1)$$

де K_{Tj} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, з якої планується перенести потужність, у в.о.; K_{Ti} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, в яку планується переносити потужність, у в.о.; P_{zm} – потужність, яку споживач має змістити для вирівнювання графіка навантаження ЛЕС, кВт; C_m – тариф на електроенергію по енергопостачальній компанії, грн./кВт год; β – вартість технологічного

зсуву виробництва, що має бути компенсована енергосистемою, грн; ΔP – зменшення втрат потужності внаслідок коригування графіка навантаження споживача, кВт;

Показник вартості переносу навантаження B_{ij} з однієї ступені ГЕН на іншу доцільно використати в задачі узгодження графіків генерування ВДЕ на навантаження.

Поява джерел розосередженого генерування в розподільних електричних мережах дозволяє розглядати їх не як магістрально-радіальні, а як мережі із двостороннім живленням або локальні електричні системи. Оскільки конфігурацію електричної мережі можна вважати відносно постійною, то використовуючи коефіцієнти матриці струморозподілу за заступною r -схемою можна визначити споживачів, графік навантаження яких буде найбільше впливати на сумарну нерівномірність добового графіка електричних навантажень ЛЕС спричиною генеруванням ФЕС:

$$C_r = R^{-1}M^T (MR^{-1}M^T)^{-1}, \quad (2)$$

де R – діагональна матриця активних опорів віток;
 M – перша матриця з'єднань;

Застосування такого підходу, в задачі вирівнювання добового ГЕН, дозволить не тільки зменшити нерівномірність останнього, а й зменшити втрати електроенергії в ЛЕС.

Для зменшення нерівномірності сумарного добового ГЕН РЕМ та мінімізації втрат активної потужності пропонується коригувати графік кожним вузлом по черзі відповідно до коефіцієнта струморозподілу. Для розв'язання цієї задачі скористаємося методом транспортної задачі (табл. 2), в якій умовно можна виділити m годин, в які власне споживання вузла більше за генерування СЕС, A_1, \dots, A_m , та n годин, в які генерування СЕС переважає споживання вузла, Z_1, \dots, Z_n . Для цього використовуються потужності вузлів, уточненні шляхом множення на коефіцієнт струморозподілу. Відносну вартість B_{ij} переносу потужності з одного часового проміжку графіка на інший визначатимемо за (1).

Таблиця 2 – Розподіл вартостей зміщення споживання згідно транспортної задачі

B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	...	B_{1i}	Z_1
B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	B_{25}	B_{26}	B_{27}	...	B_{2i}	Z_2
...
B_{j1}	B_{j2}	B_{j3}	B_{j4}	B_{j5}	B_{j6}	B_{j7}	...	B_{ji}	Z_n
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	...	A_m	

Відповідно поставленої задачі запишемо цільову функцію:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot p_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де p_{ij} – потужність, яку потрібно змістити з однієї ступені графіка навантаження в іншу.

Перша група обмежень вказує, що кількість електроенергії на будь-якій ступені ГЕН повинна дорівнювати сумарній потужності споживання електроенергії цієї ступені ГЕН.

$$\sum_{i=1}^m p_{ij} = A_i,$$

Друга група обмежень вказує, що сумарний зсув споживання на деяку ступень ГЕН повинен повністю компенсувати генерування на цій ступені ГЕН.

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = Z_j,$$

Також вводимо обмеження на неможливість зміщення від'ємних значень потужності споживання:

$$p_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n,$$

Залежність режиму роботи відновлювальних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій.

Оскільки пік генерування відновлювальних джерел енергії припадає на денний провал в графіку навантаження, то виникає ряд проблем, зокрема, перевитрат палива на централізованих електростанціях та збільшення втрат потужності в розподільних електричних мережах загалом та в ЛЕС зокрема. Запропонований метод оснований на аналізі графіків функціонування споживачів електричної енергії локальної електричної системи та графіків генерування фотовольтаїчної електростанції. Алгоритм узгодження графіків генерування ФЕС та навантаження ЛЕС наведено на рис. 1. Маючи інформацію відносно цих графіків та відомості про кількість споживачів в ЛЕС формуються початкові дані для роботи алгоритму. Враховуючи топологію електричної мережі та значення потужностей навантаження і генерування, визначається матриця коефіцієнтів струморозподілу (2) для кожного споживача по відношенню до ФЕС. Слід зауважити, що дана матриця має розмірність кількості вузлів на кількість віток в мережі. Для визначення коефіцієнтів струморозподілу потужності ФЕС виділяється з матриці лише рядок, що відповідає вузлу, в якому встановлена ФЕС.

Для визначення потужності, якою може маневрувати споживач, визначається технологічний мінімум для кожного споживача. Виходячи з цього, потужність, яку може зміщувати споживач, буде дорівнювати різниці між фактичною P_{Hi} потужністю споживання та технологічним мінімумом P_{min} і для певної години навантаження. Далі споживачі ранжуються відповідно до їх коефіцієнту струморозподілу.

Години, в які власне споживання вузла менше за потужність генерування ФЕС, умовно відносяться до годин «генерування». Тобто годин, на які потрібно буде змістити потужності споживання.

Години, в які навантаження більше за потужність генерування та виконується умова, $P_{нав, i_t} - P_{min, i_t} > 0$ відносяться до годин, з яких можна переносити потужність. Саме ця різниця визначає обсяг надлишкової потужності $P_{над, i_t}$, яку можна змістити з певною вартістю та P_{def, i_t} – потужність, якої не вистачає в певну годину доби для

вирівнювання добового графіка. З урахуванням визначених потужностей дефіциту і надлишку формується транспортна матриця переносу потужностей з годин надлишків в години дефіциту для вирівнювання добового графіка навантаження. У випадку, коли сумарна потужність генерування переважає потужність, яку можна змістити для вирівнювання графіка електричних навантажень, для отримання збалансованої транспортної задачі

вводимо додатково фіктивне джерело навантаження $P_{ФДН} = \sum_t P_{ГЕН_{it}} - \sum_t P_{над_{it}}$ (ФДН). У випадку, коли власного генерування ФЕС не вистачає для забезпечення потреб в електроенергії споживачів, вводимо умовне джерело централізованого живлення

$$P_{ЦЖ} = \sum_t P_{ГЕН_{it}} - \sum_t P_{над_{it}}$$

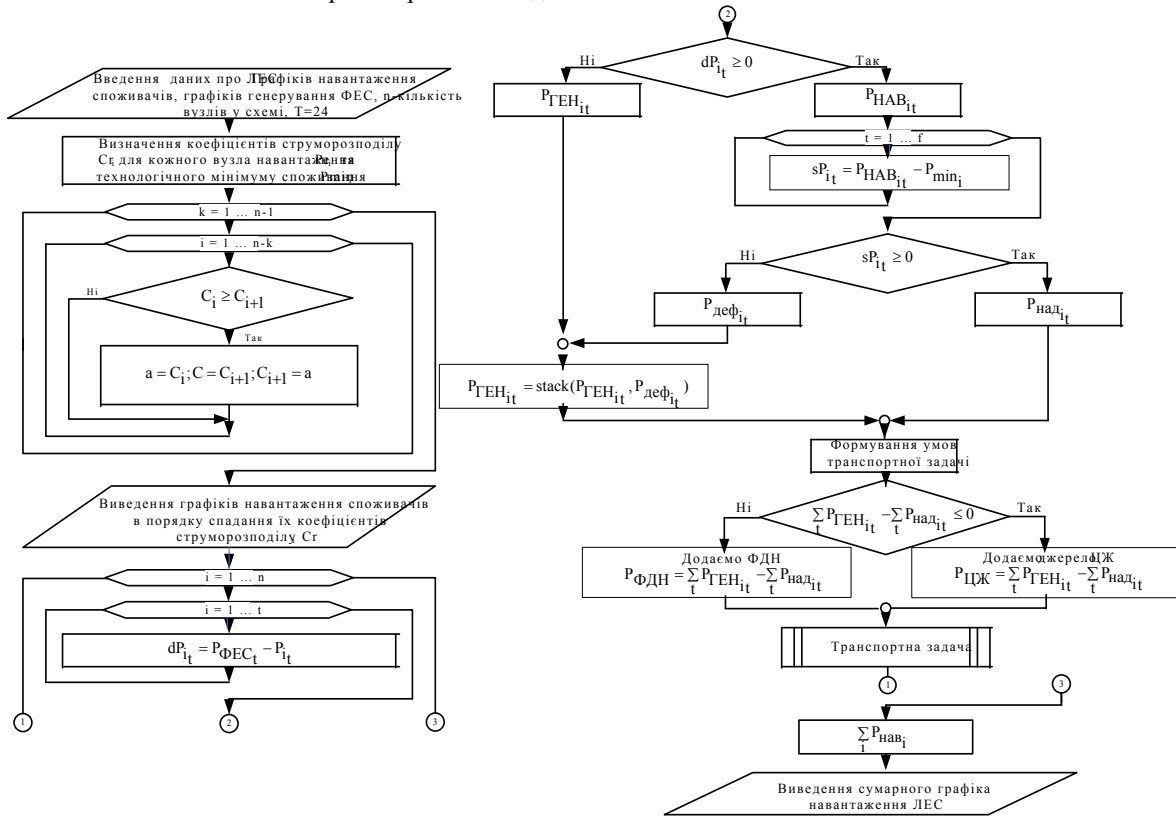


Рис. 1– Алгоритм методу узгодження графіків генерування ФЕС та електричного навантаження ЛЕС

Розв’язком транспортної задачі є рекомендація щодо зміщення графіка електричних навантажень споживачів, які в найбільшій мірі впливають на нерівномірність сумарного графіка навантаження ЛЕС.

Оскільки значна частина генерування ФЕС припадає на розподільні електричні мережі (РЕМ), розглянемо приклад такої мережі (рис.2).

Для зменшення втрат електроенергії в РЕМ, що спричинені функціонуванням ФЕС, потрібно визначити найбільш чутливі вузли до зміни втрат активної потужності. Це відносно просто можна зробити за допомогою коефіцієнтів струморозподілу табл. 3.

Вочевидь (табл. 3), що вирівнювати графік необхідно зміною навантаження вузлами розташовані поблизу джерела, тобто з найбільшими коефіцієнтами струморозподілу. Таким вузлами є вузол 20, 8 та 1 вузли. З урахуванням узгодження графіка

генерування ФЕС та навантаження морфометрична модель ГЕН РЕМ буде мати такий вид наведений на рис.3. Порівняльний аналіз морфометричних показників для вирівняного ГЕН РЕМ та ГЕН РЕМ з урахуванням генерування ФЕС приведений в табл.4.

Вирівнювання графіка навантаження РЕМ, за рахунок зміщення споживання електроенергії у вузлах, дозволяє зменшити втрати активної потужності в РЕМ.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів струморозподілу для вузлів РЕМ

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C _г	0.9	0.5	0.2	0.7	0.6	0.6	0.6	0.9	0.6
№	10	11	12	13	14	16	18	20	
C _г	0.6	0.6	0.6	0.07	0.6	0.6	0.5	1	

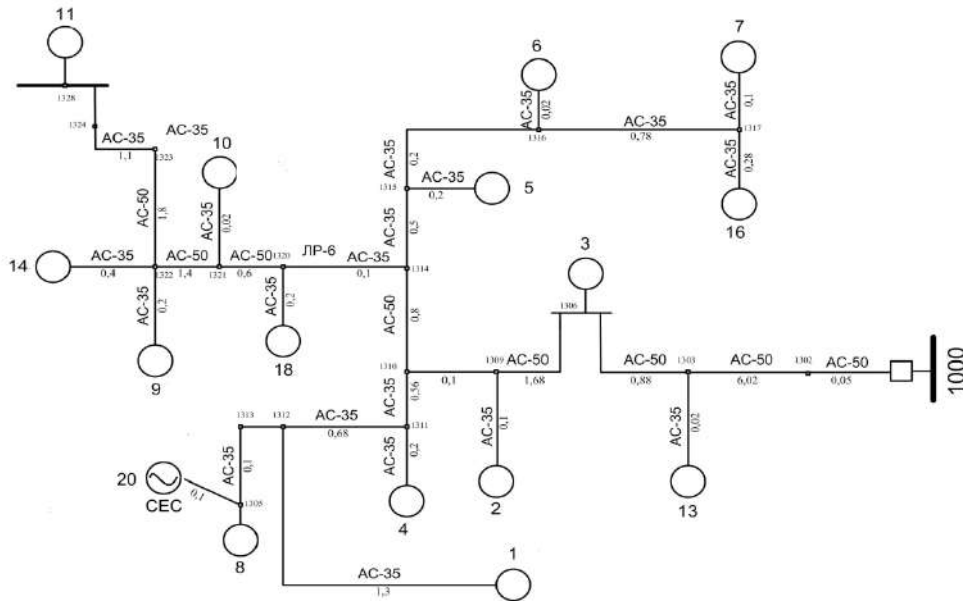


Рис.2 – Фрагмент Ямпільської розподільної електричної мережі 10кВ

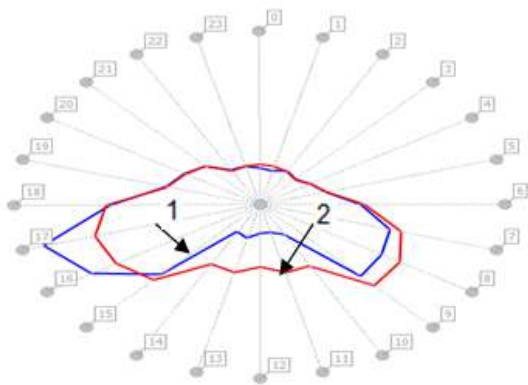


Рис. 3 – Морфометрична модель сумарного ГЕН ЛЕС, після приєднання СЕС (1) та з урахуванням вирівнювання ГЕН (2)

Табл.4.– Морфометричні показники нерівномірності ГЕН РЕМ

ГЕН РЕМ	M_1	M_2	M_3	M_4
З урахуванням генерування ФЕС	0,112	0,340	0,325	0,52
Вирівняний ГЕН з генеруванням ФЕС	0,411	0,691	0,513	0,75

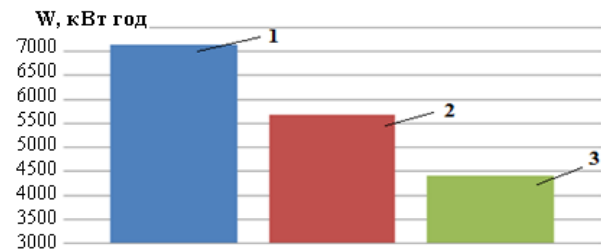


Рис. 5 – Втрати електроенергії в РЕМ I- з урахуванням генерування СЕС, 2 - за результатом оптимізації 20-го вузла, 3 - за результатом оптимізації 8-го вузла.

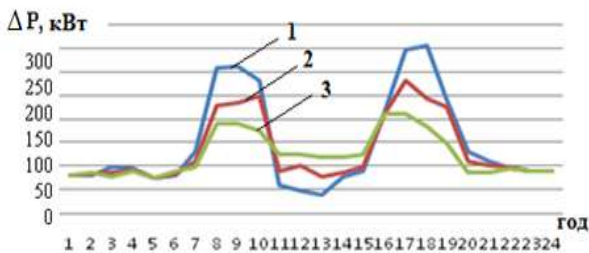


Рис.4 – Зміна втрат активної потужності в РЕМ I- з урахуванням генерування СЕС, 2 - за результатом оптимізації 20-го вузла, 3 - за результатом оптимізації 8-го вузла

На рис. 4 показано зміну втрат активної потужності від часу доби для всіх етапів оптимізації. Сумарне зниження втрат електричної енергії теж досягається результатом показано на рис. 5.

Так, сумарні втрати електроенергії в РЕМ з урахуванням генерування СЕС становили $W=9462$ кВт год, а після вирівнювання ГЕН РЕМ, втрати зменшились до $W=8361$ кВт год.

Висновки

Залежність режиму роботи відновлюваних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій.

В роботі запропоновано на основі застосування морфометричного аналізу графіків споживання, оптимальних коефіцієнтів струморозподілу і транспортної задачі розв'язати задачу вирівнювання сумарного графіка електроспоживання ПЕМ і зниження втрат електроенергії в розподільних електричних мережах.

Список літератури

1. **Burykin, O. B.** Optimization of the regime of local power systems with renewable energy / **O. B. Burykin, Y. Malohulko** // *Proceedings of DonNTU. Series "Electrical Engineering and Energy"*. - 2013. - № 2 (15). - P. 42-46.
2. **Walid, El-Khattam.** Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market / **Walid El-Khattam, Kankar Bhattacharya, Yasser Hegazy and M. M. A. Salama** // *IEEE Transactions on Power Systems*. 2004. - vol. 19. - no. 3. - pp. 1674-1684.
3. **Rau, N. S.** Optimum location of resources in distributed planning / **N. S. Rau and Y.-H. Wan** // *IEEE Transactions on Power Systems*. 1994. - vol. 9. - pp. 2014-2020.
4. **Caisheng, Wang.** An Analytical Method for DG Placements Considering Reliability Improvements / **Caisheng, Wang, M. Hashem Nehrir** // *IEEE Transactions on Power Systems*. -2004. - vol. 19. - no. 4. - pp. 2068-2076.
5. **Hamid, Falaghi.** ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems / **Hamid, Falaghi, Mahmood-Reza Haghifam** // *PowerTech*. - 2007. - pp. 555-560.
6. **Víctor, H. Méndez Quezada.** Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation / **Víctor H. Méndez Quezada, Juan Rivier Abbad, and Tomás Gómez San Román** // *IEEE Transactions on power systems*. -2006. - vol. 21, no. 2. - pp.533-540.
7. **Seyed Mohammad Hossein Nabavi.** Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization / **Seyed Mohammad Hossein Nabavi, Somayeh Hajforoosh, Mohammad A.S. Masoum,** // *IEEE*, 2011.
8. **Andrew, Keane.** Harrison Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation / **Andrew Keane, Luis (Nando) F. Ochoa, Eknath Vittal, Chris J. Dent, Gareth P.** // *IEEE Transactions on Power Systems*. - 2011. - vol. 26. - no. 1. - pp. 252-260.
9. **Nikhil, K. Ardesna.** Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation / **Nikhil K. Ardesna, Badrul H. Chowdhury** // *IEEE*. - 2010. - pp. 1-8.
10. **Chen, X.** Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability / **X. Chen and W. Gao** // *IEEE Southeastcon*. -2008. - pp. 468-473.
11. **Zhu, D.** Impact of DG Placement on Reliability and Efficiency With Time-Varying Loads / **D. Zhu, R.P. Broadwater, K.S. Tam, R. Seguin and H. Asgerisson** // *IEEE Transactions on Power Systems*. -2006. - Vol. 21. - No. 1.
12. **Buslavets, O.** Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / **O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko** // *Eastern-European journal of enterprise*

- technologies* - 2015. - No. 2/8 (74). - P. 35-41. - doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881.
13. **Bae, I.** Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. / **I. Bae, J. Kim** // *IEEE Transactions on Power Systems*. - 2007. - Vol.22. - No.2.- P.785-790. - doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
14. **Kondo, T.** Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices / **T. Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama** // *Electrical Engineering in Japan*. - 2008. - Vol. 165. - № 3. - P. 16-28.- doi: 10.1002/ej.20499.
15. **Ackerman, T.** Interaction between distributed generation and the distribution network / **T. Ackerman, V. Knyazin** // *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES*. - 2000. - Vol. 2.- P. 1357-1362.
16. **Lezhniuk, P. D.** Evaluation of Stability of generating solar power in the task of ensuring the reliability of the grid / **P. D. Lezhniuk, V. A. Komar, S. V. Kravchuk** // *Scientific works of Vinnytsia National Technical University*. -2016. - №2. - C. 1- 8.
17. **Komenda, N. V.** Morphometric evaluation criteria and uniformity of electrical loads graphics / **N. V. Komenda** // *Journal of National University "Lviv Polytechnic"*. - 2011.- №66. - P. 42-46.

Bibliography (transliterated)

1. **Burykin, O.B., Malohulko, Y.** Optimization of the regime of local power systems with renewable energy. *Proceedings of DonNTU. Series "Electrical Engineering and Energy"*, 2013, № 2 (15), 42-46.
2. **Walid, El-Khattam, Kankar, Bhattacharya, Yasser, Hegazy and Salama, M. M. A.** Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004, vol. 19, no. 3, 1674-1684.
3. **Rau, N. S. and Wan, Y.-H.** Optimum location of resources in distributed planning, *IEEE Transactions on Power Systems*, 1994, vol. 9, 2014-2020.
4. **Caisheng, Wang, Hashem Nehrir, M.**An Analytical Method for DG Placements Considering Reliability Improvements, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004, vol. 19, no. 4, 2068-2076.
5. **Hamid, Falaghi, Mahmood-Reza, Haghifam.** ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems, *PowerTech*, 2007, 555-560.
6. **Víctor H. Méndez Quezada, Juan Rivier Abbad, and Tomás Gómez San Román.** Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation, *IEEE Transactions on power systems*, 2006, vol. 21, no. 2, 533-540.
7. **Seyed Mohammad Hossein Nabavi, Somayeh Hajforoosh, Mohammad A.S. Masoum.** Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization, *IEEE*, 2011.
8. **Andrew Keane, Luis (Nando) F. Ochoa, Eknath Vittal, Chris J. Dent, Gareth P.** Harrison Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation *IEEE Transactions on Power Systems*, 2011, vol. 26, no. 1, 252-260.
9. **Nikhil K. Ardesna, Badrul H. Chowdhury,** Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation, *IEEE*, 2010, 1-8.

10. **Chen, X. and Gao, W.** Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability, *IEEE Southeastcon*, 2008, 468-473.
11. **Zhu, D., Broadwater, R.P., Tam, K.S., Seguin, R. and Asgeirsson, H.** Impact of DG Placement on Reliability and Efficiency With Time-Varying Loads, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2006, Vol. 21, No. 1.
12. **Buslavets, O., Legnuk, P., Rubanenko, O.** Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2015, No. 2/8 (74), 35-41, doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881.
13. **Ває, І., Кім, Ж.** Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2007, Vol.22, No.2, 785-790, doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
14. **Kondo, T., Jumpei, B., Akihiko, Y.** Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices. *Electrical Engineering in Japan*, 2008, Vol. 165, № 3, 16-28, doi: 10.1002/ej.20499
15. **Ackerman, T., Knyazın, V.** Interaction between distributed generation and the distribution network. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES*, 2000, Vol.2, 1357-1362.
16. **Lezhniuk, P.D., Komar, V.A., Kravchuk, S.V.** Evaluation of Stability of generating solar power in the task of ensuring the reliability of the grid. *Scientific works of Vinnytsia National Technical University*, 2016, №2, 1- 8.
17. **Komenda, N.V.** Morphometric evaluation criteria and uniformity of electrical loads graphics. *Journal of National University "Lviv Polytechnic"*, 2011, №66, 42-46.

Відомості про авторів (About authors)

Кравчук Сергій Васильович – кандидат технічних наук, асистент, Вінницький національний технічний університет, асистент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Sergey Kravchuk - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Ситник Артур Валерійович – інженер, Вінницький національний технічний університет, інженер кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: sitnik.94@inbox.ru.

Artur Sitnik - engineer, Vinnitsa National Technical University, engineer of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sitnik.94@inbox.ru.

Стахов Олександр Олександрович – студент, Вінницький національний технічний університет, студент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: stahov10@bk.ru.

Alexandr Stahov - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: stahov10@bk.ru.

Барановський Сергій Валентинович – студент, Вінницький національний технічний університет, студент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: safarigu@mail.ru.

Sergey Baranovskiy - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: safarigu@mail.ru.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю так:

Кравчук, С. В. Узгодження графіків генерування фотоелектричних станцій та навантаження локальних електричних систем / **С. В. Кравчук, А. В. Ситник, О. О. Стахов, С. В. Барановський** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 44-50. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.06.

Please cite this article as:

Kravchuk, S., Sitnik A., Stahov, A., Baranovskiy, S. Reconciliation of photoelectric station generation schedule and local electrical system loading. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 44–50, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.06.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кравчук, С. В. Согласования графиков генерирования фотоэлектрических станций и нагрузки локальных электрических систем / **С. В. Кравчук, А.В. Ситник, А.А. Стахов, С.В. Барановський** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 44-50. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.06.

АННОТАЦІЯ В статті розглянуто можливість узгодження графіків навантаження та генерації фотоелектричних станцій методами морфометричного аналізу. Показано, що незгідне з графіком навантаження генерування відновлюваних джерел електроенергії збільшує нерівномірність графіка електричних навантажень. Оскільки відновлювані джерела електроенергії належать до умовно-керованих джерел енергії, то узгодження їх роботи з навантаженням буде відбуватися за рахунок зміщення графіка електричних навантажень до максимумів добового генерування відновлюваних джерел електроенергії, в частині фотоелектростанцій. Для узгодження графіків електричних навантажень та генерування відновлюваних джерел енергії запропоновано алгоритм методу узгодження.

Ключевые слова: фотоэлектрические станции; график нагрузки; локальная электрическая система; суточная неравномерность; потери мощности.

Поступила (received) 10.03.2018

УДК 621.331:621.311.71

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОЇ ПІДВІСКИ

Б. Г. ЛЮБАРСЬКИЙ^{1*}, І. В. ДОМАНСЬКИЙ², М. І. ГАСАНОВ³

¹ електричного транспорту та тепловозобудування, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

² заступник генерального директора, ТОВ «ДАК-Енергетика», Дніпро, УКРАЇНА

³ проректор, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: lboris1911@ukr.net

АНОТАЦІЯ У роботі для визначення статичних та динамічних параметрів, а також критеріїв стану елементів контактної підвіски пропонується застосувати кінцево-елементні моделі, які найбільш адекватно описують фізичні процеси і використовуються зараз в світі. Запропоновано розвиток таких моделей на базі кінцевих елементів та структурування механічних та електричних графів пролетів анкерних ділянок. Розроблені одношпальні механічні та електричні мультиграф проліта анкерної ділянки, що дозволяє визначити стан параметрів контактних підвісок з урахуванням теплового зносу.

Ключові слова: контактна підвіска; струмоприймач; контактний провід; знос контактного проводу; мультиграф

MODELING OF MECHANICAL AND ELECTRICAL INTERACTION OF THE CONTACT HOLE

B. LIUBARSKYI^{1*}, I. DOMANSKYI², M. GASANOV³

¹ electric transport and diesel locomotive engineering, NTU "Khpi", Kharkov, UKRAINE

² Deputy Director General, DAK-Energetika Ltd, Dnipro, UKRAINE

³ vice-rector, NTU "Khpi", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In work using the methods of multi-graphs and finite elements, the simulation of the interaction of current collectors and contact pendant is considered. The interaction of the contact pendant with current collectors is a complex oscillatory process, which consists of dynamic systems of different types. So the railroad and contact pendant belong to the class of systems with distributed parameters, and components of rolling stock such as the crew and current collectors can be attributed to a class of systems with lumped parameters. The contact point of the coils of the current collectors with the contact wire is in the mechanical dynamic periodic oscillation process. Mechanical excitations are caused by fluctuations, both from the side of the contact pendant, and the crew part of the rolling stock. In addition, along the contact pendant on both sides of the point of applying the pressure of each of the current collectors, the waves of oscillations affect the interaction of the contact pendant with other current receivers. On the general system of interaction of the contact pendant, the current receiver is also affected by random factors: wind loads, imbalance (dislocation) of the contact pendant, etc. To determine the static and dynamic parameters, as well as the criteria for the status of contact suspension elements, it is expedient to use finite element models that most adequately describe the physical processes and are currently used in the world. The work proposes the development of such models on the basis of finite elements and the structuring of mechanical and electrical graphs of spans of anchor sections. The mechanical and electric multigraphs of an anchor section have been developed, which allows to determine the state of parameters of contact suspensions taking into account the thermal wear. Increasing the tension of wires and cables not only improves the quality of the snap, but also makes it possible to improve the design of the contact network as a whole: the construction height of the suspension can be reduced to 1.4 m with a span length of 70 m.

Keywords: contact pendant; current receiver; contact wire; wear contact wire; multi-graph

Вступ

Взаємодія контактної підвіски з струмоприймачами являє собою складний коливальний процес, який складається з динамічних системи різного типу. Так залізнична колія та контактна підвіска належать до класу систем з розподіленими параметрами, а складові рухомого складу такі, як екіпаж та струмоприймачі можливо віднести до класу систем з зосередженими параметрами [1]. Місце контакту полозів

струмоприймачів з контактним проводом знаходяться у механічному динамічному періодичному процесі коливань. Механічні збудження обумовлені коливаннями, як з боку контактної підвіски, так і екіпажної частини рухомого складу. Крім того, уздовж контактної підвіски в обидві сторони від точки прикладання натискання кожного з струмоприймачів поширюються хвилі коливань, що впливають на взаємодію контактної підвіски з іншими струмоприймачами. На загальну систему взаємодії контактної підвіски струмоприймач також впливають

випадкові чинники: вітрових навантажень, дисбаланс (розрегулювання) контактної підвіски та інше [1-6].

В роботі [1,2] визначається, що найбільшу практичну цінність мають імітаційні моделі динамічної взаємодії струмоприймачів з контактною підвіскою фірми Siemens, враховують такі процеси як переміщення точок підвішування проводу, відрив струмоприймача від контактного проводу та наявність другого паралельного контактного проводу. Взаємодія всієї маси дроти і зосереджених мас клем, підвісів, ізоляторів і живлять проводів включено в розрахунок разом з поперечними зусиллями в підтримуючих конструкціях. Модель дозволяє розраховувати коли і як довго зміщується кожна точка підвісу і в якій точці кожен полоз струмоприймача відривається і знову набуває контакт, а також контактне натискання між контактним проводом і полозом струмоприймача.

В роботах [7-10] наведені математичні моделі, засновані на такому розгляді ділянки контактної підвіски, при якому струмоприймачі завжди знаходяться під її сегментами. Вона дозволяє моделювати динамічну взаємодію декількох струмоприймачів з КП та досліджувати поширення коливань в контактній підвісці і відображення хвиль.

В роботі [10] приведено результати моделювання процесів взаємодії струмоприймача з контактною підвіскою при швидкостях руху до 250 км/год у Міланському технічному університеті. Розрахунок був проведений для двох базових типів струмоприймачів FS52 і DSA350S відповідно симетричного і асиметричного виконання. Моделювання проводилося для ланцюгової компенсованої контактної підвіскою з двома контактними проводами.

В роботі [8] приводяться основні положення гібридної моделі динаміки струмоприймач-контактна підвіска, розробленої під керівництвом А.В. Єфімова. В роботі використані кінцеві елементи двох типів: з зосередженими параметрами і континуальні. Поділ елементів за властивостями просторової протяжності дозволяє отримати принципово нову можливість поділу розрахунків на дві складових. Спочатку вирішується модель з зосередженими кінцевими елементами, отримані результати розрахунку стають вихідними даними для розрахунку поведінки континуальних елементів моделі. Час розрахунків при довжині анкерного ділянки 800 м досягає від 8 до 10 год. А.Г. Галкіним запропонував гібридну квазидинамічну модель [9], в якій дискретні точкові кінцеві елементи, з'єднані між собою континуальними елементами, перебувають тільки в місцях вузлів структурної моделі топології контактної підвіски. Модель заснована на синтезі моделі методу кінцевих елементів А.В. Єфімова та модифікованої методики Власова-Марквардта [3] і дозволяє враховувати будь-яку контактну підвіску: просту, ланцюгову, складну з урахуванням кінцевого числа струн, різних

конструкцій підпорного вузла, будь-яке кінцеве число струмоприймачів.

З комплексу методів, що застосовуються для моделювання взаємодії контактної підвіски з струмоприймачами найбільш перспективними для подальшого дослідження є комплексні методи розроблені на підставі кінцево-елементних моделей.

Мета роботи

Створення математичної моделі механічного та електричного розрахунку взаємодії струмоприймача та контактної підвіски.

Виклад основного матеріалу

Необхідність спільного механічного та електричного розрахунку і моделювання обумовлена наступними причинами. Найбільший питомий електричний знос контактної підвіски та контактних накладок при щільності струму до 5–10 А/мм², в місцях де спостерігається відрив струмоприймача від контактної підвіски, зниження контактного тиску [2-4]. Підвищення щільності струму в контакті призводить до прискореного теплового зносу.

Процес струмознімання на залізниці описується двома групами моделей: механічні й електричні, які об'єднані типологічно. Механічна структура ліній передбачає їх поділ на анкерні ділянки. Анкерні ділянки, в свою чергу розділяються на точки підвісу. Точка підвісу - це місце фіксації проводів або деталей лінії на будь-якої опорної конструкції. Проліт контактної підвіски може бути представлений мультиграфом просторової структури, вузлами якого є місця з'єднання окремих елементів між собою і точки підвісу (рис. 1). Гілками графа будуть служити довгі елементи підвіски - ділянки проводів і тросів, а також конструкції, наприклад, фіксатори. Зв'язок окремих елементів прольоту описується мультиграфом за співвідношенням

$$CT_n(Y, B) = [(Y_1, Y_2), (Y_2, Y_3), (Y_3, Y_4) \dots, (Y_{n-1}, Y_n)] \quad (1).$$

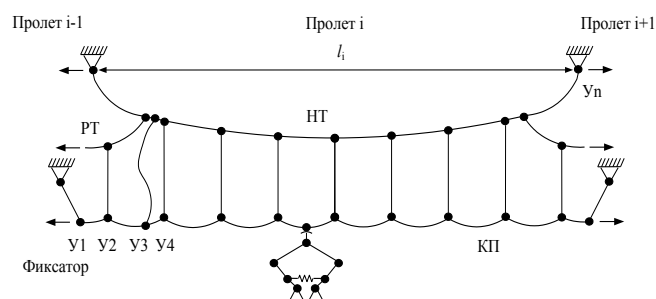


Рис. 1 – Граф механічного взаємодії контактної підвіски і струмоприймачів в прольоті анкерного ділянки

Для загальному випадку анкерний ділянку складається з m прольотів, з'єднаних між собою послідовно у підпорних точках. Таку модель також можна представити у вигляді графа з послідовним з'єднанням прольотів. Схеми струн, що визначають спосіб завдання і координати струн, місця їх кріплення та інші параметри необхідні для ідентифікації моделі підвіски. Схема струн включає в себе: ідентифікатор, схему, проліт, місця верхнього і нижнього кріплення, координату X і її умова, координату Y . Крім схем струн необхідно задати довжину, натяг, а також місця установки електричних з'єднувачів.

Аналітично граф запишеться як

$$ST_{ay}(P, C) = [(P_1, P_2), (P_2, P_3), (P_3, P_4) \dots, (P_m, P_m)], \quad (2)$$

де P_i – i -й проліт.

У вузлах зовнішньої системи електропостачання і тягової мережі можна задавати навантаження відповідно до закону її зміни в часі. Мультиграф електричного кола анкерної ділянки зображено на рис.2

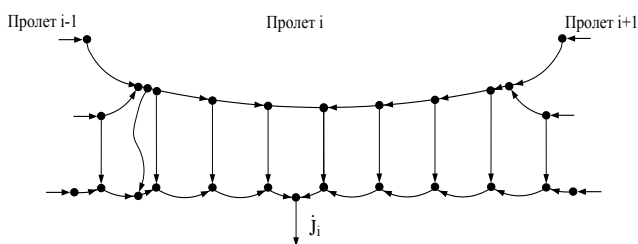


Рис. 2 – Мультиграф електричного кола анкерної ділянки

Контактний провід розбитий на вузли в які потрапляє навантаження j_i відповідно до швидкості руху різномісних поїздів. Поїзда, що рухаються на ділянці колії, споживає в струм, складові якого проходять через вузли та визначаються характеристиками електрорухомого складу, профілем колії, режимом руху і т.п. Особливістю побудови цього графа є наступні риси: врахування рейкового кола і системи зовнішнього електропостачання; можливість моделювання будь-яких комбінацій і кількостей сполук екрануючих і підсилюючих проводів; варіювання значеннями перехідних опорів рейка-земля. Все це дає можливість оцінити тепловий нагрів всіх пристроїв контактної підвіски при протіканні тягових струмів.

Кінцевий елемент механічної частини, що моделює відрізок дроту представлений різними моделями: натягнутою гнучкою ниткою з однорідної лінійної щільністю; жорстким стрижнем з однорідної лінійної щільності та пов'язані між собою шарнірами; натягнутими стрижнями, що працюють на вигин; елементарної масою, пов'язаної з сусідніми

масами гнучкими невагомими нитками; елементарної масою, пов'язаної з сусідніми масами невагомими, абсолютно жорсткими, шарнірно з'єднаними стержнями, і т. п. Сполучені між собою кінцеві елементи утворюють сітку, яка за своєю геометрії збігається зі схемою моделюється контактну підвіску. У модель можуть бути включені будь-які зосереджені маси (затискачі, струни, фіксатори, ізолятори і т. п.).

Моделювання взаємодії контактної підвіски та струмоприймачів наведено на прикладі швидкісної ділянки Київ – Полтава та струмоприймача ТЛ-13Л електровозу ВЛ 80к, що рухається зі швидкістю 80 км/год. На рис. 3 наведені основні геометричні данні анкерної ділянки, а в табл. Наведено її параметри.

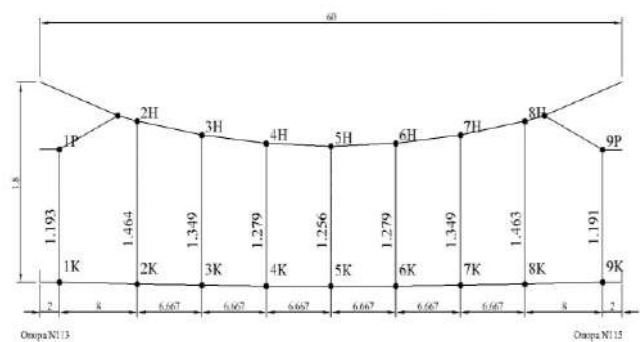


Рис. 3 – Геометричні данні анкерної ділянки

Таблиця 1 – Параметри анкерної ділянки

Параметр	Значення
Тип проводу підвіски	М-95+ МФ-100
Натяг несучого тросу, Н	14500
Натяг контакт проводу, Н	12000
Стріла провису несучого тросу, м	0,579
Стріла провису контакт проводу, м	0,035
Тип струни	БСМ2-4,0
Тип ресорного тросу	БСМ2-4,0
Натяг ресорного тросу, Н	1500
Довжина ресорного тросу, м	16
Мінімальна еластичність, м/Н	$4,194 \cdot 10^{-4}$
Мінімальна еластичність, м/Н	$7,116 \cdot 10^{-4}$
Коефіцієнт нерівновагі еластичності	1,679
Натяг струмоприймача, Н	60

Для на рис. 4 показано зміну еластичності в прольотах анкерного ділянки. Основний вплив на розподіл еластичності в прольоті надає: довжина прольоту, натяг контактного проводу, ресорного і несучого тросів, довжина ресорного тросу і відстань від опори до першої вертикальної струни, знос контактної підвіски.

Аналіз результатів показує, що при збільшенні швидкості руху на форму кривої еластичності в прольоті сильно впливає наявність жорстких точок (поперечні з'єднувачі, секційні ізолятори, повітряні

стрілки, середні анкерування та ін.). Для оцінки зміни еластичності в прольоті крім коефіцієнтів нерівномірності пропонується використовувати її середньоквадратичне відхилення, що в сукупності дозволяє підвищити точність оцінки якості струмоznимання.

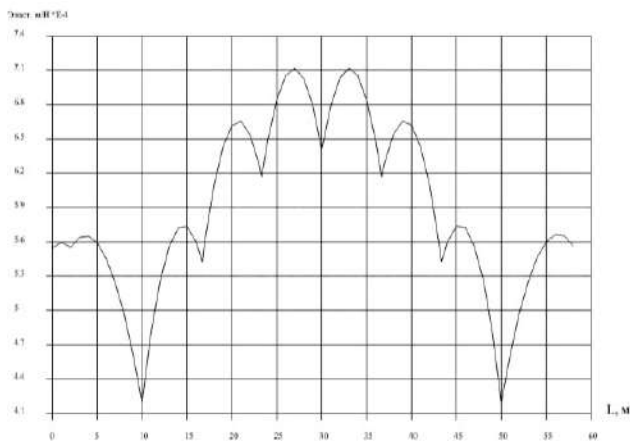


Рис. 4 – Зміна еластичності в прольотах анкерного ділянки

При аналізі контактної мережі з умови динаміки з параметрами, що задовольняють умовам статички, повинні аналізуватися криві контактного натискання в прольоті (рис. 5). Середнє його значення повинно бути близьким до оптимального з розглянутої кривої зносу. Коливання натискання не повинні бути максимальними, що викликають підйоми фіксаторів до 200 мм, і мінімальними до 20 Н, що викликають перевитрата.

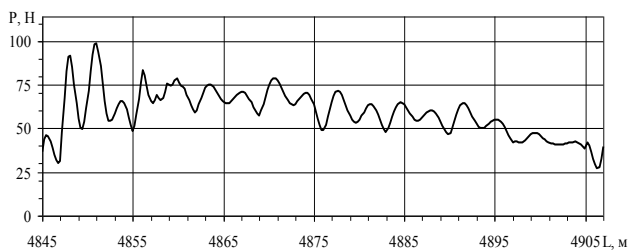


Рис. 5 – Крива контактного натискання в прольоті розрахункового анкерного ділянки при русі струмоприймача ТЛ-13Л зі швидкістю 80 км/год

Одним з основних показників якості струмоznимання є максимальна змінна складова контактного натискання. Чим більше нерівномірність еластичності контактної підвіски по довжині прольоту, тим більше значення приймає змінна складова контактного натискання. Зміни натягу проводів контактної підвіски позначаються на обидва наведених параметра. При збільшенні натягу проводів нерівномірність еластичності контактної підвіски по

довжині прольоту зменшується, що призводить до зменшення змінної складової контактного натискання і поліпшенню якості струмоznимання. Для оцінки якості струмоznимання розраховані реалізації контактного натискання при натягу КП 11, 10, 9, 8 кН і знос 7,5; 15; 22,5; 30% відповідно.

Обговорення результатів

На рис. 5 показані реалізації контактного натискання $P = f(V)$ при русі одного струмоприймача ТЛ-13Л на анкерному ділянці від 100 до 103 опори, при натягу контактного проводу 12 кН з 0% зносу. У середній частині прольоту, натискання зменшується. Потім натискання знову зростає. При підході до осі правої опори натискання має тенденцію до зниження. Таку хвилеподібну характеристику натискання з ознаками симетрії щодо середини прольоту можна пояснити циклічної неоднорідністю динамічних властивостей підвіски уздовж прольоту.

Безпосередньо під опорою через вплив ресорного тросу підвіски має збільшену динамічну еластичність. В середині прольоту також є ділянка з підвищеною динамічною еластичністю. Його присутність можна пояснити найбільшою віддаленістю від опор. Нарешті, дві ділянки праворуч і ліворуч від середини прольоту мають знижену динамічну еластичність через те, що вони з одного боку вже знаходяться за межами ресорного тросу, але з іншого боку все ще далеко від середини прольоту. Змінюючи параметри (довжину і натяг) ресорного тросу, число, довжини і місця кріплення струн можна вирівняти не тільки статичну еластичність підвіски, але і домогтися більшої динамічної однорідності.

Висновки

Для визначення статичних і динамічних параметрів, а також критеріїв стану елементів контактної підвіски доцільно застосовувати кінцево-елементні моделі, які найбільш адекватно описують фізичні процеси і використовуються в даний час у світі. В роботі запропоновано розвиток таких моделей на базі кінцевих елементів і структурування механічних і електричних графів прольотів анкерних ділянок.

Розроблені однотипні механічні та електричні мультиграфом прольоту анкерного ділянки, що дозволяє визначати стан параметрів контактних підвісок з урахуванням теплового зносу.

Підвищення натягу проводів і тросів не тільки забезпечує поліпшення якості струмоznимання, але і дає можливість вдосконалювати конструкцію контактної мережі в цілому: будівельна висота підвіски може бути зменшена до 1,4 м при довжині прольотів в межах 70 м.

Список літератури

Bibliography (transliterated)

1. Максимчук, В. Ф. Результаты моделирования взаимодействия контактной сети и токоприемников на экспериментальном участке скоростного движения направления Киев - Полтава - Донецк. Оценка статических и динамических параметров / В. Ф. Максимчук, И. В. Доманский // *Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал*. - 2012. - № 1. - С. 25-31.
2. Доманский, И. В. Моделирование взаимодействия контактной сети и токоприемников с применением частотно-зависимых конечных элементов и учетом взаимосвязи механического и электрического расчета подвесок / И. В. Доманский // *Залізничний транспорт України*. - 2011. - №5. - С. 9-14.
3. Марквардт, К. Г. Контактная сеть / Марквардт К. Г. - [4-е изд.]. - М.: Транспорт, 1994. - 335 с.
4. Михеев, В. П. Контактные сети и линии электропередачи / Михеев В. П. - М.: Маршрут, 2003. - 416 с.
5. Kiesling, F. Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens / F. Kiesling, R. Puschman, A. Schmieder, 2001.- 822p.
6. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / Вологин В. А. - М.: Интекст, 2006. - 256 с.
7. Roman, Konieczny / Symulacja uspotracy dynamiczney kilku adbierakow pradu z siccia trakcyjna / Roman Konieczny / *Trakcja i Wagony*, 19X4. - №3. - р. 84-87.
8. Ефимов, А. В. Разработка методики расчета взаимодействия токоприемников с контактной сетью / А. В. Ефимов // *Вестник Академия Транспорта. Уральское межрегиональное отделение*. - Курган: Издательство Курганского государственного университета, - 1998. - С. 47 - 49.
9. Галкин, А. Г. Разработка модели динамического взаимодействия контактной подвески с токоприемниками ЭПС / А. Г. Галкин, Н. А. Кузнецов // *Сб. науч. тр. УрГУПС: Повышение надежности работы устройств электроснабжения железных дорог*. - 2000. - Вып. 13 (95). - С. 49 - 52.
10. Brodkorb, A. Simulationsmodell des Systems Stromabnehmer-Oberleitungsnetzenwerk (Model for the simulation of the interaction between overhead contact line and pantograph) / A. Brodkorb, M. Semrau // *Elektrische Bahnen*. - 1993. - 91,4. - P. 105 - 113.
1. Maksimchuk, V. F., Domanskiy, I. V. Rezultaty modelirovaniya vzaimodeystviya kontaktnoy seti i tokopriemnikov na eksperimentalnom uchastke skorostnogo dvizheniya napravleniya Kiev - Poltava - Donetsk. Otsenka staticheskikh i dinamicheskikh parametrov. *Zalznichniy transport Ukraini : naukovopraktichniy zhurnal*, 2012, 1, 25-31.
2. Domanskiy, I. V. Modelirovanie vzaimodeystviya kontaktnoy seti i tokopriemnikov s primeneniem chastotnozavisimyykh konechnyykh elementov i uchedom vzaimosvyazi mekhanicheskogo i elektricheskogo rascheta podvesok. *Zalznichniy transport Ukraini*, 2011, 5, 9-14.
3. Markvardt, K. G. Kontaktnaya set. - M.: Transport, 1994. - 335 s.
4. Miheev, V. P. Kontaktnyye seti i linii elektroperedachi. - M.: Marshrut, 2003. - 416 s.
5. Kiesling, F., Puschman, R., Schmieder, A. Contact lines for electric railways planning design implementation. Berlin and Munich. Siemens. - 2001. - 822 p.
6. Вологин, В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. - М.: Интекст, 2006. - 256 p.
7. Roman, Konieczny / Symulacja uspotracy dynamiczney kilku adbierakow pradu z siccia trakcyjna. *Trakcja i Wagony*, 19X4, 3, 84-87.
8. Efimov, A. V. Razrabotka metodiki rascheta vzaimodeystviya tokopriemnikov s kontaktnoy setyu. *Vestnik Akademiyi Transporta. Uralskoe mezhregionalnoe otdelenie*. - Kurgan: Izdatelstvo Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta, 1998, 47 - 49.
9. Galkin, A. G., Kuznetsov, N. A. Razrabotka modeli dinamicheskogo vzaimodeystviya kontaktnoy podveski s tokopriemnikami EPS. *Sb. nauch. tr. UrGUPS: Povysheniye nadezhnosti raboty ustroystv elektroshnabzheniya zheleznykh dorog*, 2000, 13 (95), 49 - 52.
10. Brodkorb, A., Semrau, M. Simulationsmodell des Systems Stromabnehmer-Oberleitungsnetzenwerk (Model for the simulation of the interaction between overhead contact line and pantograph). *Elektrische Bahnen*, 1993, 91, 4, 105-113.

Сведения об авторах (About authors)

Любарський Борис Григорович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри електричного транспорту та тепловозобудування; м. Харків, Україна; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

Borys Liubarskyi – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, electric transport and diesel locomotive engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukrainian; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

Доманський Ілля Валерійович – кандидат технічних наук, заступник генерального директора, ТОВ «ДАК-Енергетика», Україна; e-mail: lboris1911@ukr.net.

Илья Domanskiy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, DAK-Energetika Ltd, Dnipro, Ukraine; e-mail: lboris1911@ukr.net.

Гасанов Магомедмін Ісамагомедович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», проректор; м. Харків, Україна; e-mail: Lboris1911@ukr.net.

Magomedimin Gasanov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), vice-rector, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukrainian, e-mail: Lboris1911@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Любарський, Б. Г. Моделювання механічної та електричної взаємодії контактної підвіски / **Б. Г. Любарський, І. В. Доманський, М. І. Гасанов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 51-56. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

Please cite this article as:

Liubarskyi, B., Domanskyi, I., Gasanov, M. Modeling of mechanical and electrical interaction of the contact hole. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 51–56, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Любарський, Б. Г. Моделювання механічної та електричної взаємодії контактної підвіски / **Б. Г. Любарський, І. В. Доманський, М. І. Гасанов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 51-56. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.07.

АННОТАЦИЯ В работе для определения статических и динамических параметров, а также критериев состояния элементов контактной подвески предложено применять конечно-элементные модели, которые наиболее адекватно описывают физические процессы и используются сейчас в мире. Предложено развитие таких моделей на базе конечных элементов и структурирования механических и электрических графов пролетов анкерных участков. Разработаны однотипные механические и электрические мультиграфом пролета анкерного участка, позволяющие определять состояние параметров контактных подвесок с учетом теплового износ.

Ключевые слова: контактная подвеска; токоприемник; контактный провод; износ контактного провода; мультиграф

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 615.83

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА ОТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И КОНСТРУКЦИИ РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ

Н. В. МАХОНИН*

Кафедра промышленной и биомедицинской электроники, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА
*email: nikalas1990@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье приводятся параметры разрядной камеры генератора озона, а также параметры газа, которые оказывают влияние на производительность генератора озона. Приведена типичная конструкция разрядной камеры, показано влияние напряжения горения разряда на производительность. Проведены исследования влияния параметров газа, а также величины зазора между пластинами на величину напряжения горения разряда в газовом промежутке. Получены результаты и определены параметры, оказывающие наиболее значительное влияние.

Ключевые слова: генератор озона; разрядная камера; напряжение горения; относительная плотность газа; озон-кислородная смесь

DETERMINATION OF DEPENDENCE OF VOLTAGE OF THE OZONE GENERATOR DISCHARGE CHAMBER FROM EXTERNAL FACTORS AND DESIGN OF DISCHARGE CHAMBER

М. МАХОНИН*

Industrial and biomedical electronics department, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Parameters of the discharge chamber of the ozone generator, as well as the parameters of the gas that affect the performance of the ozone generator are given in the article. The purpose of this work is to investigate the influence of the gap width in the discharge gap of the ozone generator chamber and the parameters of the gas used (for medical ozone generators it is exclusively oxygen) on the burning voltage of the discharge of the gas gap and the determination of the factors that have the greatest influence on this voltage. A typical construction of a discharge chamber is given; the effect of the burning voltage of a discharge on the productivity is shown. Mathematical dependencies between the value of the burning voltage of the discharge and the factors that influence the change of this parameter are described. Studies of the influence of gas parameters, as well as the gap between plates on the value of the discharge burning voltage in the gas gap are conducted. It is shown that to reduce the influence of disturbing factors, as well as to reduce the value of the burning voltage of the discharge in the discharge chamber of the ozone generator, it is necessary to reduce the distance between the electrodes. The values of the effect on the value of the burning voltage of the discharge in the discharge chamber are given when the gas temperature changes within 50% of the initial temperature and the gas changes within 15% of the initial value. The conclusions describe the obtained results, determine the parameters that have the greatest impact, and also the optimization problem for finding the optimal combination of parameters when using an ozone generator for medical purposes.

Keywords: ozone generator; discharge chamber; discharge voltage; relative gas density; ozone-oxygen mixture

Введение

Для обеспечения проведения процедур озонотерапии и достижения максимального лечебного эффекта, медицинский генератор должен точно поддерживать заданную врачом дозу озона, которую получит пациент [1]. В свою очередь доза озона определяется как произведение расхода озон-кислородной смеси на концентрацию озона в этой смеси. Для измерения концентрации озона на выходе генератора применяются специальные измерители. Однако они обладают достаточно большим временем регистрации результатов измерения, поэтому при производстве генераторов озона существует практика отказа от измерителей и применения управления генератором озона на основе заранее определенных зависимостей [2].

Синтез озона происходит в разрядной камере генератора озона при подаче на ее электроды переменного напряжения высокой амплитуды. Если при этом электроды покрыты диэлектриком, то происходит образование барьерного разряда. Такой разряд, при прохождении через газ, который содержит кислород, приводит к генерации озона. Во время работы генератора озона необходимо учитывать условия окружающей среды, а именно изменение температуры газа, а также изменение его давления в разрядной камере, которые выступают в роли возмущающих факторов. Это может привести к отклонению реальной концентрации озона на выходе пневматического тракта генератора от заданного значения, что негативно скажется на лечебном эффекте оказываемой процедуры озонотерапии [4].

С другой стороны необходимо повышение эффективности производства озона в генераторе. Одним из способов повышения эффективности генератора озона является понижение значения напряжения пробоя газа в разрядной камере, что приведет к увеличению количества озона при подаче на камеру того же количества энергии.

Цель работы

Целью данной работы является исследование влияния ширины зазора в разрядном промежутке камеры генератора озона и параметров применяемого газа (для медицинских генераторов озона газом является исключительно кислород) на напряжение горения разряда газового промежутка и определение факторов, которые оказывают наибольшее влияние на это напряжение.

Изложение основного материала

В современных медицинских генераторах озона наиболее широкое распространение получила разрядная камера коаксиального типа [5]. Такая камера позволяет эффективно использовать всю площадь электрода и является более компактной, что важно для минимизации размеров генератора озона. Сечение разрядной камеры коаксиального типа показано на рисунке 1. Такая камера состоит из внутреннего высоковольтного электрода (позиция 1), внешнего земляного электрода (позиция 2). Эти электроды разделяются слоем диэлектрического материала (позиция 2,4), а также зазора (позиция 3), через который протекает газовая смесь.

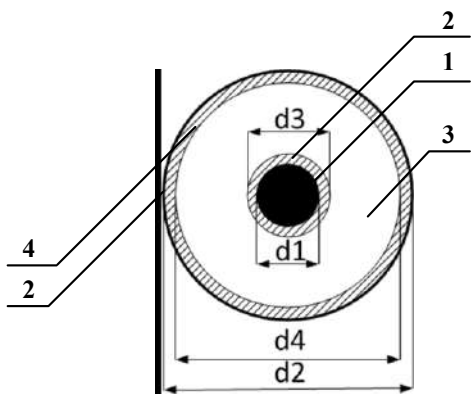


Рис. 1 – Сечение коаксиальной разрядной камеры с двумя диэлектриками.

При этом на генерацию озона непосредственное влияние оказывают такие конструкционные параметры разрядной камеры [6], как:

- геометрический размер разрядной камеры;
- эффективная разрядная площадь электродов;
- диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

- диэлектрические свойства газа, который используется (кислород или воздушная смесь);
- ширина диэлектрика, который покрывает электроды;
- ширина воздушного зазора между диэлектриками.

Эти параметры оказывают непосредственное влияние на электрические параметры разрядной камеры, а именно определяют ее электрическую емкость и напряжение горения разряда в газовом промежутке.

В свою очередь, количество озона, которое образуется в разрядной камере, в основном, зависит от мощности, которая выделяется в ней [7]. При этом часть вырабатываемой электрической мощности идет на образование озона, а другая часть выделяется в виде тепла, которое приводит к повышению температуры рабочей зоны разрядной камеры:

$$P_{\text{пол}} = P_{\text{нагрев}} + P_{\text{ген}} \quad (1)$$

Ввиду сложности процесса протекания разряда в разрядной камере, а также процессов генерации и разложения озона, существуют только эмпирические выражения для расчета мощности, которая выделяется в разрядном промежутке на образования озона. Согласно известным уравнениям [8] для высокочастотного генератора озона полезная мощность находится по следующему выражению:

$$P_{\text{пол}} = 4 \cdot f \cdot C_{\text{д}} \frac{C_{\text{д}}}{C_{\text{г}} + C_{\text{г}}} U_{\text{р}} (U_{\text{м}} - U_{\text{р}}), \quad (2)$$

где f – частота питающего напряжения, $U_{\text{м}}$ – величина подаваемого на разрядную камеру напряжения, $U_{\text{р}}$ – напряжение горения разряда.

Из этого выражения следует, что образование озона происходит при условии, когда амплитудное значение питающего напряжения превышает значение напряжения горения разряда, то есть $U_{\text{м}} > U_{\text{р}}$.

Для получения барьерного разряда в разрядной камере необходимо обеспечить достаточный уровень разности потенциалов между изолированными электродами. Данное напряжение, называемое напряжением горения разряда, определяется следующими уравнениями [9]:

$$U_{\text{д}} = \frac{B(\delta s)}{C + \ln(\delta s)}; \quad (3)$$

$$B = A_{\delta} \cdot U_{\text{у}}; \quad (4)$$

$$C = \ln \frac{A_{\delta}}{\ln(1 + \frac{1}{\gamma})}. \quad (5)$$

Здесь δ – относительная плотность газа, которая определяется как произведение давления и

температуры газа, s – расстояние разрядного промежутка, U_U – напряжение, необходимое для ионизации молекул газа, A_δ – коэффициент ионизации, γ – коэффициент вторичной ионизации.

Из этих уравнений следует, что напряжение возникновения разряда зависит в основном от произведения величины относительной плотности газа на расстояние между диэлектриками в разрядной области. Остальные значения являются константами для конкретного типа газа. Для кислорода, который поступает в разрядную камеру генератора озона, такие постоянные принимают значения, указанные в таблице 1 [10,11].

Таблица 1 – Параметры используемого газа

Тип газа	Параметры газа		
	$A_\delta, 1/см$	$U_U, эВ$	γ
Кислород	12500	12,5	18

Исследование зависимостей

Было проведено исследование зависимости значения разрядного напряжения от изменения таких параметров рабочего газа как температура и давление, согласно формулам (3,4,5). При проведении исследования использовались различные значения ширины зазора между диэлектриками, что также оказывало влияние на напряжение горения разряда в разрядной камере.

В первом случае проводилось исследование влияния температуры подаваемого газа (кислорода). При этом расстояние разрядного промежутка принималось равным от 1 до 5 мм, что соответствует типичным значениям газового промежутка разрядной камеры медицинского генератора озона [12]. Были получены графики зависимостей для кислорода при нормальном атмосферном давлении. Результаты представлены на рисунке 2.

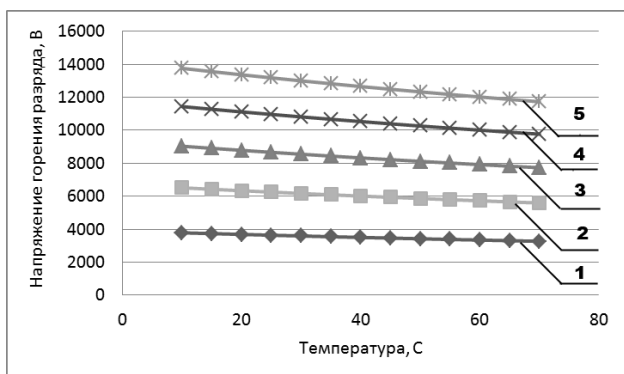


Рис. 2 – Зависимость напряжения горения разряда от температуры подаваемого кислорода и значения ширины разрядного промежутка: 1 – ширина промежутка 1 мм; 2 – ширина промежутка 2 мм; 3 – ширина промежутка 3 мм; 4 – ширина промежутка 4 мм; 5 – ширина промежутка 5 мм

Как видно из полученного графика, увеличение температуры кислорода, поступающего в разрядную камеру генератора озона, приводит к понижению напряжения горения разряда. При этом увеличение расстояния между электродами приводит к увеличению значения напряжения горения разряда.

Также была исследована зависимость влияния давления газа в разрядной камере на напряжение горения разряда. Ширина зазора между электродами составляла от 1 до 5 мм. Температура газа при этом составляла 20 С, что является нормальным условием при работе в помещении. При исследовании влияния на разрядное напряжение давления газа (кислорода) в газовом промежутке изменялось от 350 до 1000 мм. рт. ст. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

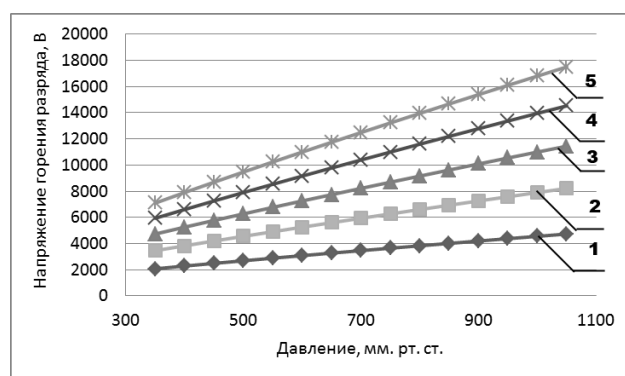


Рис. 3 – Зависимость напряжения горения разряда от давления газа в разрядном промежутке при различных значениях ширины разрядного промежутка: 1 – ширина промежутка 1 мм; 2 – ширина промежутка 2 мм; 3 – ширина промежутка 3 мм; 4 – ширина промежутка 4 мм; 5 – ширина промежутка 5 мм

Как видно из графика, увеличение значения давления газа в разрядной камере приводит к росту значения напряжения горения разряда. Степень влияния температуры и давления на этот параметр представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Отклонение напряжения горения разряда

Изменяемый параметр	Отклонение напряжения горения разряда, %				
	Расстояние между пластинами, мм				
	1	2	3	4	5
Давление газа, отклонение составляет 15%	10,3	10,7	10,9	11	11,1
Температура, отклонение составляет 50%	2,5	2,6	2,7	2,72	2,74
Расстояние между электродами, отклонение составляет 50 %	36,9	38,6	39,4	39,9	40,3

Как видно из таблицы, изменение температуры рабочего газа в диапазоне 50 % приводит к изменению напряжения горения разряда в разрядной камере менее чем на 3 %. Для уменьшения этого влияние, исходя из полученных зависимостей, следует уменьшать расстояние между электродами в разрядной камере. В свою очередь, изменение давления газа в рабочей области разрядной камеры на 15% от установленного приводит к изменению значения напряжения горения разряда на 10-11%. Из этих данных можно сделать вывод, что изменение давления влияет на изменение величины горения разряда почти в 10 раз больше, нежели изменения температуры. Однако, как было сказано ранее, оба этих параметра (давление и температура рабочего газа) являются возмущающими факторами при работе генератора озона, которые необходимо учитывать при расчете производительности озона, а также, желательно, уменьшить их степень влияния на работу генератора озона. Исходя из полученных данных, для улучшения работы генератора озона, то есть уменьшения значения напряжения горения разряда и уменьшения влияния возмущающих факторов, необходимо применять разрядную камеру с минимальным зазором между электродами. Но при этом необходимо учитывать, что для обеспечения проведения процедуры озонотерапии генератор озона должен обеспечивать заданный расход озон-кислородной смеси. И чем меньше зазор в разрядной камере генератора озона, тем большее значение давления понадобится для обеспечения заданного расхода.

Выводы

В результате исследований было определено, что уменьшение давления в газовом промежутке разрядной камеры, а также повышение температуры газа приводит к уменьшению напряжения горения разряда. При этом изменение давления газа в разрядной камере оказывает более существенное влияние на значение напряжения горения разряда. Также существенное влияние на эту величину оказывает ширина зазора между электродами, и уменьшение этого параметра также приводит к уменьшению напряжения горения разряда. То есть, для обеспечения минимального значения горения разряда необходимо уменьшение расстояния между электродами, то есть уменьшения зазора в разрядной области генератора озона.

Однако, для обеспечения необходимых условий при проведении процедур озонотерапии, а в этом случае – обеспечение заданного расхода озон-кислородной смеси на выходе пневматического тракта генератора озона, при минимальном расстоянии между электродами придется повышать давление газа в разрядной области. Как видно из рисунка 3 это приведет к повышению значения напряжения горения разряда.

Отсюда можно сделать вывод, что необходимо решение задачи оптимизации для нахождения оптимального значения этих параметров при применении генератора озона для проведения процедур озонотерапии.

Список литературы

1. **Масленников, О. В.** *Практическая озонотерапия. Пособие / О. В. Масленников, К. Н. Конторщикова.* – Н. Новгород: Изд-во «Вектор - ТиС», 2003. – 52 с.
2. **Sokol, E. I.** The Analysis of Technical Solutions for Medical Ozonators / **E. I. Sokol, A. V. Kipenskiy, V. V. Kulichenko, R. S. Tomashevskiy, T. M. Barkhotkina** // *2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO).* – 2013. – pp. 262-265. – doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552047.
3. **Сокол, Е. И.** Об особенностях регулирования концентрации озона в медицинском озонаторе / **Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, А. А. Лашин [и др.]** // *Матеріали наук.-практ. конф. «Нові технології оздоровлення природними та преформованими факторами».* – Харків: ХМАПО, 2002. – С. 229-231.
4. **Кипенский, А. В.** Пневмоэлектромеханическая система управления расходом озон-кислородной смеси в медицинском озонаторе / **Кипенский, А. В. Куличенко В. В., Махонин Н. В.** // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №36. – С. 186-188.
5. **Konelschatz, U.** Dielectric-Barrier Discharges. Principle and Applications / **U. Konelschatz, B. Eliasson and W. Egli** // *Journal de Physique IV Colloque.* – 1997. – 07 (C4). – pp.C4-47-C4-66. – doi:10.1051/jp4:1997405.
6. **Takaki, K.** Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor / **K. Takaki, Y. Hatanaka, K. Arima, S. Mukaigawa, T. Fujiwara** // *Vacuum.* – 2009. – 83. – pp. 128-132. – doi: 10.1016/j.proeng.2012.02.035.
7. **Samaranayake, W. J. M.** Ozone production using pulsed dielectric barrier discharge in oxygen / **W. J. M. Samaranayake, Y. Miyahara, T. Namihira, S. Katsuki, R. Hackam, H. Akiyama,** // *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* – 2000. – pp. 849-854. – doi: 10.1109/94.891999.
8. **Masschelein, W. J.** Ozone Generation: Use of Air, Oxygen or Air Simpsonized with Oxygen / **W. J. Masschelein** // *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association.* – 1998. – 20:3. – p. 191-203. – doi: 10.1080/01919519808547271.
9. **Долгинов, А. И.** Техника высоких напряжений в электроэнергетике / **А. И. Долгинов.** – М., Энергия. – 1968. – 464 с.
10. **Takaki, K.** Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor / **K. Takaki, Y. Hatanaka, K. Arima, S. Mukaigawa, T. Fujiwara** // *Vacuum.* – 2009. – 83. – pp. 128-132. – doi: 10.1016/j.proeng.2012.02.035.
11. **Shuiliang, Y.** Study of ozone generation in an atmospheric dielectric barrier discharge reactor / **Yao Shuiliang, Zuliang Wu, Jingyi Han, Xiujuan Tang, Boqiong Jiang, Hao Lu, Sin Yamamoto, Satoshi Kodama** // *Journal of Electrostatics.* 2015. – V. 75. – pp. 35-42. – doi: 10.1016/j.elstat.2015.03.001.
12. **Кипенский, А. В.** Характеристики и результаты эксплуатации медицинского озонатора OM 80/1. / **А. В. Кипенский, Е. И. Сокол, А. А. Лашин и др.** // *Общая*

реаниматология. – М.: НИИ общей реаниматологии РАМН, 2006. – Т. 2. – № 4/1. – С. 297-301.

Bibliography (transliterated)

1. Maslennikov, O. V., Kontorshchikova, K. N. Prakticheskaya ozonoterapiya. Posobiye. N. Novgorod: Izdvo «Vektor - TiS», 2003, 52 s.
2. Sokol, E. I., Kipenskiy, A. V., Kulichenko, V. V., Tomashevskiy, R. S., Barkhotkina, T. M. The Analysis of Technical Solutions for Medical Ozonators. 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2013, 262-265, doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552047.
3. Sokol, E. I., Kipenskiy, A. V., Lashin, A. A. i dr. Ob osobennostyakh regulirovaniya kontsentratsii ozona v meditsinskom ozonatore. *Materiali nauk.-prakt. konf. «Novi tekhnologii ozdorovlennya prirodniimi ta preformovanimi faktorami»*. Kharkiv: KhMAPO, 2002, 229-231.
4. Kipenskiy, A. V., Kulichenko, V. V., Makhonin, N. V. Pnevmoelektromekhanicheskaya sistema upravleniya raskhodom ozono-kislородной smesi v meditsinskom ozonatore. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «KhPI»*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2013, №36, 186-188.
5. Konelschatz, U., Eliasson, B. and Egli, W. Dielectric-Barrier Discharges. Principle and Applications. *Journal de Physique IV Colloque*, 1997, 07 (C4), C4-47-C4-66, doi:10.1051/jp4:1997405.
6. Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., Fujiwara, T. Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor. *Vacuum*, 2009, 83, 128-132, doi: 10.1016/j.proeng.2012.02.035.
7. Samaranayake W. J. M., Miyahara, Y., Namihira, T., Katsuki, S., Hackam, R., Akiyama, H. Ozone production using pulsed dielectric barrier discharge in oxygen. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 2000, 849-854, doi: 10.1109/94.891999.
8. Masschelein, W. J. Ozone Generation: Use of Air, Oxygen or Air Simpsonized with Oxyge. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*, 1998, 20:3, 191-203, doi: 10.1080/01919519808547271.
9. Dolginov, A. I. Tekhnika vysokikh napryazheniy v elektroenergetike. M.: Energiya, 1968, 464.
10. Takaki, K., Hatanaka, Y., Arima, K., Mukaigawa, S., Fujiwara, T. Influence of electrode configuration on ozone synthesis and microdischarge property in dielectric barrier discharge reactor. *Vacuum*, 2009, 83, 128-132, doi: 10.1016/j.proeng.2012.02.035.
11. Yao Shuiliang, Zuliang Wu, Jingyi Han, Xiujuan Tang, Boqiong Jiang, Hao Lu, Sin Yamamoto, Satoshi Kodama. Study of ozone generation in an atmospheric dielectric barrier discharge reactor. *Journal of Electrostatics*, 2015, 75, 35-42, doi: 10.1016/j.elstat.2015.03.001.
12. Kipenskiy, A. V., Sokol, E. I., Lashin, A. A. i dr. Kharakteristiki i rezultaty ekspluatatsii meditsinskogo ozonatora OM 80/1. *Obshchaya reanimatologiya*. M.: NII obshchey reanimatologii RAMN, 2006, 2. № 4/1, 297-301.

Сведения об авторах (About authors)

Махонин Николай Витальевич – ассистент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ассистент кафедры «Промышленная и биомедицинская электроника»; г. Харьков, Украина; e-mail: Nikalas1990@gmail.com.

Mykola Makhonin – assistant, Department of industrial and biomedical electronics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: Nikalas1990@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Махонин, Н. В. Определение зависимости напряжения пробоя разрядной камеры генератора озона от внешних факторов и конструкции разрядной камеры / **Н. В. Махонин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 57-61. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.08.

Please cite this article as:

Makhonin, M. Determination of dependence of voltage of the ozone generator discharge chamber from external factors and design of discharge chamber. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 57–61, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.08.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Махонін, М. В. Визначення залежності напруги пробоя розрядної камери генератора озона від зовнішніх факторів і конструкції розрядної камери / **М. В. Махонін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 57-61. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.08.

АНОТАЦІЯ У статті наводяться параметри розрядної камери генератора озону, а також параметри газу, які впливають на продуктивність генератора озону. Наведено типову конструкцію розрядної камери, показано вплив напруги горіння розряду на продуктивність. Проведено дослідження впливу параметрів газу, а також величини зазору між пластинами на величину напруги горіння розряду в газовому проміжку. Показані отримані результати і визначено параметри надають найбільш значний вплив.

Ключові слова: генератор озона; розрядна камера; напруга розряду; відносна щільність газу; озono-киснева суміш

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 621.039.56

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.09

МЕТОДИКА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Н. П. ОДЕЙЧУК, В. К. ЯКОВЛЕВ, А. И. КОМИР*, А. Н. ОДЕЙЧУК

НПК «ВИЭРТ», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, УКРАИНА
*email: nikolaenko@kipt.kharkov.ua

АННОТАЦИЯ В виду недостаточной изученности проблемы истирания ядерного графита, используемого в атомной энергетике в качестве конструкционного материала, эта работа призвана дополнить существующую проблему по этому вопросу. Цель работы - описание методики трибологических испытаний углеродных материалов в условиях окислительной среды и при воздействии ионизирующего излучения. Этот метод позволяет исследовать явление пылеобразования и изучить изменение микроструктуры ядерного графита в процессе истирания. В исследованиях в качестве истираемого тела использовался параллелепипед с линейными размерами 2x3x40 мм, а в качестве контр-тела - цилиндр с дополнительными углублениями для исследовательского оборудования. Такие геометрические размеры обусловлены глубиной проникновения электронов используемой энергии. При энергии электронов 3 МэВ глубина проникновения составляет до 9,5 мм. Трибологические испытания углеродных материалов выполнялись при нагрузке 29,4 Н. Скорость вращения контр-тела составляла 30 об./мин (47,1 мм/с пройденного пути). Разработанная методика позволяет проводить экспресс-анализ трибологических свойств углеродных материалов под воздействием ионизирующего излучения и окислительной среды. Экспериментальные исследования влияния высоких температур, излучения и кислорода на коррозионные и трибологические характеристики графита и углерод-углеродного композиционного материала при температурах 400-600 °С позволяют утверждать, что этот метод комплексно учитывает основные факторы, комплексно влияющие на процесс истирания.

Ключевые слова: ядерный графит; трибологические испытания; углеродные материалы; окисление; истирание.

METHOD OF CARBON MATERIALS TRIBOLOGICAL TESTS UNDER THE INFLUENCE OF IONIZING RADIATION AND OXIDIZING ENVIRONMENT

M. ODEYCHUK, V. YAKOVLEV, A. KOMIR*, A. ODEYCHUK

SPE «RESST», National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT In view of the insufficient knowledge of the issue of abrasion of nuclear graphite as a structural material used by nuclear power engineering, this work is intended to supplement the existing work on this issue. The aim of the work is to describe the technique of tribological testing of carbon materials under oxidizing conditions and under the influence of ionizing radiation. This technique allows to investigate the phenomenon of dust formation and to study the change in the microstructure of nuclear graphite as a consequence of abrasion. In studies, as an abratable body, a parallelepiped with linear dimensions of 2x3x40 mm was used, and as a counterbody - a cylinder with additional depressions for research equipment. These geometric dimensions are due to the depth of penetration of the electrons of the energy used. For an energy of 3 MeV, the penetration depth is up to 9.5 mm. Carbon materials tribological tests were performed at a load of 29.4 N. The speed of rotation of the counter-body was 30 rpm (47.1 mm / s of the traveled path). The developed technique allows to carry out the express analysis of tribological properties of carbon materials under the influence of ionizing radiation and oxidizing environment. Experimental studies of the effect of high temperatures, radiation, and oxygen on the corrosive and tribological characteristics of graphite and carbon-carbon composite material at temperatures of 400-600 °C make it possible to assert that this method takes into account the main factors complexly affecting the attrition process.

Keywords: nuclear graphite; tribological tests; carbon materials; oxidation; abrasion.

Введение

В настоящее время достаточно актуальными являются испытания углеродных материалов активной зоны ядерных энергетических систем IV Поколения в нормальных условиях эксплуатации и в условиях гипотетических аварийных ситуаций. В настоящее время используют различные виды методик исследований углеродных материалов: от методик, не использующих ионизирующее излучение или потоки нейтронов, до методик, использующих ускорители заряженных частиц и ядерные реакторы, как источники ионизирующего излучения и нейтронов при исследовании свойств углеродных материалов [1- 6].

Реакторные испытания являются одними из наиболее объективных и наиболее дорогостоящих при исследовании поведения углеродных материалов активной зоны ядерного реактора. Более доступным видом испытаний углеродных материалов, позволяющим использовать ионизирующее излучение, необходимое для реализации эффектов, связанных с уменьшением энергии активации химических процессов, таких как окисление и увеличение скорости диффузии дефектов, является применение ускорителей заряженных частиц. Это позволяет также проводить имитационные экспрессные трибологические испытания углеродных материалов при воздействии радиации и

окислительной среды, которые сложно технически реализовать в условиях реакторных испытаний.

В высокотемпературных газоохлаждаемых реакторах (ВТГР) с шаровыми графитовыми твэлами остается открытым вопрос образования графитовой пыли в активной зоне реактора в циклах однократного прохождения активной зоны (ОПАЗ) и многократного прохождения активной зоны (МПАЗ) шаровыми твэлами [7]. Также требует дополнительных исследований процесс образования графитовой пыли при многократном прохождении графитовых каналов поглощающими шариками из композиции графит-карбид бора Шариковой Системы Компенсации Реактивности (ШСКР) таких ядерных реакторов [8].

Цель работы

Целью работы является описание методики трибологических испытаний углеродных материалов в условиях окислительной среды и при воздействии ионизирующего излучения.

Обзор литературы

Tim Burchell и др. из Ок-Риджской Национальной Лаборатории на конференции 2009 года [9] указывали на актуальность данного типа исследований в виду слабой изученности феноменов пылегенерации и коэффициентов трения для углеродных материалов в гелиевой среде. Также приводятся данные по нелинейности изменения свойств при воздействии окисления и потери массы графита. Частично данное утверждение было подтверждено в дальнейшем в работе [10]. Не являются досконально исследованными и влияние газовой среды и температуры на трибологические свойства углеродных материалов.

В работе [9] также указывается на то, что следует учитывать различие фрикционных свойств между следующими частями:

- графитовым твэлом и графитовым отражателем;
- графитовым твэлом и графитовым твэлом.

А. Tokuhiko и др. из Айдахской Национальной Лаборатории было проведено исследование трибологических свойств графитовых материалов в гелиевой среде (при давлении 0,1-7 МПа) и при температуре (20-800) °С по оценке скорости образования графитовой пыли, а также исследование условий, при которых может произойти взрыв пыли [10]. В качестве истираемого образца и контр-тела использовались графитовые диски толщиной 2,54 см и диаметром 6 см. Было предложено следующее представление о двух основных типах фрикционных взаимодействий поверхностей графита – трение со скольжением (lubricated friction) и трение с большим износом (large wear), рис. 1.

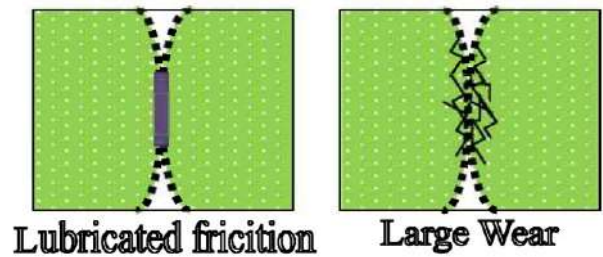


Рис. 1 – Типы фрикционных взаимодействий при трении ядерного графита [10]

В исследовании было установлено (рис.2), что при низком давлении (0,1 МПа) и температуре до 400 °С при фрикционном взаимодействии – графит-графит будет преобладать трение со скольжением, а при температуре более 400 °С – трение с большим износом. При давлении гелия 6,5 МПа при фрикционном взаимодействии – графит-графит будет преобладать трение с большим износом во всем температурном диапазоне.

Исследования, проводившиеся в работе [10] по моделированию и прогнозированию истирания графита показали, что методы, используемые на данный момент, связанные с расчетом на основе конечных элементов позволяют достаточно грубо оценить исследуемые процессы.

Основываясь на результатах исследований [11], можно сказать, что только для крупнозернистых графитов, к которым не относятся исследованные с помощью данной методики типы ядерных графитов, обладают изменением коэффициента трения с увеличением пройденного пути.

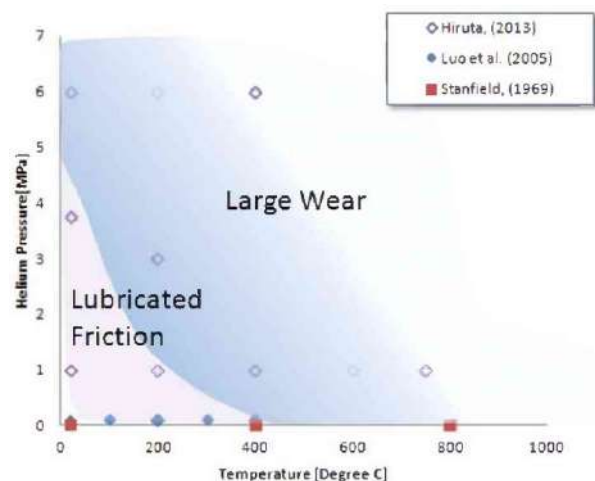


Рис. 2 – Типы трения ядерного графитов в зависимости от температуры и давления гелия [10]

Исходя из этого можно утверждать о линейных зависимостях исследуемых параметров от пройденного пути в проводимых экспресс-испытаниях.

Методика

Методика трибологических испытаний углеродных материалов под воздействием ионизирующего излучения и окислительной среды базируется на концепции исследования трибологических свойств углеродных материалов при контакте тело (стержень) и контр-тело (полый цилиндр) при следующих параметрах: температура (400-800) °С, окислительная среда – кислород при давлении 0,1 МПа, поток окислителя, ионизирующее излучение – электроны с энергией до 3 МэВ, продолжительность – до 3 часов. Разработанная методика является дальнейшим развитием ранее разработанных методик исследования свойств углеродных материалов в окислительной среде при воздействии облучения электронами в ННЦ ХФТИ [12-14].

Для реализации предложенной концепции исследования трибологических свойств углеродных материалов был спроектирован экспериментальный комплекс высокотемпературных трибологических и коррозионных испытаний углеродных материалов в

составе камеры облучения с устройством для окисления и истирания образцов углеродных материалов (рис.3,4) и ускорителя электронов ELIAS с энергией электронов до 3 МэВ (рис. 5). Использование электронов с энергией до 3 МэВ позволяет работать с углеродными материалами ядерной чистоты без накопления остаточной радиации.

При исследованиях, в качестве истираемого тела, был использован параллелограмм с линейными размерами 2x3x40 мм, а в качестве контр-тела – цилиндр с дополнительными углублениями под исследовательское оборудование. Данные геометрические размеры обусловлены глубиной проникновения электронов используемой энергии. Для энергии до 3 МэВ глубина проникновения составляет до 9.5 мм, рис.6, а при геометрических размерах вдоль направления пучка 3 мм падение энергии составляет менее 0.5 МэВ. Расчет, представленный на рис.6, производился для углеродных материалов с плотностью 1.7 г/см³ с использованием табличных данных [15].

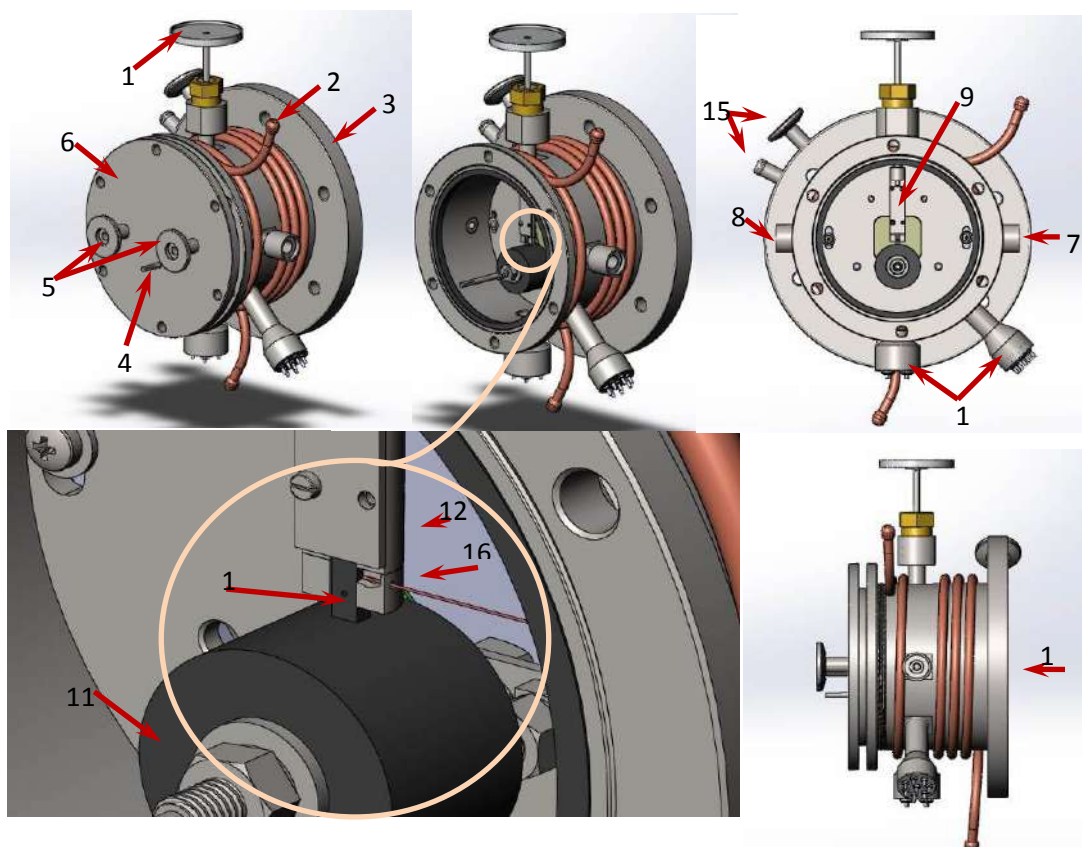


Рис. 3 – Схематическое изображение камеры облучения с устройством для окисления и истиранию образцов углеродных материалов: 1 - подставка для груза; 2 - медная трубка водяного охлаждения камеры; 3 - полый водоохлаждаемый фланец; 4 - вал, на котором крепится истирающий образец; 5 - вход и выход водяного охлаждения полого фланца; 6, 6 - полый водоохлаждаемый фланец; 7,8 - вход и выход для подачи кислорода в камеру; 9 - держатель истираемого образца; 10 – истираемый образец; 11 – истирающий образец; 12 - диафрагма; 13 - направление подачи пучка заряженных частиц; 14 - разъемы для подключения терморпар; 15 - вход и выход водяного охлаждения полого фланца; 16 - в разрезе держателя 9 показано терморпару



Рис. 4 – Внешний вид устройства окисления и истиранию образцов углеродных материалов перед сборкой



Рис. 5 – Экспериментальный комплекс высокотемпературных коррозионных и трибологических испытаний углеродных материалов: электропровод ускорителя ELLAS с вакуумной системой, системами настройки и управления пучком, на конечном узле которого смонтирована камера для окисления и истиранию образцов углеродных материалов

Коррозионные и трибологические испытания углеродных материалов проводились в потоке кислорода при давлении 0,1 МПа.

Трибологические испытания углеродных материалов проводились при нагрузке 29,4 Н, которая осуществлялась с помощью калиброванного груза. Скорость вращения контр-тела составляла 30 об./мин (47,1 мм/с пройденного пути).

Точность измерения температуры при использовании термопар хромель-алюмель составляла $\pm 2,5$ °С. Термопары помещены в истираемый образец и истирающий образец и закреплены вблизи области облучения. Данная схема обеспечивает достаточный контроль параметров, в том числе и параметров пучка – площади и фокусировки вблизи пятна контакта. Температурный диапазон испытаний охватывает от 400 °С до 600 °С.

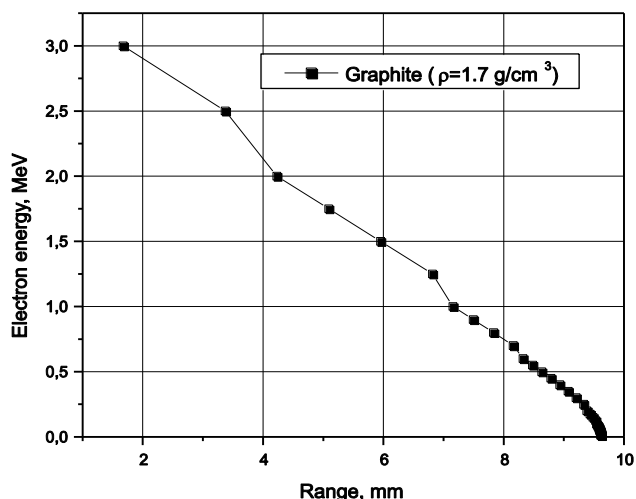


Рис. 6 – Зависимость энергии электронного пучка от глубины графитовой мишени

Взвешивание образцов производилось с помощью аналитических весов АД-200, точность взвешивания – 0,5 мг. Линейные размеры образцов измерялись с помощью штангельциркуля 0-200 мм, точность измерения – 0,05 мм, микрометра 0-25 мм, точность измерения – 0,01 мм.

Исследование коррозионных и трибологических свойств углеродных материалов проводилось в потоке кислорода в течение 1 и 3 часов при параметрах пучка электронов: энергия электронов – 2,5 МэВ, ток пучка электронов – до 1000 мкА.

Для исследования коррозионных и трибологических свойств углеродных материалов по описываемой методике использовались экспериментальные образцы (размер 2x3x40 мм) следующих марок графитов и композиционных материалов: АРВ (плотность 1,63 г/см³), МПГ (плотность 1,69 г/см³), ГСП (плотность 1,77 г/см³) и УУКМ (плотность 1,49 г/см³). В таблице 1 приведены результаты по износу указанных углеродных материалов в кислороде без облучения и при облучении электронами при температуре 400 °С и 600 °С в течение 1 часа.

Как видно из данных табл. 1, облучение электронами увеличивает скорость износа углеродных материалов в кислороде при температуре 400 °С в 3-4 раза в режиме «трение со скольжением», а при температуре 600 °С – на один-два порядка в режиме «трение с большим износом», по сравнению со скоростью износа при 400 °С без облучения. Это обусловлено, как влиянием окислительной среды (кислород), так и структурными изменениями в углеродных материалах, обусловленные влиянием ионизирующего излучения (электроны). Наличие структурных изменений, связанных с ионизирующим излучением и влияющих на трибологические свойства материалов, можно наблюдать по данным рентгеноструктурных исследований, проведенных на исходных и облученных образцах, рис. 7,8 [16].

Таблица 1 - Результаты трибологических испытаний графитовых образцов при облучении электронами в потоке кислорода при температуре 400 °С и 600 °С в течение 1 часа

Материал	Скорость износа, $\times 10^{-5}$ мг/мм ² x с		
	$T_{\text{экспер.}} \sim 400$ °С	$T_{\text{экспер.}} \sim 400$ °С	$T_{\text{экспер.}} \sim 600$ °С
МПГ	0,12	0,45	35,6
АРВ	0,69	2,60	3,70
ГСП	3,39	10,2	36,6
УУКМ	2,81	11,7	176,8

* Без облучения

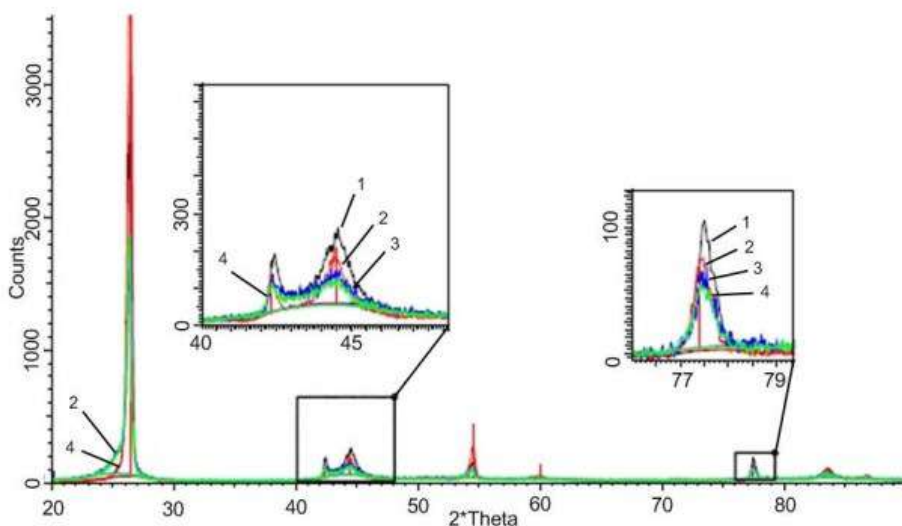


Рис. 7 – Дифракционные спектры исследованных графитовых образцов: исходный АРВ – черная линия (1); облученный АРВ – красная линия (2); исходный МПГ – синяя линия (3); облученный МПГ – зеленая линия (4). Красными вертикальными штрихами отмечены положения линий, соответствующие табличным значениям для графита

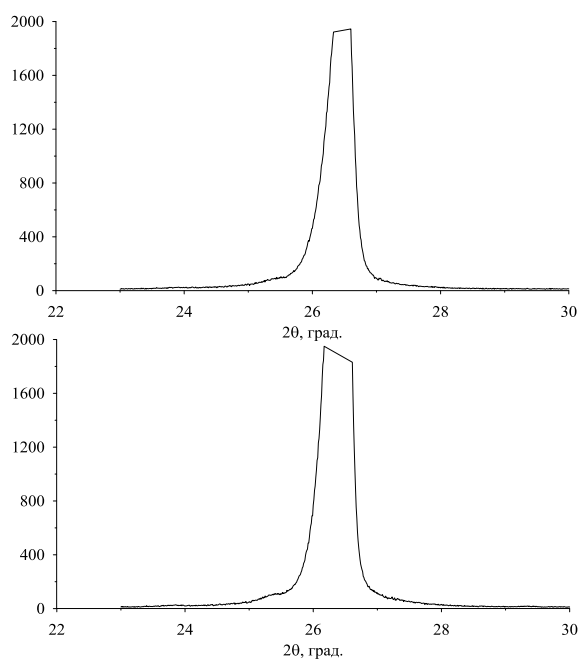


Рис. 8 – Профили линии (0002) исходного (а) и облученного (б) графита АРВ

Данные исследования были направлены на уточнение изменений происходящих в объеме исследуемых образцов. Рентгеноструктурный анализ пылевых образований на данном этапе исследований не производился. Полученные данные рентгеноструктурного анализа показывают на интенсификацию трибологических процессов, происходящих под воздействием ионизирующего излучения электронов.

Аппроксимация линий необходимым числом симметричных функций псевдо-Фойгта позволяет измерить ширину зарегистрированных линий на половине их высоты, которая характеризует совершенство кристаллической решетки обнаруженных составляющих (фаз). На рис. 8 показано изменение полуширины линий в зависимости от их углового положения, т.е. вдоль дифракционного спектра.

Следует отметить, что облучение электронами способствует повышению совершенства кристаллической структуры, что подтверждается падением полуширины в облученных образцах по сравнению с их исходным состоянием. Это может существенно влиять на результаты трибологических испытаний в виду зависимости трибологических процессов от совершенства микроструктуры.

Разработанная методика позволяет исследовать также и образование пыли графита при трибологических испытаниях углеродных материалов под облучением, что существенно для ядерных энергетических систем с ВТТР.

Выводы

Разработанная методика позволяет проводить экспресс-анализ трибологических свойств углеродных материалов при воздействии ионизирующего излучения (электронов) и окислительной среды (кислорода).

Показано существенное влияние высоких температур, радиации и кислородной среды на коррозионные и трибологические характеристики графитов и УУКМ при температурах 400-600 °С, что позволяют утверждать об учете данной методикой основных факторов, комплексно влияющих на процесс истирания.

Список литературы

1. **Davenport, M.** 3rd Advanced Graphite Creep Capsule (AGC-3) / **M. Davenport** // *Irradiation Proceedings of the 2013 14th International Nuclear Graphite Specialists Meeting INGS-M-14 (September 16 - 18 2013)*. – Seattle Wa. USA. – 2017.
2. **Neighbour, G. B.** Modelling and Measuring Reactor Core Graphite Properties and Performance / **G. B. Neighbour** // *Royal Society of Chemistry*. – 2012. – P. 214. – doi: 10.1039/9781849735179.
3. **El-Genk, M. S.** Validation of gasification model for NBG-18 nuclear graphite / **Mohamed S. El-Genk, Jean-Michel**

- P. Tournier** // *Nuclear Engineering and Design*. – 2012. – V. 250 – P. 142-155. – doi: 10.1016/j.nucengdes.2012.05.016.
4. **El-Genk, M. S.** Comparison of oxidation model predictions with gasification data of IG-110, IG-430 and NBG-25 nuclear graphite / **Mohamed S. El-Genk, Jean-Michel P. Tournier** // *Journal of nuclear materials*. – 2012. – V. 420. – P. 141-158. – doi:10.1016/j.jnucmat.2011.09.027.
5. **Wichner, R. P.** Penetration depth and transient oxidation of graphite by oxygen and water vapor / **Robert P. Wichner, Timothy D. Burchell, Cristian I. Contescu** // *Journal of Nuclear Materials*. – 2009. – V. 393. – P. 518-521. – doi:10.1016/j.jnucmat.2009.06.032.
6. **El-Genk, M. S.** Chemical kinetics parameters and model validation for the gasification of PCEA nuclear graphite / **Mohamed S. El-Genk, Jean-Michel P. Tournier, Cristian I. Contescu** // *Journal of Nuclear Materials*. – 2014. – V. 44. – P. 112-128. – doi:10.1016/j.jnucmat.2013.09.031
7. **Odeychuk, M. P.** The current state of the HTGR core component fabrication technologies in the Ukraine and some properties of materials and products / **M. P. Odeychuk, V. F. Zelenskiy, V. K. Yakovlev et. al.** // *Status and Prospects for Gas Cooled Reactor Fuels. Proceedings of two IAEA meetings held in June 2004 and June 2005, IAEA-TECDOC-CD-1614, IAEA*. – Vienna. – 2009. – P. 29-53.
8. **Odeychuk, M. P.** Graphites and CCCM for nuclear reactor plants: Ukraine's experience / **M. P. Odeychuk** // *PROCEER. Proceedings of International Conference on Ceramic Processing (December 21-24 2004)*. HRDD Guest House, Anushakti Nagar, Mumbai, India. - Bombay Metropolitan Regional Chapter, Indian Ceramic Society. – 2004. – P. 103-123.
9. **Burchell, T.** Milestone Report on the "Workshop on Nuclear Graphite Research" / **T. Burchell, N. Gallego, M. Srinivasan** // *Oak Ridge National Laboratory*. – 2009. – 20 p.
10. **Tokuhiro, A.** Experimental Study and Computational Simulations of Key Pebble Bed Thermomechanics Issues for Design and Safety / **A. Tokuhiro** // *Nuclear Energy University Programs*. – 2013. – P.83. – doi:10.2172/1157564.
11. **Kim, E.-S.** Friction coefficients of nuclear grade graphites for very high temperature gascooled reactor at room temperature / **E.-S. Kim, Y.-W. Kim** // *Nuclear Hydrogen Reactor Technology Division*. – Korea Atomic Energy Research Institute. – 2010. – 2 p.
12. **Зеленский, В. Ф.** Исследование коррозионной стойкости графитов в среде кислорода / **В. Ф. Зеленский, Н. П. Одейчук, В. К. Яковлев и др.** // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. – 2011. – №2. – С. 116-122.
13. **Зеленский, В. Ф.** Методика исследования графитовых материалов в среде кислорода под действием облучения электронами / **В. Ф. Зеленский, Н. П. Одейчук, В. К. Яковлев и др.** // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. – 2011. – №2. – С. 186-191.
14. **Зеленский, В. Ф.** Исследование коррозионной стойкости графитов под облучением электронами в потоке кислорода при температурах 600...800°С / **В. Ф. Зеленский, Н. П. Одейчук, В. К. Яковлев и др.** // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. – 2013. – №5. – С. 125-130.

15. **Berger, M. J.** Stopping-Power and Range Tables for Electrons, Protons, and Helium Ions [Электронный ресурс] / **M. J. Berger, J. S. Coursey, M. A. Zucker and J. Chang** // *NIST*. – 2005. URL: <http://physics.nist.gov/PhysRefData>
16. **Комір, А. И.** Рентгеноструктурный анализ облученного ядерного графита марки АРВ и МПГ / **А. И. Комір, Н. П. Одейчук, А. А. Николаенко** // *Восточно-Европейский журнал передовых-технологий*. – 2015. – №6/5 (78). – С. 12-16. – doi:10.15587/1729-4061.2015.55465.
8. **Odeychuk, M. P.** Graphites and CCCM for nuclear reactor plants: Ukraine's experience. *PROCER. Proceedings of International Conference on Ceramic Processing, December 21-24, 2004*. HRDD Guest House, Anushakti Nagar, Mumbai, India. Bombay Metropolitan Regional Chapter, Indian Ceramic Society, 2004, 103-123.
9. **Burchell, T., Gallego, N., Srinivasan, M.** Milestone Report on the "Workshop on Nuclear Graphite Research". *Oak Ridge National Laboratory*, 2009, 20.
10. **Tokuhiro, A.** Experimental Study and Computational Simulations of Key Pebble Bed Thermomechanics Issues for Design and Safety. *Nuclear Energy University Programs*, 2013, 83, doi:10.2172/1157564.
11. **Kim, E.-S., Kim, Y.-W.** Friction coefficients of nuclear grade graphites for very high temperature gascooled reactor at room temperature. *Nuclear Hydrogen Reactor Technology Division*, Korea Atomic Energy Research Institute, 2010, 2.
12. **Zelenskiy, V. F., Odeychuk, N. P., Yakovlev, V. K. et al.** Study of corrosion resistance graphite in oxygen. *Problems of atomic science and technology. Series: Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science*, 2011, 2, 116-122.
13. **Zelenskiy, V. F., Odeychuk, N. P., Yakovlev, V. K. et al.** Research methods of graphite materials in oxygen under irradiation of electrons. *Problems of atomic science and technology. Series: Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science*, 2011, 2, 186-191.
14. **Zelenskiy, V. F., Odeychuk, N. P., Yakovlev, V. K. et al.** Investigation of corrosion resistance of graphite under electron irradiation in the oxygen flow at the temperatures 600...800 °C. *Problems of atomic science and technology. Series: Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science*. 2013, 5, 125-130.
15. **Berger, M. J., Coursey, J. S., Zucker, M. A. and Chang, J.** Stopping-Power and Range Tables for Electrons, Protons, and Helium Ions. *NIST*, 2005. Available at: <http://physics.nist.gov/PhysRefData>
16. **Komir, A., Odeychuk, N. P., Nikolaenko A. A.** X-ray diffraction analysis of irradiated ARV and MPG nuclear grade graphite. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 6/5 (78), 12-16, doi:10.15587/1729-4061.2015.55465.

Bibliography (transliterated)

1. **Davenport, M.** 3rd Advanced Graphite Creep Capsule (AGC-3). *Irradiation Proceedings of the 2013 14th International Nuclear Graphite Specialists Meeting INGSM-14 (September 16-18 2013)*. Seattle Wa, USA, 2013.
2. **Neighbour, G. B.** Modelling and Measuring Reactor Core Graphite Properties and Performance. *Royal Society of Chemistry*, 2012, 214, doi: 10.1039/9781849735179.
3. **El-Genk, M. S., Tournier, J.-M. P.** Validation of gasification model for NBG-18 nuclear graphite. *Nuclear Engineering and Design*, 2012, 250, 142-155, doi: 10.1016/j.nucengdes.2012.05.016.
4. **El-Genk, M. S., Tournier, J.-M. P.** Comparison of oxidation model predictions with gasification data of IG-110, IG-430 and NBG-25 nuclear graphite. *Journal of nuclear materials*, 2012, 420, 141-158, doi:10.1016/j.jnucmat.2011.09.027.
5. **Wichner, R. P., Burchell, T. D., Contescu, C. I.** Penetration depth and transient oxidation of graphite by oxygen and water vapor. *Journal of Nuclear Materials*, 2009, 393, 518-521, doi:10.1016/j.jnucmat.2009.06.032.
6. **El-Genk, M. S., Tournier, J.-M. P., Contescu, C. I.** Chemical kinetics parameters and model validation for the gasification of PCEA nuclear graphite. *Journal of Nuclear Materials*, 2014, 44, 112-128, doi:10.1016/j.jnucmat.2013.09.031.
7. **Odeychuk, M. P., Zelenskiy, V. F., Yakovlev, V. K. et al.** The current state of the HTGR core component fabrication technologies in the Ukraine and some properties of materials and products. *Status and Prospects for Gas Cooled Reactor Fuels. Proceedings of two IAEA meetings held in June 2004 and June 2005, IAEA-TECDOC-CD-1614, IAEA*. Vienna, 2009, 29-53.

Сведения об авторах (About authors)

Одейчук Николай Петрович – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, НПК «ВИЭРТ», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: odeychuk@kipt.kharkov.ua.

Mykola Odeychuk – Senior Scientist, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), SPE «RESST», National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», Kharkiv, Ukraine; e-mail: odeychuk@kipt.kharkov.ua.

Яковлев Вадим Константинович – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, НПК «ВИЭРТ», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: yakovlev@kipt.kharkov.ua.

Vadim Yakovlev – Senior Scientist, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), SPE «RESST», National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», Kharkiv, Ukraine; e-mail: yakovlev@kipt.kharkov.ua.

Комір Антон Игоревич – младший научный сотрудник, НПК «ВИЭРТ», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: anton.komir@gmail.com.

Anton Komir – junior researcher, SPE «RESST», National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», Kharkiv, Ukraine; e-mail: anton.komir@gmail.com.

Одейчук Андрей Николаевич – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, НПК «ВИЭРТ», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: anodeychuk@kipt.kharkov.ua.

Andrii Odeychuk – Senior Scientist, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), SPE «RESST», National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», Kharkiv, Ukraine; e-mail: anodeychuk@kipt.kharkov.ua.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Одейчук, Н. П. Методика трибологических испытаний углеродных материалов под воздействием ионизирующего излучения и окислительной среды / **Н. П. Одейчук, В. К. Яковлев, А. И. Комир, А.Н. Одейчук** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 62-69. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.09.

Please cite this article as:

Odeychuk, N., Yakovlev, V., Komir, A., Odeychuk, A. Method of carbon materials tribological tests under the influence of ionizing radiation and oxidizing environment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 62-69, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.09.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Одейчук, М. П. Методика трибологічних випробувань вуглецевих матеріалів під впливом іонізуючого випромінювання і окислювального середовища / **М. П. Одейчук, В. К. Яковлев, А. І. Комір, А. М. Одейчук** // *Вісник НТУ «ХПИ»*, *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 62-69. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.09.

АНОТАЦІЯ З причини недостатньої вивченості питання стирання ядерного графіту як конструкційного матеріалу який використовується у ядерній енергетиці, дана робота покликає доповнити вже існуючі роботи з даного питання. В роботі наведено методику трибологічних експрес-випробувань вуглецевих матеріалів в умовах опромінення та окислювального середовища для дослідження фрикційних властивостей і пілоутворення ядерного графіту в діапазоні температур 400-800 °С.

Ключові слова: ядерний графіт; трибологічні випробування; вуглецеві матеріали; окислення; стирання.

Поступила (received) 08.02.2018

УДК 621.311

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**В. Г. СИЧЕНКО^{1*}, Є. М. КОСАРЕВ¹, О. А. ДАНИЛОВ¹, П. В. ГУБСЬКИЙ¹,
В. А. ЗУБЕНКО², М. М. ПУЛІН³**¹ Кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, УКРАЇНА² ТОВ «Автоматика-сервіс», Київ, УКРАЇНА³ Регіональна філія «Львівська залізниця», Відокремлений підрозділ «Служба електропостачання», ПАТ «Укрзалізниця», Львів, УКРАЇНА

* email: elpostz@i.ua

АНОТАЦІЯ Впровадження альтернативних джерел електричної енергії у систему тягового електропостачання розподіленого типу підвищує енергетичну ефективність та надійність функціонування, але при цьому змінюється характер протікання енергообмінних процесів, що обумовлює необхідність врахування виникаючих змін струморозподілу для налаштування уставок релейного захисту. Така необхідність викликається збільшенням струмів короткого замикання в розподіленій системі живлення електрорухомого складу за рахунок появи в системі додаткових джерел енергії. Для виключення хибних спрацьовувань та забезпечення селективності необхідно застосовувати мікропроцесорні комплекси релейного захисту, які дозволяють більш точно встановлювати уставки спрацьовування швидкодіючих вимикачів.

Ключові слова: система тягового електропостачання; постійний струм; розподілене живлення; сонячна електростанція; релейний захист.

FEATURES OF RELAY PROTECTION FUNCTION IN DISTRIBUTED TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS**V. SYCHENKO^{1*}, Ye. KOSARIEV¹, O. A. DANYLOV¹, P. V. HUBSKYI¹,
V. A. ZUBENKO², M. M. PULIN³**¹ Department "Intelligent Electrification Systems", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, UKRAINE² Ltd. «Automatics-service», Kyiv, UKRAINE³ Regional branch «Lvivska zalznitsa», Separate subdivision «Power supply service», PJSC «Ukrzaliznytsya», Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The implementation of alternative sources of electric energy into a distributed traction power supply system improves the energy efficiency, but it is necessary to solve a number of tasks: to determine their impact on the stability of the traction substations, traction and other consumers connected to the traction substation buses taking into account allowable work modes of consumers; to take into account the features of connected generation types to electric railways networks; to provide the necessary reliability level of power supply for consumers with given qualitative characteristics. In the traction network with reinforcing points, the nature of the flow of energy-exchange processes changes, which makes it necessary to take into account the forthcoming changes in the distribution to adjust the settings of relay protection. Such a necessity is caused by increased short-circuit currents in the distributed traction power supply system due to the appearance of the additional energy sources in the system. In order to exclude false positives and provide selectivity, it is necessary to apply microprocessor relay protection complexes that allow setting more accurately the settings for the operation of high-speed circuit-breaker. In order to increase the reliability of functioning, it is useful to use the remote interlocking devices that at the presence of protection dead zones, inevitably eliminate the feeding of the short circuit point in the case of failure of feeder high-speed circuit-breakers.

Keywords: traction power supply system; direct current; distributed power supply; solar power station; relay protection.

Вступ

На сьогоднішній день технічні можливості для модернізації системи тягового електропостачання (СТЕ) з централізованим живленням сягнули своєї межі, тому очевидною є необхідність переходу до концепції розподіленого живлення тягової мережі. При збереженні напруги в тяговій мережі 3 кВ сформовані декілька підходів до побудови енергетичних каналів в СТЕ з розподіленим живленням, в тому числі, і з застосуванням джерел розподіленої генерації (ДРГ).

При впровадженні ДРГ в систему тягового електропостачання постійного струму необхідно вирішувати низку завдань: визначення їх впливу на стійкість роботи тягових підстанцій, тягових і інших споживачів, приєднаних до шин тягової підстанції з урахуванням допустимих режимів роботи споживачів, врахування особливостей приєднання типів генерації до електричних мереж залізниць, забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів з заданими якісними характеристиками і т. і. [1].

Розподілена генерація в електроенергетичних системах ускладнює систему релейного захисту і

автоматики, протиаварійного управління електроенергетичною системою. Ускладнюється диспетчерське управління, його функції зміщуються на розподільну мережу. Розподільна мережа набуває рис основної мережі з властивими для неї проблемами стійкості і необхідністю її оснащення пристроями автоматики і регулювання [2-4]. Наявність розподіленої генерації в розподільній мережі дозволяє стабільніше підтримувати рівні напруги у вузлах за рахунок можливостей цих генераторів по генеруванню реактивної потужності (на відміну від традиційних розподільних мереж, в яких втрати напруги тим більше, чим далі від живлячої підстанції високої напруги). При відмові живлячої підстанції високої напруги наявність DRG в розподільній мережі дозволяє забезпечити надійне електропостачання багатьох споживачів.

Саме ці фактори привели до теоретичних досліджень щодо застосування DRG у системах тягового електропостачання розподіленого типу [5, 6], а саме, сонячних електростанцій (СЕС). В розподіленій системі електропостачання внаслідок того, що відстані між підсилюючими (або перетворювальними) пунктами (ПП) істотно менші, ніж відстані між тяговими підстанціями (ТП) в схемі централізованого живлення, змінюються умови протікання енергообмінних процесів, поліпшуються умови виявлення віддалених коротких замикань в тяговій мережі.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження особливостей робочих та аварійних режимів у системі тягового електропостачання постійного струму 3,3 кВ розподіленого типу з застосуванням сонячних електростанцій з метою розробки рекомендацій для поліпшення роботи релейного захисту в умовах збільшення інтенсивності тягових навантажень.

Результати порівняльного моделювання режимів роботи систем тягового електропостачання

Функціонування СТЕ, як відомо, відбувається в нормальному, вимушеному та аварійному режимах. Розрахунок енергетичних показників системи тягового електропостачання у нормальному та вимушеному режимах для централізованого (ЦЖ) та розподіленого живлення (РЖ) проводився на прикладі електрифікованої ділянки постійного струму, наведеної на рис. 1, 2.

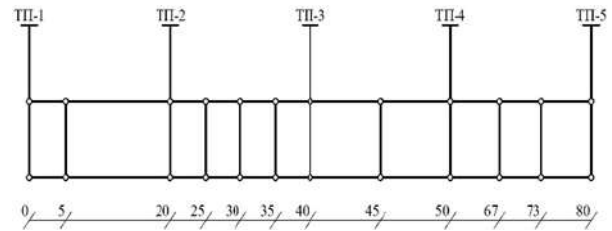


Рис. 1 – Схема розрахункової ділянки у нормальному та вимушеному режимах роботи при централізованому живленні

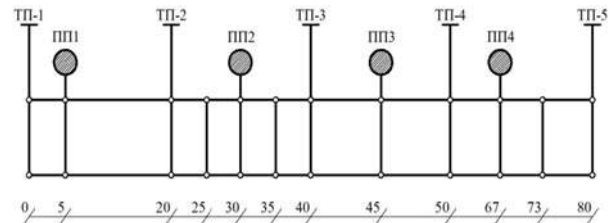


Рис. 2 – Схема розрахункової ділянки у нормальному та вимушеному режимах роботи при розподіленому живленні

Вимушений режим роботи системи тягового електропостачання представляє собою перехід однієї з тягових підстанцій в режим поста секціонування. Для розрахунку приймалися наступні вихідні дані:

- випрямлячі на тягових підстанціях працюють за дванадцятипульсною схемою випрямлення, по одному в роботі (встановлена потужність 12,5 МВт);
- тягова мережа М120+2МФ100+А185+Р65 однакова по всій довжині розрахункової ділянки;
- підсилюючі пункти однотипні, мають максимальний вихідний струм 500 А (встановлена потужність 1,5 МВт);
- розрахунок виконувався для графіка руху з трьох пар поїздів з однаковими споживаними струмами.

Для розрахунку аварійного режиму точка короткого замикання (КЗ) приймалась на 43 км. Розрахунок проводився для централізованого (рис. 3) та розподіленого живлення (рис. 4).

При розрахунку ЦЖ максимальне значення струму в точці КЗ складає 26,979 кА, мінімальне – 21,956 кА. Струми тягових підстанцій наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати розрахунку енергетичних показників

Режими роботи	Схема живлення	Значення напруги, В			Втрати енергії, кВт-год
		мінімальне	середнє	максимальне	
Нормальний	Централізоване	2480	2983	3327	3535,7
	Розподілене	2677	3141	3439	1477,5
Вимушений	Централізоване	1597	2369	3317	7232,2
	Розподілене	2232	2614	3464	2379,5

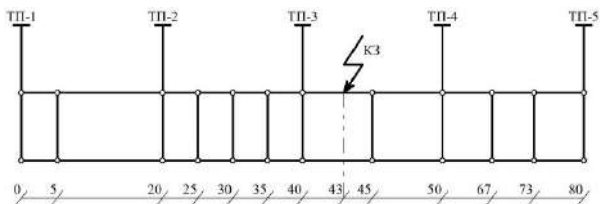


Рис. 3 – Розрахункова схема короткого замикання у централізованій схемі живлення

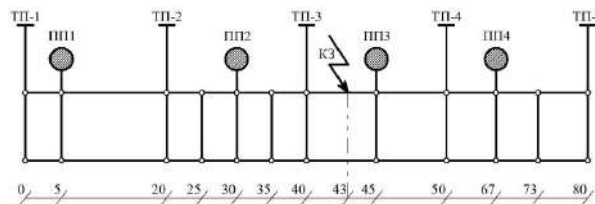


Рис. 4 – Розрахункова схема короткого замикання у розподіленій схемі живлення

Таблиця 2 – Струми тягових підстанцій при короткому замиканні

№ ТП та ПП	Централізоване живлення		Розподілене живлення	
	$I_{КЗ_{max}} = 26979 \text{ А}$	$I_{КЗ_{min}} = 21956 \text{ А}$	$I_{КЗ_{max}} = 27538 \text{ А}$	$I_{КЗ_{min}} = 24079 \text{ А}$
ТП-1	431.7	351.3	413.1	361.2
ПП-1	-	-	15.4	13.5
ТП-2	2563.0	2085.82	2533.5	2215.3
ПП-2	-	-	164.8	144.1
ТП-3	17536.4	14271.4	17679.4	15458.7
ПП-3	-	-	358.0	313.0
ТП-4	5530.7	4501.0	5452.5	4767.6
ПП-4	-	-	63.0	55.0
ТП-5	917.3	746.5	881.2	770.5

При розрахунку РЖ максимальне та мінімальне значення струму в точці КЗ зросло та досягло значень 27,538 кА і 24,079 кА відповідно. Зростання струму короткого замикання відбувається за рахунок генерації в систему додаткової потужності підсилюючими пунктами. Через установку додаткових джерел живлення також змінився струморозподіл в тяговій мережі. Струми тягових підстанцій та підсилюючих пунктів наведені в таблиці 2. Розподіл струмів для різних схем живлення наведено на рис. 5.

Як слідує з аналізу табл. 2 та рис. 5 зміна в перерозподілі струмів при застосуванні підсилюючих пунктів незначна. Дана обставина обумовлена великою різницею між встановленими потужностями тягових підстанцій і підсилюючих пунктів та, відповідно, різницею їх внутрішнього опору. Тобто, підсилюючі пункти приймають участь в підживленні точки КЗ, але основне живлення відбувається від тягових підстанцій.

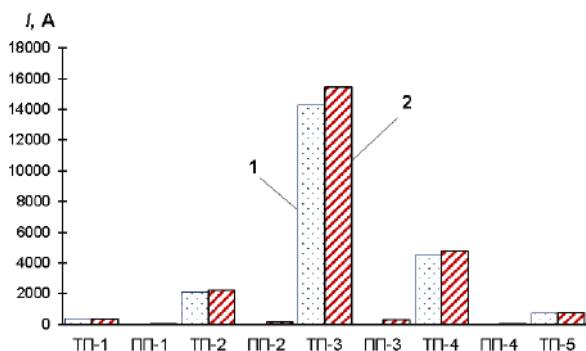


Рис.5 – Зміна розподілу струмів:
1 – централізоване живлення;
2 – розподілене живлення

Це явище необхідно враховувати при практичних розрахунках систем тягового електропостачання з розподіленими сонячними генераторами та приймати необхідні заходи щодо забезпечення селективності спрацьовування пристроїв релейного захисту на тягових підстанціях та пунктах підсилення.

Особливості функціонування захисту розподіленої мережі

Функції захисту повинні бути направлені на захист системи тягового електропостачання з розподіленою генерацією та забезпечення стабільної роботи зовнішньої електричної мережі загального призначення, при цьому не повинна порушуватися робота пристроїв релейного захисту та виключатися хибні спрацьовування [7-10]. Основним пристроєм для захисту контактної мережі постійного струму є швидкодіючі вимикачі (ШВ). Складність налаштування захисту обумовлена невеликою різницею між максимальними навантаженнями і мінімальними струмами КЗ. На практиці це приводить до значної кількості хибних спрацьовувань, що погіршує надійність електропостачання і прискорює знос комутаційного обладнання.

Захист повинен працювати надійно і селективно. В нашому випадку, при заданій точці КЗ повинен відключитися ШВ на ТП3 і на посту секціонування (ПС) - точка ПП3. Вимикач, встановлений на ТП4 є резервним по умовам селективності. Для підвищення надійності функціонування розподіленої СТЕ в даному випадку можуть бути застосовані пристрої телеблокування

між вимикачами, встановленими із обох сторін фідерної зони [11]. Телеблокування, окрім іншого, при наявності мертвих зон захисту, усуває неминуче підживлення місця короткого замикання при відмові фідерних швидкодіючих вимикачів.

Чим більша різниця між максимальними робочими струмами і мінімальними струмами КЗ, тим з більшою чутливістю працює захист, тобто зменшується кількість хибних спрацьовувань. Як видно з розрахунків (табл. 2), мінімальні струми КЗ при розподіленому живленні більші, ніж при звичайному централізованому. Крім того, при застосуванні ДРГ, зменшуються робочі струми, які протікають по фідерах підстанції, за рахунок додаткового живлення від пунктів підсилення. З цього можна зробити висновок, що використання додаткових джерел розподіленої генерації поліпшує роботу захисту тягової мережі постійного струму.

Уставка ШВ налаштовується механічними засобами з низькою точністю і, крім цього, вона залежить від стабільності струму "утримуючої" котушки. Тому налаштувати струм відключення ШВ з точністю меншою 100 А достатньо проблематично. Виходячи з цього є сенс використовувати мікропроцесорні захисти, які дозволяють достатньо просто налаштувати струм уставки з великою точністю [12].

Найбільше розповсюдження для захисту тягової мережі постійного струму 3 кВ в Україні отримали цифрові захисти МРЗС-05А-02 (ПО "Київприлад") і ЦЗАФ-3,3 (зараз ІнТер-3,3 ТОВ "НПЕФА-ЕНЕРГО"). Ці багатофункціональні мікропроцесорні захисти, незважаючи на однакові характеристики, мають ряд відмінностей. Це, насамперед, обумовлено тим, що комплект ЦЗАФ-3,3 зразу проектувався для захисту контактної мережі постійного струму з урахуванням специфіки режимів роботи тягового електропостачання. Конструктори намагалися не тільки реалізувати в одному пристрої відомі захисти фідерів постійного струму, але і поліпшити їхні характеристики. Комплект МРЗС-05А-02 створювався пізніше на базі багатофункціонального програмованого мікропроцесорного захисту МРЗС-05. Комплект МРЗС-05 має гнучку архітектуру внутрішніх зв'язків, що дає можливість активувати з набору необхідні захисти і потім програмувати логіку їхньої взаємодії, можна призначати входам і виходам різні функції.

Обидва цифрові комплекти мають діапазон регулювання уставки по струму від 500 до 8000 А. МРЗС-05А-02 дозволяє налаштувати струм уставки з дискретністю 1 А, а ЦЗАФ-3,3 - з дискретністю 50 А. Таким чином, при експлуатації розподіленої СТЕ, застосування мікропроцесорних захистів дозволяє підвищити селективність, завдяки більш точному налаштуванню.

Висновки

Застосування розподіленої системи тягового електропостачання підвищує енергетичну ефективність та дозволяє забезпечити необхідний режим напруги у вимушеному режимі роботи.

При застосуванні розподіленого живлення зменшуються робочі струми фідерів тягових підстанцій, змінюється струморозподіл в тяговій мережі та зростають струми короткого замикання за рахунок генерації в систему додаткової потужності підсилюючими пунктами, що дозволяє покращити функціонування релейного захисту тягової мережі постійного струму.

Для забезпечення більш точних рівнів уставок швидкодіючих вимикачів в розподілених системах електропостачання необхідно застосовувати мікропроцесорні захисти. Підвищити надійність функціонування захисту в розподіленій системі живлення можливо за рахунок пристроїв телеблокування, які при наявності мертвих зон захисту, усувають неминуче підживлення місця короткого замикання при відмові фідерних швидкодіючих вимикачів.

Список літератури

1. **Сиченко, В. Г.** Інтеграція сонячних електростанцій у систему тягового електропостачання постійного струму / **В. Г. Сиченко** // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – 2015. – № 12 (1121). – С. 364-368.
2. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция. URL: http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf
3. **Eissa, M. M.** New protection principle for smart grid with renewable energy sources integration using WiMAX centralized scheduling technology / **M. M. Eissa** // *International journal of electrical power & energy systems*. – 2018. – Volume 97. – p. 372-384.
4. **Ahmadzadeh-Shooshtari, B.** Comprehensive investigation of the voltage relay for anti-islanding protection of the synchronous distributed generation / **B. Ahmadzadeh-Shooshtari, M. E. Golshan, I. Sadeghkhan** // *International transactions on electrical energy systems*. – Volume 27. – Issue 11. – p. 2403.
5. **Sychenko, V. G.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / **V. Sychenko, D. Bosiy, E. Kosarev** // *The archives of transport*. 2015. – Volume 35, Issue 3. – p. 63-70.
6. Система преобразования энергии, генерируемой в полосе отчуждения железной дороги с помощью солнечных панелей / **Ю. П. Гончаров, В. Г. Сыченко, Е. Н. Косарев [и др.]** // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки : сб. науч. тр.* – 2015. – № 30, т. 2. – С. 98 – 108.
7. Расчет релейной защиты и систем автоматики в электроэнергетике. / **Е. И. Сокол, О. Г. Гриб, [и др.]** // Харьков: ФООП Панов А. М., 2017. – 412 с.
8. **Фигурнов, Е. П.** Релейная защита / **Е. П. Фигурнов**. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 565 с.
9. **Telukunta, V.** Protection Challenges Under Bulk Penetration of Renewable Energy Resources in Power

- Systems: A Review / **V. Telukunta, J. Pradhan, A. Agrawal, M. Singh et al.** // *Csee journal of power and energy systems*. – 2017. – Volume 3, Issue 4. – p. 365-379.
10. **Mokhlis, H.** Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems / **H. Mokhlis, A. H. Abu Bakar, J. J. Jamian, S. Sukumar** // *Energies*. – Volume 10, Issue 11. – p. 1864.
 11. Аппаратура автоматики и телемеханики в устройствах энергоснабжения (конструкция, наладка и эксплуатация). / Под ред. Н. Н. Василевского // М.: Транспорт, 1971. – 248 с.
 12. **Данилов, О. А.** Реалізація двозонного захисту фідерів тягових підстанцій постійного струму 3,3 кВ на мікропроцесорному комплекті. / **О. А. Данилов, Б. А. Рябокін** // *Електрифікація транспорту*. – 2011. – №2. – с.41-43.
- islanding protection of synchronous distributed generation. *International transactions on electrical energy systems*. **27**, 11, 2403.
5. **Sychenko, V. G., Bosiy, D., Kosarev, E.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current. *The archives of transport*, 2015, **35**, 3, 63-70.
 6. **Goncharov, Iu. P., Sokol, E. I., Zamaruev, V. V., et al.** Sistema preobrazovanyya enerhyy, heneryruemoy v polose otchuzhdenyya zheleznoy dorohy s pomoshch'yu solnechnykh paneley [Transformation of power generated in railways dispossesion belt by solar energy]. *Bulletin of Pryazovskiy State Technical University*, 2015, **30**, 2, 98 – 108.
 7. **Sokol, E. Y., Hryb, O. H.** Paschet releynoy zashchyty u system avtomatyky v elektroenerhetyke. Kharkiv: IE Panov A. M, 2017. - 412 p.
 8. **Fyurnov, E. P.** Releynaya zashchyta [Relay protection]. Kiev: Transport of Ukraine, 2004. - 565 p.
 9. **Telukunta, V., Pradhan, J., Agrawal, A., Singh, M., Srivani, S. G.** Protection Challenges Under Bulk Penetration of Renewable Energy Resources in Power Systems: A Review. *Csee journal of power and energy systems*, 2017, **3**, Issue 4, 365-379
 10. **Mokhlis, H., Abu Bakar, A. H., Jamian, J. J., Sukumar, S.** Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems. *Energies*, **10**, 11, 1864.
 11. **Vasylevskyy N.** Apparatura avtomatyky u telemekhanyky v ustroystvakh enerhosnabzhenyya (konstruktsyya, naladka y ekspluatatsyya). M: Transport, 1971. - 248 p.
 12. **Danylov, O. A., Ryabokin', B. A.** Realizatsiya dvozonnoho zakhystu fideriv tyahovykh pidstantsiy postyynoho strumu 3,3 kV na mikroprotsesornomu komplekti. *Transport electrification*, 2011, **2**, 41-43.

Bibliography (transliterated)

1. **Sychenko V. H.** Intehratsiya sonyachnykh elektrostantsiy u systemu tyahovoho elektropostachannya postyynoho strumu. [Integration of solar power plants into a system of DC traction power supply]. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 2015, **12** (1121), 364-368.
2. Tsentralyzovannaya u raspredelennaya generatsyya – ne alternatyva, a yntehratsyya [Centralized and distributed generation is not an alternative, but integration]. Available at: http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4_2.pdf
3. **Eissa, M. M.** New protection principle for smart grid with renewable energy sources integration using WiMAX centralized scheduling technology. *International journal of electrical power & energy systems*, 2018, **97**, 372-384.
4. **Ahmadzadeh-Shoostari, B., Golshan, M. E., Sadeghkhani, I.** Comprehensive investigation of the voltage relay for anti-

Сведения об авторах (About authors)

Сиченко Віктор Григорович – д.т.н., професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; elpostz@i.ua.

Victor Sichenko - Professor, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, head of "Intelligent power supply system"; Dnipro, Ukraine; elpostz@i.ua.

Косарев Євген Миколайович – аспірант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; kosarev@e.diit.edu.ua.

Yevhen Kosarev - postgraduate student, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, assistant of the department "Intelligent power supply systems"; Dnipro, Ukraine; kosarev@e.diit.edu.ua.

Данилов Олексій Анатолійович – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, старший викладач кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; fduch@ua.fm.

Oleksiy Danilov – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, senior lecturer of the department "Intelligent power supply systems"; Dnipro, Ukraine; fduch@ua.fm.

Губський Петро Вячеславович – аспірант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; peter.gybaskiy@gmail.com.

Puotr Gubsky – Postgraduate Student, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Department "Intelligent Electric Supply Systems"; Dnipro, Ukraine; peter.gybaskiy@gmail.com.

Зубенко Василь Анатолійович – ТОВ «Автоматика-сервіс», Київ, Україна; vas@zva.dp.ua.

Vasyl Zubenko – "Automatics-service" Ltd, Kiev, Ukraine; vas@zva.dp.ua.

Пулін Микола Миколайович – Регіональна філія «Львівська залізниця», Відокремлений підрозділ «Служба електропостачання», ПАТ «Укрзалізниця», Львів, Україна.

Mykola Pulin - Regional branch "Lvivska zaliznitsa", Separate subdivision "Power supply service", PJSC "Ukrzaliznytsya", Lviv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сиченко, В. Г. Особливості функціонування релейного захисту в розподілених системах тягового електропостачання / **В. Г. Сиченко, Є. М. Косарев, О. А. Данилов, П. В. Губський, В. А. Зубенко, М. М. Пулін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 70-75. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

Please cite this article as:

Sychenko, V. G., Kosariev, Ye. M., Danilov, O. A., Gubskiy, P. V., Zubenko, V. A., Pullin, M. M. Features of relay protection function in distributed systems of type electrical supply. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 70-75, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сыченко, В. Г. Особенности функционирования релейной защиты в распределенных системах тягового электроснабжения / **В. Г. Сыченко, Е. Н. Косарев, А. А. Данилов, П. В. Губский, В. А. Зубенко, Н. Н. Пулин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 70-75. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

АННОТАЦИЯ Внедрение альтернативных источников электрической энергии в систему тягового электроснабжения распределенного типа повышает энергетическую эффективность и надежность функционирования, но при этом изменяется характер протекания энергообменных процессов, что обуславливает необходимость учета возникающих изменений токораспределения для настройки уставок релейной защиты. Такая необходимость вызывается увеличением дополнительных источников энергии. Для исключения ложных срабатываний и обеспечения селективности необходимо применять микропроцессорные комплексы релейной защиты, которую позволяют более точно устанавливать уставки срабатывания быстродействующих выключателей.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения; постоянный ток; распределенное питание; солнечная электростанция; релейная защита.

Поступила (received) 05.03.2018

УДК 621.3

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.11

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦІ

Б. О. СТИСЛО

Кафедра «Промислова і біомедична електроніка» НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
email: bohdanstyslo@gmail.com

АНОТАЦІЯ Пульсуючий характер потужності, що споживається в мережі електропостачання залізниці є причиною появи пульсацій напруги в контактній мережі. Це призводить до зниження ефективності енергосистеми. Для компенсації пульсацій потужності в мережі електропостачання залізниці пропонується використання гібридних накопичувачів електричної енергії. Запропоновано застосування двоканальних підсилюючих пунктів з відповідною системою управління. В основу математичної моделі покладені дані реальних вимірів.

Ключевые слова: електроживлення залізниці; якість електроенергії; БСНН; двоканальний підсилюючий пункт; розподілена енергетична система; фільтр низьких частот; розділена комутація; балансування акумуляторів; енергоефективність.

THE FEATURES OF THE USE OF ENERGY STORAGE DEVICES IN THE RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM

B. STYSLO

Industrial and Biomedical department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The pulsating mode of the power consumption in the railroad power supply network is the cause of the occurrence of voltage pulsations in the contact network. This leads to a decrease in the efficiency of the energy system. The purpose of this work is to develop means to improve the quality of the electrical energy of the railroad power supply system and formulate recommendations for their use. To compensate power fluctuations in the electric power supply network of the railway, it is proposed to use hybrid electric energy storage devices. The use of two-channel additional traction power station with an appropriate control system was proposed. The basis of the mathematical model is the data of real measurements. To suppress the power pulsations in the power supply system of the railway, it was proposed to use two-channel additional traction power station. The paper presents DC-DC converter with CF and VF terminals. As a result, dynamic losses are reduced and higher operating frequencies could be achieved. The possibility to transfer power in both directions allows the topology to be applied in high power battery applications. The possibility of using a single low-pass filter for the generation of control signals for both low-frequency and high-frequency channels of system is proven. The use of effective methods of balancing voltage levels in accumulators' stack makes it possible to reduce the power of losses in the converter by 10-15%.

Keywords: railway; power quality; BESS; two channel power station; distributed energy system; low-pass filter; separated commutation; cell equalizing; power efficiency.

Вступ

Підвищення енергоефективності та зниження енергоємності залізничної галузі можливе за рахунок впровадження в існуючі системи електропостачання батарейних систем накопичення енергії (БСНН), призначених для компенсації піків споживаного струму, провалів напруги за рахунок повернення раніше запасеної енергії з накопичувача в контактну мережу. Наявність батарейних систем дозволяє здійснювати утилізацію рекуперативної енергії, інтеграцію відновлювальних джерел в наявну мережу електропостачання.

Стрімкий розвиток силових електроніки та поява на ринку нових типів накопичувачів електричної енергії дозволяють створювати сучасні енергоефективні БСНН з високими динамічними властивостями, що дозволяють покращити якість електричної енергії.

Мета роботи

На сьогоднішній день широко використовуються морально застарілі системи електроживлення залізниць, які не в змозі забезпечити високу пропускну здатність залізничного транспорту, не відповідають нормам, що висуваються для швидкісних електропоїздів. Як наслідок, відбувається збільшення потужності втрат в контактній мережі, а іноді й виходу з ладу обладнання швидкісних локомотивів. Однією з основних проблем є пікові провали рівня напруги в контактній мережі нижче припустимого рівня – 2700 В (для ділянки швидкісного руху – 2900 В) [1-2].

На рис. 1 наведено результати вимірів рівня напруги на струмоприймачі рухомого складу. Як видно, впродовж достатньо тривалого часу (18% часу руху) спостерігається провали рівня напруги нижче припустимого рівня.

Факт просадки напруги пояснюється пульсуючим характером потужності споживання. Як показано в [4 7], пульсуючий характер потужності призводить до збільшення потужності втрат, і має бути скомпенсованим.

Існують відомі шляхи компенсації пульсацій потужності: установка додаткових трансформаторних підстанцій в місцях найбільшої просадки напруги; підвищення потужності контактної мережі за допомогою додаткового контактної дроту; використання акумуляторних підсилюючих пунктів.

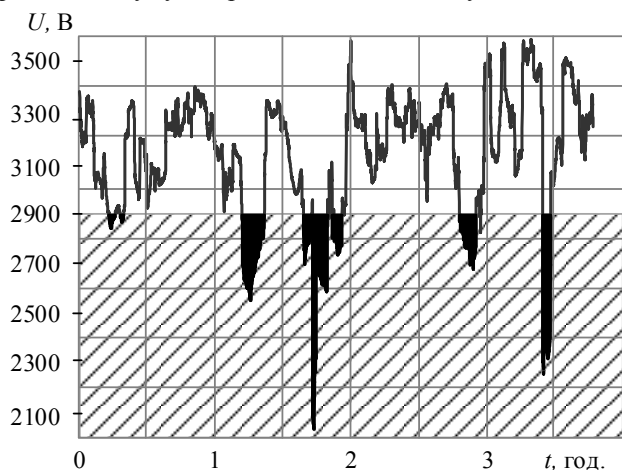


Рис. 1 – Рівень напруги на струмоприймачі

Найбільш раціональним шляхом вирішення проблеми, на думку автора, є застосування додаткових акумуляторних підсилювальних пунктів у місцях найбільш ймовірної просадки напруги: в місцях з інтенсивним рухом вантажних поїздів; в нерівнинній місцевості (прикладом може бути ділянка Львівської залізниці). Використання БСНЕ потребує застосування спеціалізованих перетворювачів.

Реалізація поставленої задачі

Частотні характеристики підсилювального пункту. Незважаючи на широку номенклатуру акумуляторних накопичувачів електричної енергії, специфіка використання їх в енергетиці накладає досить серйозні обмеження на вибір типу акумулятора: висока енергоємність; термін служби акумуляторної батареї (без обслуговування); відсутність «ефекту пам'яті»; допустимість режимів швидкого заряду батареї; здатність працювати в режимі великих струмових перевантажень; безпека використання; низька вартість. До 2003 р. найпрогресивнішими вважалися літій-іонні акумулятори, що мали найбільш високі енергетичні показники. На сьогоднішній день перевага надається $LiFePO_4$ акумуляторним батареям, що поєднують в собі всі переваги літій-іонних акумуляторів, є вибухо- і пожегобезпечними, дозволяють здійснювати до

7000 зарядо-розрядних циклів за умови дотримання вимог використання.

Експериментальні дослідження [9] показали, що літій-залізофосфатні акумулятори мають достатньо високі часові характеристики, проте, для компенсації пульсацій потужності в широкому частотному діапазоні з одночасним зменшенням зарядо-розрядних циклів акумуляторів, рекомендовано застосування в складі підсилювальних пунктів двох різних видів накопичувачів: акумуляторів і двошарових електролітичних конденсаторів.

Пропонований метод синтезу гібридного накопичувача ґрунтується на аналізі існуючих статистичних даних струму і напруги контактної мережі в місці підключення до неї споживача. Маючи інформаційний масив вимірювань споживаної нелінійним навантаженням потужності, в спектральному діапазоні ефективної роботи накопичувачів різних типів - $dF1$, $dF2$ (рис. 2). Очевидно, що отримана спектрограма при досить великій вибірці даних буде адекватно відображати вплив навантаження на контактну мережу на контрольованій ділянці.

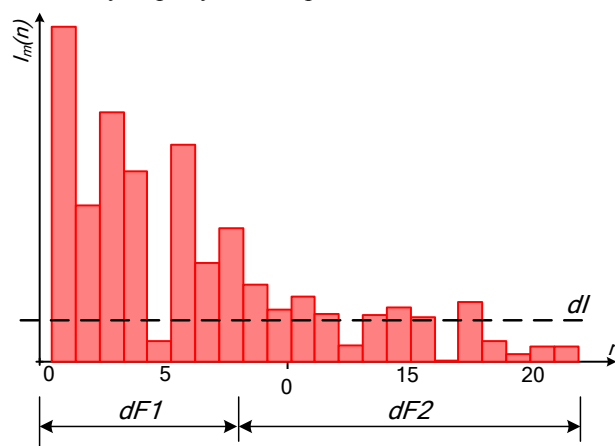


Рис. 2 – До пояснення методики синтезу гібридного накопичувача

Повна ємність гібридного накопичувача визначається інтегральною сумою вибірок споживаного з мережі струму в заданому діапазоні частот. Задаючись в спектрограмі діапазоном частот і мінімально значущою амплітудою гармоніки (dI), можна дати оцінку величині енергії, яка має бути прийнята (віддана) конкретним типом накопичувача. Таким чином, процентне співвідношення ємностей кожного з типів накопичувачів визначається як відношення інтегральної суми амплітуд гармонік у всьому частотному діапазоні до інтегральної суми амплітуд гармонік в заданому частотному діапазоні dF .

Структурна схема підсилюючого пункту. Як зазначалося вище, завданням підсилюючого пункту є компенсація втрат в лінії постійного струму і мінімізація амплітуди змінної складової потужності за

рахунок раніше збереженої енергії в електрохімічних накопичувачах електричної енергії. Для ефективного використання гібридного накопичувача доцільне використання кооперативних перетворювачів [11].

На рис. 3 наведено структурну схему підсилюючого пункту, що містить у своєму складі два типи накопичувачів електричної енергії. Кожен з накопичувачів підключено через узгоджуючий перетворювач до контактної мережі. Керування перетворювачами здійснюється від спільної системи керування.

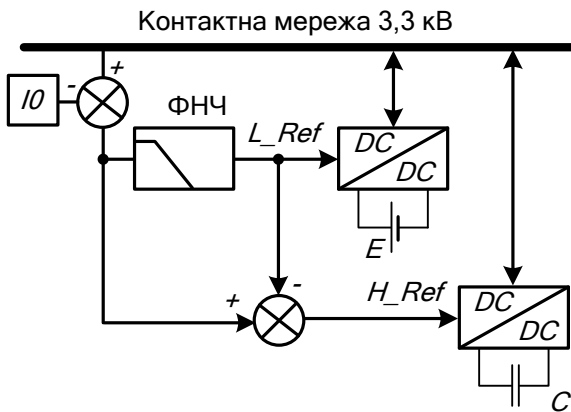


Рис. 3 – Структурна схема реалізації підсилюючих пунктів

Елемент ФНЧ являє собою цифровий фільтр низької частоти. Він призначений для відокремлення низькочастотної складової пульсації струму і формування сигналу для узгоджуючого перетворювача, що обслуговує низькочастотний канал системи. Джерелом живлення низькочастотного каналу системи є $LiFePO_4$ акумулятори. Частотний поділ, насамперед, дозволяє збільшити ресурс акумуляторної батареї за рахунок оптимізації заряд-розрядних циклів.

Результат алгебраїчного віднімання низькочастотного сигналу завдання із вхідного сигналу використовується у якості сигналу завдання для керування перетворювачем, що обслуговує високочастотний канал. Джерелом живлення високочастотного каналу є двошарові електролітичні конденсатори.

Типовим часом заряд-розряд двошарових конденсаторів є одиниці – десятки секунд. З огляду на це, частота зрізу ФНЧ приймається рівною 1/60 Гц. Можливе збільшення або зменшення частоти зрізу ФНЧ в достатньо широких границях. Фактично, це призводить лише до збільшення встановленої потужності конкретного типу накопичувача.

Наявність фільтра призводить до появи часового зсуву між сигналами на його вході і виході [10]. Наявність зсуву в сигналі завдання перетворювача по відношенню до низькочастотної змінної складової, яка підлягає фільтрації, породжує

додаткові пульсації, які переходять в високочастотну область і, практично, повністю компенсується перетворювачем високочастотного каналу системи (рис. 3).

Таке рішення дозволяє використовувати ФНЧ досить високого порядку не вносячи додаткові високочастотні спотворення в сигнал, що фільтрується. Оскільки в запропонованій системі використовується регулювання по обуренню, що передбачає пропорційність сигналу завдання перетворювача і його вихідного сигналу, то зі збільшенням порядку фільтра також збільшується встановлена потужність високочастотного каналу системи.

Узгоджуючий перетворювач. Підвищення частоти перетворення супроводжується пропорційним зростанням динамічних втрат силових напівпровідникових ключів силових комутаторів перетворювача. Обмеження динамічних втрат ключів може досягатися шляхом застосування різних видів снаберів. Іншим варіантом зниження комутаційних втрат є використання технології розділеної комутації [12].

Особливості системи електроживлення залізниці (лінія постійного струму 3,3 кВ) обмежують застосування схем на основі *DAB* (*dual-active-bridge converters*). В якості узгоджуючого *DC/DC* перетворювача, що забезпечує зв'язок між накопичувачами електричної енергії та контактною мережею пропонується структура перетворювача, що реалізує алгоритм розділеної комутації (рис. 4).

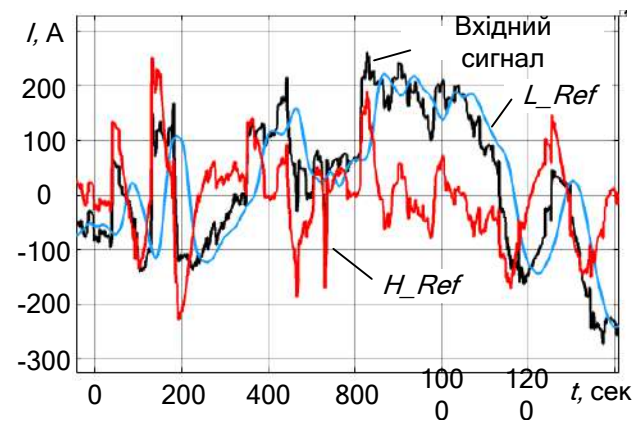


Рис. 4 – Машинограми струмів підсилюючого пункту

Схема складається з двох комутаторів з розділовим трансформатором. Перший комутатор представляє собою мостовий інвертор струму (*VT1-VT4*), другий - виконаний по топології мостового інвертора напруги (*VT7-VT10*).

В результаті реалізації запропонованого в [12] алгоритму керування, в кожному з комутаторів відбувається однорідна комутація: вимикання ключів інвертора струму в режимі комутації при нульовому струмі – Zero Current Switching (ZCS) і включення

ключів інвертора напруги в режимі комутації при нульовій напрузі – Zero Voltage Switching (ZVS).

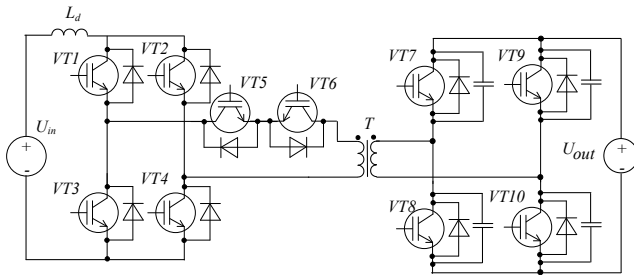


Рис. 5 – Схема узгоджуючого перетворювача

Втрати при примусовому включенні ключів інвертора струму і виключенні ключів інвертора напруги обмежені бездисипативними снаберами. Функцію індуктивного снабера в ланці інвертора струму виконує індуктивність розсіювання розділового трансформатора T . Такий підхід до побудови схеми дозволяє мінімізувати потужність втрат в силових напівпровідникових ключах.

Проблеми, що виникають при експлуатації накопичувачів з'єднаних за послідовною схемою. Максимальні значення напруги на одиничному елементі будь-якого електрохімічного накопичувача електричної енергії є досить малими. Наприклад, для $LiFePO_4$ максимальне значення напруги складає 3,65 В. Тому, при використанні їх в потужних енергетичних підстанціях одиничні накопичувачі з'єднують в послідовні стеки. При послідовному включенні накопичувачів, процес заряду (розряду) відбувається однаковим значенням струму. Через неминучі відмінності в хімічній структурі накопичувачів, це призводить до значного розкиду значень напруги на кожному з послідовно з'єднаних елементів. Відомо, що правильна експлуатація акумуляторних батарей на основі літію дозволяє збільшити їх ресурс від 2 до 7 тис. зарядо-розрядних циклів. Одним з факторів, що знижують час життя накопичувачів є періодичний вихід за припустимі межі напруги. Для нормального функціонування акумуляторних батарей необхідне застосування спеціалізованих перетворювачів, що вирівнюють значення напруги на послідовно з'єднаних акумуляторах – балансірів. Існують два методи балансування батарей: активний і пасивний. При пасивному балансуванні вся надлишкова енергія батарей з надмірним зарядом розсіюється у вигляді тепла, що, безумовно, є основним недоліком даного методу. Активний метод балансування передбачає передачу енергії від батарей з надлишковим зарядом до менш заряджених батарей. У якості буферних елементів використовуються індуктивності або конденсатори, втрати енергії в яких незначні. Існуючі схеми активних балансірів можна поділити на групи за типом буферного елемента: ємнісні; індуктивні;

трансформаторні (як окремий випадок індуктивних балансірів).

Для порівняння ефективності застосування ємнісного та індуктивного буферного елемента, розглянемо схеми рис. 4, в яких виконується умова $U_{B2} > U_{B1}$. Обидві схеми, що наведені на рис. 4 є двотактними. На першому такті роботи (ключ в початковому положенні) енергія від акумулятора $B2$ запасється в буферному елементі, на другому такті (ключ перемикається у напрямку стрілки) енергія від буферного елемента надходить до акумулятора $B1$.

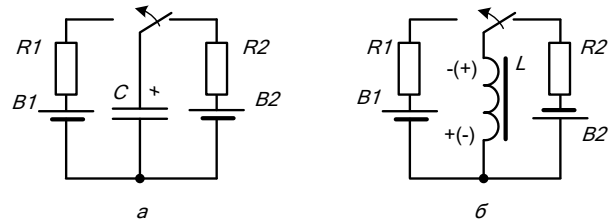


Рис. 6 – До пояснення принципу активного балансування: а – схема на основі ємнісного елемента; б – схема на основі індуктивного елемента.

Проаналізувавши електромагнітні процеси, що протікають в схемах, можна отримати аналітичні вирази, що описують зміну зарядного (I_{ch}) та розрядного (I_{disch}) струмів в обох схемах. На основі отриманих виразів, визначимо ефективність застосування того чи іншого типів буферних елементів:

$$I_{C_ch} = \frac{e^{-\frac{t}{C \cdot R2}} \cdot (E2 - E1)}{R2} \quad (1)$$

$$I_{C_disch} = \frac{e^{-\frac{t}{C \cdot R1}} \cdot (E1 - E2)}{R1} \quad (2)$$

$$I_{L_ch} = -\frac{E2 \cdot e^{-\frac{t \cdot R2}{L}} - 1}{R2} \quad (3)$$

$$I_{L_disch} = i_0 - \frac{\left(e^{-\frac{R1t}{L}} - 1 \right) \cdot (E1 - i_0)}{R1} \quad (4)$$

Завдавшись параметрами напруги на акумуляторах, ємністю буферного елемента (рис. 6, а) та частотою перетворення, можна визначити діюче значення струму, що протікає в схемі з ємнісним буферним елементом. Якщо завдатися тим самим діючим значенням струму для індуктивного балансіра (виконується умова рівності потужності втрат у двох випадках), можна визначити необхідну індуктивність, що забезпечить рівність струмів у двох схемах. Критерієм ефективності будемо вважати

відносну величину енергії W^* , що передається між акумуляторами $B2$ і $B1$ за один такт роботи перетворювача у двох схемах.

$$W^* = W_L / W_C, \tag{5}$$

де W_L та W_C – величина енергії, що передається за один такт відповідно індуктивним та ємнісним буферним елементом при однаковому значенні діючого струму.

Виконавши розрахунки для двох акумуляторів з гранично припустимим рівнем розбалансування ($U_{B2} = 3,65$ В; $U_{B1} = 2,0$ В), отримуємо значення $W^* = 7$. При меншому значенні розбалансування критерій збільшується, і досягає свого максимального значення 1000 при $U_{B2} \approx U_{B1}$.

Проведені розрахунки однозначно свідчать про слабку ефективність використання ємнісних буферних елементів у порівнянні з індуктивними в схемах активних балансирів.

Режими роботи активного балансира з адресною передачею заряду між акумуляторами стека. Для балансування послідовно з'єднаних акумуляторів рекомендовано використання активного балансира, що дозволяє виконувати балансування будь-якої пари акумуляторів стека [13]. Перетворювач являє собою N (за кількістю акумуляторів в стеку) зворотньоходових перетворювачів, дросель-трансформатори яких мають спільне осердя (рис. 7). Принцип керування ключами подібний до принципу (рис. 4, б). Інтелектуальна система балансування обраховує ще на початку балансування рівень напруги u_{eq} , до якого відбувається балансування.

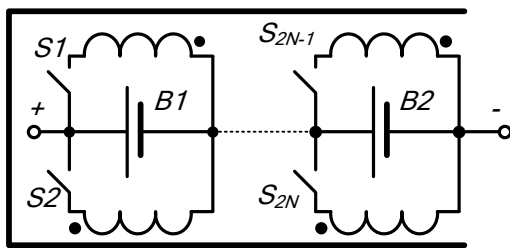


Рис. 7 – Схема активного балансира з адресною передачею заряду (для N акумуляторів)

Величина u_{eq} дозволяє визначити які з акумуляторів мають надлишковий запас заряду (є донорами), а які потребують додаткового заряду (є акцепторами) а також завершити процес передачі енергії при досягненні під час балансування на одному з акумуляторів рівня напруги u_{eq} . На прикладі n послідовно з'єднаних конденсаторів, значення напруги балансування має бути визначене через величину їх енергій на початку балансування, на підставі припущення, що під час балансування енергія втрат відсутня:

$$u_{eq} = \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^n u_i^2}}{n} \tag{6}$$

де u_i – значення напруги на кожному з накопичувачів на початку процесу балансування.

При балансуванні акумуляторних батарей методика визначення напруги наприкінці балансування залишається тією ж, за винятком визначення енергії акумулятора, що визначається інтегруванням струму через акумулятор.

Система керування BMS реалізує алгоритм прогнозного регулятора, що дозволяє зменшити кількість датчиків в системі, обмежившись лише одним – датчиком напруги на вимірювальній обмотці трансформатора. Всі інші параметри схеми (струм заряду, розряду, рівень розбалансування та величині внутрішній опір кожної батареї) обчислюються цифровою системою керування. Для зменшення потужності статичних втрат в силових ключах схеми використовуються синхронні випрямлячі. Зменшення потужності динамічних втрат досягається специфікою режиму роботи перетворювача - його роботою в режимі гранично-переривчастого магнітного поля – фактично, в режимі нуля струму. Оскільки в процесі балансування змінюються рівні напруги на акумуляторах, які балансуються, то для забезпечення гранично-переривчастого режиму роботи перетворювача коефіцієнт заповнення імпульсів керування силовими ключами D має визначатися системою керування на кожному такті ШІМ і становить:

$$D = \frac{u_{min}}{u_{min} + u_{max}}, \tag{7}$$

де D – коефіцієнт заповнення ШІМ; u_{min} , u_{max} – відповідно, значення напруги на акумуляторах, між якими відбувається передача енергії.

Максимальне припустиме значення струму I_m обмежується індуктивністю L дросель-трансформатора, і за умови постійного значення періоду ШІМ T , мінімальне значення індуктивності визначаються за (8):

$$L = \frac{0,5 \cdot T \cdot U}{i_m}, \tag{8}$$

де U – максимально припустиме значення напруги на акумуляторі; T – період перетворення ШІМ; I_m – амплітудне значення струму балансування.

Таким чином, при незмінній частоті перетворення амплітудне значення струму гарантовано буде не більшим за задане в (8), що дозволяє не використовувати в системі індивідуальні датчики струму для кожного з накопичувачів.

Оптимізація роботи активного балансира з адресною передачею заряду між акумуляторами стека. Оскільки для кожної можливої пари «донор-

акцептор» значення коефіцієнту заповнення D різне, має різне значення, відповідно, і діюче значення струму балансування. Це означає, що існують пари «донор-акцептор», при балансуванні яких на поточному кроці буде виділено менше значення потужності втрат P_{st} в елементах схеми. Цей факт дозволяє виконувати оптимізацію процесу балансування, обираючи кожного разу таку пару, щоб виконувалась умова $P_{st} = \min$.

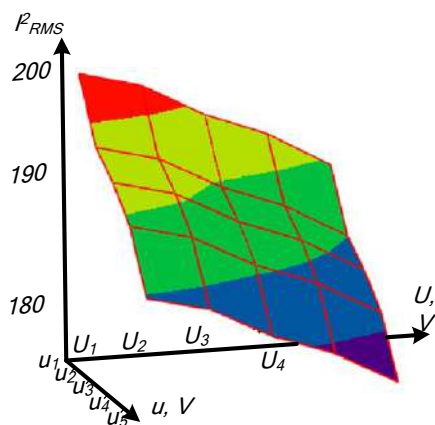


Рис. 8 - Значення величини, що характеризує потужність втрат для різних пар «донор-акцептор»

У якості апарату оптимізації можна доцільно використовувати математичну задачу лінійного програмування про пошук оптимального розподілу однорідних об'єктів між джерелами і споживачами (задача Монжа-Кантаровича). На першому етапі необхідно сформулювати оптимізаційну матрицю, елементами якої є відповідні значення квадрату діючого значення струму, як величини, пропорційної потужності втрат. На кожному етапі балансування необхідно перераховувати елементи матриці та пошук серед них мінімального значення. Кількісною мірою доцільності оптимізації за потужністю втрат K_p є відношення:

$$K_p = \frac{\max(I_{RMS}^2)}{\min(I_{RMS}^2)}, \quad (9)$$

За наведеною методикою проаналізовано величину I_{RMS}^2 для кожної з 25 можливих пар «донор-акцептор» для десяти послідовно з'єднаних акумуляторів, з рівнем збалансованості 80%. Величина критерію K_p для даного прикладу становить 1.42, що свідчить про доцільність застосування алгоритму оптимізації процесу балансування (рис. 6)

Висновки

Для пригнічення пульсацій потужності в системі електропостачання залізниці запропоновано застосування двоканальних підсилюючих пунктів.

Доведено можливість застосування одного ФНЧ для формування сигналів керування як низькочастотним так і високочастотним каналами. Застосування ефективних методів балансування рівнів напруги на одиничних акумуляторах стека дозволяє зменшити потужність втрат в перетворювачі на 10-15%

Список літератури

1. **Sychenko, V.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / **V. Sychenko** // *The archives of transport*. – 2015. – 3. – p. 63-70.
2. **Сиченко, В.** Дослідження режимів напруги в системі тягового електропостачання постійного струму / **В. Сиченко** // *Електро-фікація транспорту*. – 2016. – 11.
3. **Rashid, M. H.** Power electronics handbook: devices, circuits, and applications / **M. H. Rashid**. handbook 3rd. ed. Elsevier Inc., 2011. – 1389 p.
4. Architecture and control of a high energy density buffer for power pulsation decoupling in grid-interfaced applications / **Q. Shibin, L. Yutian, C. Barth, et al.** // *Proc. Of 16th IEEE workshop on Control Model. Power Electron. (COMPEL)*. – 2015. – pp. 1–8.
5. **Neumayr, D.** Ultra Compact Power Pulsation Buffer for Single-Phase DC/AC Converter Systems / **D. Neumayr, D. Bortis, J. W. Kolar** // *Proceedings of the 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC 2016-ECCE Asia)*, May 22-25, 2016, Hefei, China. – 2016.
6. Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions," in IEEE Std 1459-2010 (Revision of IEEE Std 1459-2000), 2010, pp. 1-50.
7. **Li, Z.** Development of DC/DC Converter for Battery Energy Storage Supporting Railway DC Feeder Systems / **Z. Li, S. Hoshina** // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 2016. – V.52. – p. 4218 – 4224. – doi: 10.1109/TIA.2016.2582724.
8. **Fang, J.** A Battery/Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System for Implementing the Power Management of Virtual Synchronous Generators / **J. Fang, Y. Tang, H. Li, X. Li** // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2017. – Vol.33. – P. 2820 – 2824. – doi: 10.1109/TPEL.2017.2759256.
9. **Sokol, Y.** The specificity of electrical energy storage unit application / **Y. Sokol et al.** // *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. – 2017. – doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100524.
10. **Zamaruiev, V. V.** The use of the dirichlet kernel in the control systems of active filters for industrial power line / **V. V. Zamaruiev** // *Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE XXXIII International Scientific Conference*. – 2013. – doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552048.
11. **Romero-Cadaval, E.** Cooperative converters in power electronic systems / **E. Romero-Cadaval, M. I. Milanés-Montero** // *12th Biennial Baltic Electronics Conference*, Tallinn. – 2010. – pp. 51-60. – doi: 10.1109/BEC.2010.5630917.
12. **Ivakhno, V.** Bidirectional isolated ZVS DC-DC converter with auxiliary active switch for high-power energy storage applications / **V. Ivakhno, V. Zamaruiev, B. Styslo** // *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. – 2017. – doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100315.

13. **Сокол, Є., Стисло, Б.** Патент на корисну модель UA 117731U. Активний балансир (10.07.17., Бюл. №13).

Bibliography (transliterated)

1. **Sychenko, V.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current. *The archives of transport*, 2015, **3**, 63-70.
2. **Sychenko, V.** Doslidzhennya rezhymiv napругy v systemi tyahovoho electropostachnyya postijnoho strumy. *Elektrophickatsiya transportu*, 2016, **11**.
3. **Rashid, M. H.** Power electronics handbook: devices, circuits, and applications. handbook 3rd. ed. Elsevier Inc. 2011, 1389 p.
4. **Shibin, Q., Yutian, L., Barth, C., et al.** Architecture and control of a high energy density buffer for power pulsation decoupling in grid-interfaced applications, *Proc. Of 16th IEEE workshop on Control Model. Power Electron. (COMPEL)*, 2015, 1-8.
5. **Neumayr, D., Bortis, D., Kolar, J. W.** Ultra Compact Power Pulsation Buffer for Single-Phase DC/AC Converter Systems. *Proceedings of the 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC 2016-ECCE Asia), May 22-25, 2016*, Hefei, China, 2016.
6. Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, in IEEE Std 1459-2010 (Revision of IEEE Std 1459-2000), 2010, 1-50.
7. **Li, Z., Hoshina, S.** Development of DC/DC Converter for Battery Energy Storage Supporting Railway DC Feeder Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2016, **52**, 4218 – 4224, doi: 10.1109/TIA.2016.2582724.
8. **Fang, J., Tang, Y., Li, H., Li, X.** A Battery/Ultracapacitor Hybrid Energy Storage System for Implementing the Power Management of Virtual Synchronous Generators. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2017, **33**, 2820 – 2824, doi: 10.1109/TPEL.2017.2759256.
9. **Sokol, Y. et al.** The specificity of electrical energy storage unit application. *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100524.
10. **Zamaruiev, V. V.** The use of the dirichlet kernel in the control systems of active filters for industrial power line. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE XXXIII International Scientific Conference*, 2013, doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552048.
11. **Romero-Cadaval, E. and Milanés-Montero, M. I.** Cooperative converters in power electronic systems, *12th Biennial Baltic Electronics Conference*, Tallinn, 2010, 51-60, doi: 10.1109/BEC.2010.5630917.
12. **Ivakhno, V., Zamaruiev, V., Styslo, B.** Bidirectional isolated ZVS DC-DC converter with auxiliary active switch for high-power energy storage applications. *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2017, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100315.
13. **Sokol, I., Styslo, B.** *Aktivnyy balansyr. Patent na korysnu model UA 117731U (10.07.17., Bul. №13).*

Відомості про авторів (About authors)

Стисло Богдан Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри «Промислова і біомедична електроніка»; м. Харків, Україна; e-mail: bohdanstyslo@gmail.com.

Bohdan Styslo – Assistant, Department of “Industrial and Biomedical Electronics”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: bohdanstyslo@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Стисло, Б. О. Особливості застосування накопичувачів електричної енергії в системі електропостачання залізниці / **Б. О. Стисло** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 76-82. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.11.

Please cite this article as:

Styslo, B. The features of the use of energy storage devices in the railway power supply system. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 76-82, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.11.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Стысло, Б. А. Особенности использования накопителей электрической энергии в системе электроснабжения железной дороги / **Б. А. Стысло** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 76-82. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.11.

АННОТАЦИЯ Пульсирующий характер потребляемой мощности в сети электроснабжения железной дороги является причиной появления пульсаций напряжения в контактной сети. Это приводит к снижению эффективности энергосистемы. Для компенсации пульсаций мощности в сети электроснабжения железной дороги предлагается использование гибридных накопителей электрической энергии. Предложено применение двухканальных усиливающих пунктов с соответствующей системой управления. В основу математической модели положены данные реальных измерений.

Ключевые слова: электроснабжение железной дороги; качество электроэнергии; БСНЭЭ; двухканальный усиливающий пункт; распределенная энергетическая система; фильтр нижних частот; разделенная коммутация; балансировка аккумуляторов; энергоэффективность.

Поступила (received) 9.03.2018

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНО-ВИРОБНИЧОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

О. В. ХЛАНЬ¹, М. А. ТКАЧУК², А. В. ГРАБОВСЬКИЙ²

¹ генеральний директор ДП "Завод ім. В.О. Малишева", м. Харків, УКРАЇНА

² кафедра теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, УКРАЇНА

*email: tma@tmm-sapr.org

АНОТАЦІЯ У роботі наведено удосконалення методу узагальненого параметричного моделювання та виготовленні бойових броньованих машин на основі доповнення параметричного простору технологічно-виробничими чинниками. Проведено формування задачі та узагальнення критеріїв при обґрунтуванні технічних рішень для елементів бойових броньованих машин, а також технологічних систем для їх виготовлення. Прийнято до уваги режими бойового застосування та характеристики засобів ураження. Створено узагальнені параметричні моделі досліджуваних елементів бойових броньованих машин. Визначено алгоритм обґрунтування раціональних технічних рішень на етапах їх проектування, технологічної підготовки виробництва і виготовлення

Ключові слова: бойова броньована машина; тактико-технічна характеристика; параметричне моделювання; бойове застосування; засіб ураження; технологічна система

THEORETICAL BASIS FOR DESIGN-TECHNOLOGICAL-PRODUCTION SUPPORT OF TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FIGHTING ARMORED VEHICLES

О. KHLAN¹, М. TKACHUK², А. GRABOVSKIY²

¹ General Director of State Enterprise "Plant named after V.O. Malyshev", Kharkiv, UKRAINE

² Department of Theory and Systems of Automated Designing of Mechanisms and Machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The method of generalized parametric modeling and manufacturing of armored fighting vehicles is improved. This improvement is based on the replenishment of the parametric space by technological and production factors. The formation of the task set and the generalization of criteria for justification of technical solutions for elements of armored fighting vehicles are carried out, as well as technological systems for their manufacture. Regimes of fighting use and characteristics of weapons of destruction are taken into account. Generalized parametric models of investigated elements of armored fighting vehicles are created. An algorithm for substantiating rational technical solutions at the stages of their design, technological preparation of production and manufacturing is defined. The principle for balancing of technical solutions at all life cycle stages of armored combat armored vehicles has been developed to formulate recommendations. It provides the achievement of maximum values of minimum level of characteristic at each stage and sub-stages in design, technological preparation of production and production of armored fighting vehicles. In addition, the criterion for parameter justifying is proposed for determination of rational technical solutions that are weakly sensitive to the variation of design parameters.

Keywords: fighting armored vehicle; tactical and technical characteristic; parametric modeling; fighting application; means of destruction; technological system

Вступ

Забезпечення тактико-технічних характеристик (ТТХ) бойових броньованих машин (ББМ) [1, 2] є результатом взаємодії проектних і технологічних рішень, а також виробничих умов, які є супутніми в умовах конкретного підприємства [2]. Реалізація ТТХ відбувається безпосередньо у процесі бойового застосування [3–7]. При цьому слід приймати до уваги режими бойового застосування та характеристики засобів ураження [8–10].

Таким чином, необхідно враховувати усю сукупність чинників, що впливають на кінцеві прояви ТТХ: проектні, технологічні, виробничі, умови

бойового застосування та властивості засобів ураження. Серед цієї множини чинників у літературі недостатня увага приділяється саме проектно-технологічно-виробничим чинникам, з акцентом на дві останні складові, хоча вони є на сьогодні найбільш обмежувачими для досягнення заданого рівня ТТХ [11, 12]. Разом із тим розглядати ці чинники ізольовано недоцільно, оскільки потрібно враховувати взаємовплив окремих компонентів. Отже, з точки зору системного підходу необхідно враховувати усю множину значимих чинників задля одержання адекватної картини при моделюванні фізико-механічних процесів і станів у ході бойового застосування ББМ. На сьогодні ці питання не

знайшли повного вирішення у літературі. Тому у роботі описані теоретичні основи проектно-технологічно-виробничого забезпечення ТТХ бойових броньованих машин, які спрямовані на розв'язання науково-прикладної задачі, що постала перед вітчизняним бронетанкобудуванням. Це складає мету і зміст цієї роботи.

Постановка задач досліджень

Із метою розробки методів та моделей для дослідження процесів і станів елементів бойових броньованих машин передбачається:

- удосконалення методу узагальненого параметричного моделювання та виготовлення бойових броньованих машин на основі доповнення параметричного простору технологічно-виробничими чинниками;
- узагальнення критеріїв при обґрунтуванні технічних рішень для елементів ББМ, а також технологічних систем для їх виготовлення;
- формування задачі обґрунтування технічних рішень для елементів бойових броньованих машин, а також технологічних систем для їх виготовлення.

Удосконалення методу узагальненого параметричного моделювання при виготовленні бойових броньованих машин на основі доповнення параметричного простору технологічно-виробничими чинниками

На розвиток підходів, які були започатковані у роботах [13, 14], у цій роботі пропонується розвинути, удосконалити та адаптувати метод узагальненого

параметричного моделювання для дослідження фізико-механічних процесів і станів в елементах бойових броньованих машин. Принциповою відмінністю методології, що розробляється, є те, що у множині чинників, які приймаються як визначальні, ідентуються проектно-технологічно-виробничі чинники. Цим самим охоплюється значна частина життєвого циклу (рис. 1).

Таким чином, узагальнений параметричний простір P поповнюється новою підмножиною P_{Pr} :

$$P = P_p \cup P_T \cup P_{Pr} \cup P_E, \tag{1}$$

де P_p, P_T, P_E – множина проектних, технологічних та експлуатаційних (у т.ч. – режими бойового застосування та чинники ураження) параметрів відповідно;

P_{Pr} – множина виробничих чинників.

Таким чином, компоненти масиву T тактико-технічних характеристик ББМ залежать від усіх компонент масиву параметрів P :

$$T_i = T_i(P_p, P_T, P_{Pr}, P_E), i = 1, 2, \dots$$

При цьому можна формалізувати взаємозв'язок частинних залежностей

$$T_{ik}^{\wedge} = T_{ik}^{\wedge}(P_k), k \in \{P, T, Pr, E\}, i = 1, 2, \dots \tag{2}$$

та загальної –

$$T_i = \min_k T_{ik} \tag{3}$$

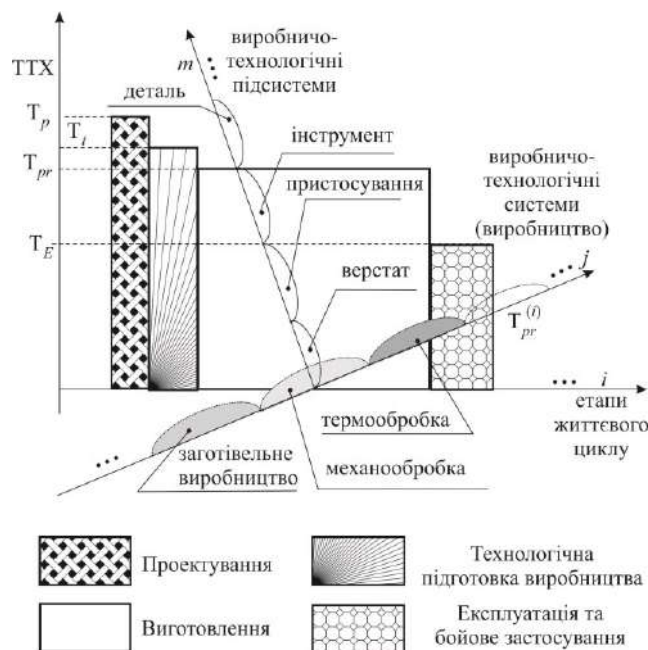


Рис. 1 – Компоненти тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин у залежності від визначальних чинників на різних етапах життєвого циклу

Отже, загальний рівень певного компонента ТТХ визначається мінімальним їх рівнем, який досягається на різних етапах життєвого циклу ББМ. Це – відома теза [14], проте у даному випадку – доповнена залежністю ще й від параметрів P_{Pr} . Разом із тим ця принципова новизна може бути розширена. Справа в тому, що насправді етап виготовлення містить у собі низку підетапів j : заготівельні операції, механообробка, термообробка, складальні операції тощо. Деталі об'єктів бронетанкової техніки проходять, залежно від типу машини, вузла чи деталі, різний набір підетапів (див. рис. 1). Таким чином,

$$T_{iPr}^{\wedge} = T_{iPr}^{\wedge}(P_{Pr}), i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

При цьому можна розглянути частинні залежності

$$T_{ij}^* = T_{iPr}^{\wedge}(P_{Prj}), i = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Тут j – номери виробничих підетапів, які проходить та чи інша деталь, вузол, машина. По аналогії із (3) можна записати:

$$T_{iPr}^{\wedge} = \min_j T_{ij}^* \quad (6)$$

Цей ланцюг залежностей можна продовжити. Це зумовлюється подальшою деталізацією технологічно-виробничих систем (див. рис. 1). Наприклад, для механообробки мова йде про систему "верстат – пристосування – деталь – інструмент" (для інших технологічно-виробничих систем – аналогічно: "прес – штамп – формотвірний інструмент – заготовка", "термопласт-автомат – прес-форма – формувальні деталі – робочий матеріал" тощо). Таким чином, надалі аналогічним чином можна виділити окремі складові ТТХ, на які впливають властивості обладнання (I), оснащення (II), заготовки (III), інструмента (IV):

$$T_{ij}^* = T_{ij}^*(P_{PrjI}, P_{PrjII}, P_{PrjIII}, P_{PrjIV}), \quad (7)$$

а після цього задекларувати залежність

$$T_{ij}^* = \min_m T_{ijm}^{\cup} \quad (8)$$

де

$$T_{ijm}^{\cup} = T_{ijm}^{\cup}(P_{Prim}), m = I \div IV \quad (9)$$

– частинні залежності складових ТТХ від параметрів конкретних виробничо-технологічних систем.

Таким чином, представляють інтерес як частинні залежності $T^{\vee}, T^*, T^{\wedge}$, так і "синтетичні" залежності $T(P)$. У кінцевому підсумку саме ця остаточна залежність є шуканою та важливою. Проте інформативними є також і частинні залежності різних рівнів $T^{\vee}, T^*, T^{\wedge}$. Також інформативним є порівняння

окремих складових, оскільки при цьому порівнюються рівні різних складових. Це особливо важливо з огляду на те, що оскільки на кінцевий результат впливають окремі складові, то важливо впливати на ТТХ саме за рахунок тих компонент, які є домінуючими.

Узагальнення критеріїв при обґрунтуванні технічних рішень для елементів бойових броньованих машин, а також технологічних систем для їх виготовлення

Аналізуючи, таким чином, ситуацію, що складається із залежностями компонент ТТХ від проектно-технологічно-виробничих чинників, можна узагальнити критерій збалансованості, запропонований у роботі [15]. Там він був сформульований із розгляду лінійної послідовності етапів життєвого циклу. Вона відповідає осі i на рис. 1. Разом із тим, як продемонстрував наведений вище аналіз, варто більш детально розглянути окремі складові кожного з етапів. На рис. 1, зокрема, на етапі виготовлення введено деталізацію виробництва (заготівельне, механічне, термічне, складальне тощо) – вісь j . На кожному із цих підетапів слід прийняти до уваги окремі технологічні системи, які реалізують відповідні виробничі операції. У результаті з'являється вісь m , яка визначає елементи технологічних систем (на рис. 1 – "верстат – пристосування – деталь – інструмент").

Отже, замість лінійної, як у роботі [15], введена до розгляду розгалужена система чинників, які потенційно впливають на ТТХ елементів бойових броньованих машин. Це дає перевагу в тому, що замість "крупноблочного" аналізу, коли до уваги приймаються інтегральні показники, які досягаються на етапах життєвого циклу, що розташовані по осі i (див. рис. 1), пропонується деталізована картина шляхом виокремлення підетапів та підпідетапів (осі j та m на рис. 1). У результаті такого багаторівневого підходу стає можливим визначення "вузьких" місць, тобто таких елементів, які стримують підвищення того чи іншого компонента ТТХ. Ця деталізація може бути доведена до рівня цеху, дільниці, верстата, технологічної операції тощо. Отже, одразу ж виникає множина тих варійованих параметрів, управляючи якими, можна досягти різкого підвищення відповідного компонента ТТХ. Більш того, не менш цінною є інформація про те, варіювання якими параметрами не призводить до суттєвого ефекту.

Таким чином, у запропонованому підході реалізується принцип, так би мовити, "націленого" зворотнього зв'язку, який передбачає управління тактико-технічними характеристиками у першу чергу за рахунок найбільш впливових параметрів, звільняючись від зміни менш впливових. Це – не тільки методологічна, але й часова перевага, що дуже важливо у теперішніх умовах жорстких обмежень термінів технологічної підготовки та організації

виробництва бойових броньованих машин. Крім того, це ще й перевага економічна: удається уникати недоцільних капіталовкладень, зосередивши ресурси на ефективному технічному переобладнанні.

Запропонований підхід може бути математично формалізований у вигляді сукупності наступних критеріїв:

$$T = \min_{i,j,m} T_{ijm}^{\vee}, \quad (10)$$

$$\left| T_{ijm}^{\vee} - T_{srp} \right| \rightarrow \min \forall (i, j, m) \neq (s, r, p), \quad (11)$$

$$T(P) \rightarrow \max. \quad (12)$$

Ці критерії є подальшим розвитком підходів, запропонованих у роботах [11–16]. Як уже відмічалось, вони, на відміну від відомих критеріїв, дають змогу здійснити деталізацію впливу проектно-технологічно-виробничих параметрів на результуючі тактико-технічні характеристики бойових броньованих машин аж до конкретної деталі, обладнання чи технологічної операції.

Формування задачі обґрунтування технічних рішень для елементів бойових броньованих машин, а також технологічних систем для їх виготовлення

Окрім перелічених вище критеріїв, слід прийняти до уваги також систему рівнянь, які описують фізико-механічні процеси і стани, що реалізуються при виготовленні, експлуатації та бойовому застосуванні бойових броньованих машин. У операторному вигляді вони набувають форми

$$L(U, P, f, r, t) = 0, \quad (13)$$

де L – оператор, який є, як правило, множиною алгебро-диференціальних рівнянь і граничних умов; U – масив змінних, які описують розподіл величин, що визначають досліджувані процеси у просторових координатах $r = \{x, y, z\}$ та часі t ; f – масив зовнішніх навантажень, які визначаються режимами бойового застосування ББМ та чинниками ураження.

Розв'язання (13), яке у сучасних умовах зазвичай здійснюється за допомогою чисельних методів, встановлює функціональні та параметричні залежності

$$U = U(P, f, r, t). \quad (14)$$

Якщо прийняти до уваги, що із співвідношень (14) чи інших стає можливим визначити масив певних характеристик $H = H(P, U(P))$, то можна записати систему обмежень:

$$H \geq H^* \text{ (або } H = H^*), \quad (15)$$

де H^* – масив заданих обмежень (за масою, вогневою потужністю, захищеністю тощо).

Умови типу нерівності або рівності (15) накладають певні обмеження на варіювання компонент масиву параметрів P , формуючи ту множину K , у межах якої розв'язується задача обґрунтування таких параметрів P^* , що задовольняють критеріям (10)–(12), рівнянням стану (13) та обмеженням (15). Ця система співвідношень у загальному вигляді окреслює ту складну багатопланову багатопараметрову проблему, яка формально складає задачу оптимізації в узагальненому параметричному просторі. Разом із тим слід прийняти до уваги реальні умови виробництва, а також експлуатації та бойового застосування ББМ. Вони свідчать, що на практиці при виготовленні бойових броньованих машин проектно-технологічні параметри відрізняються від назначених документацією. Ці відхилення можуть носити нормований стохастичний характер (наприклад, геометричні розміри мають певні допуски), організаційний (наприклад, зміна товщини бронематеріалів та їх властивостей у плані та за товщиною – визначається особливостями партії поставки) та виробничий (характеристики обладнання на конкретному робочому місці). Крім того, режими бойового застосування та чинники ураження теж мають певний розкид характеристик. Із використанням введених у розгляд узагальнених параметрів це можна записати у вигляді

$$P_R = P_I + \delta, \quad (16)$$

де P_R, P_I – масив реальних та документально заданих ("ідеальних") параметрів; δ – масив розкидів їхніх величин.

Отже, якщо досягнути "оптимальних" значень P^* , які задовольняють критерію (12), то насправді реальні параметри будуть знаходитися у деякому околі цієї точки узагальненого параметричного простору:

$$P_R^* = P_I^* + \delta. \quad (17)$$

У силу (17) стає важливим чинник чутливості характеристик T до варіювання P_I^* . Якщо він значний, тобто якщо певні компоненти ТТХ чутливі до варіації δ , то такий так званий "оптимальний" розв'язок не має практичної цінності, оскільки частина компонент масиву δ є неконтрольованою. Відповідно, замість цього розв'язку потрібно відшукати такий розв'язок P_I^{**} , що при його варіюванні компоненти ТТХ не опускаються нижче заданого рівня T^* :

$$T(P_I^{**} + \delta) \geq T^*. \quad (18)$$

Таким чином, зміна формальних критеріїв ((18) замість (12)) віддзеркалює практику проектно-

технологічно-виробничого процесу, який не заперечує, а, навпаки, передбачає певну варіативність умов реального виробництва.

Висновки

У роботі отримала розв'язання актуальна науково-практична задача розробки теоретичних основ проектно-технологічно-виробничого забезпечення технічних і тактико-технічних характеристик елементів бойових броньованих машин та технологічних систем для їх виготовлення шляхом обґрунтування технічних рішень за критеріями точності виготовлення, міцності, жорсткості, довговічності та працездатності у процесі виготовлення, експлуатації та бойового застосування.

При цьому можна зробити наступні висновки.

1. Аналіз стану проблеми забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин засвідчив наявність протиріччя між потребами підприємств бронетанкобудівної галузі – у засобах підвищення технологічних можливостей, Збройних сил України – у нових та модернізованих зразках озброєння і військової техніки, з одного боку, та можливостями науки – у вирішенні наявних проблем, – з іншого. Це сформуло напрямки досліджень, які охоплюють ключові етапи життєвого циклу розробки, освоєння виробництва, виготовлення броньованих машин із урахуванням вимог, які ставляться до них із точки зору бойових можливостей на сучасному рівні.

2. На основі аналізу бойових броньованих машин і технологічного обладнання як цілісних систем елементів, які взаємодіють між собою у процесі виготовлення та бойового застосування та, відповідно, впливають на результуючі технічні та тактико-технічні характеристики, установлені критерії та обмеження на властивості елементів цих систем. Це складає принципову відмінність від традиційних методик, у яких такий системний взаємозв'язок не враховується.

3. У цілому оцінюється запропонований підхід до проектно-технологічно-виробничого забезпечення ТТХ бойових броньованих машин, слід відзначити його новизну та переваги над раніше запропонованими, а також націленість на визначення саме тих елементів виробничого процесу, варіювання яких найбільш ефективно з точки зору досягнення найбільшого ефекту з точки зору забезпечення підвищених ТТХ бойових броньованих машин.

Список літератури

1. **Шевцов, М. М.** Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ / **М. М. Шевцов** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 5–6.

2. **Ткачук, М. А.** Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних та колісних машин на етапах проектування, технологічної підготовки виробництва та виготовлення / **М. А. Ткачук, О. В. Хлань, А. М. Малакей, О. І. Шейко** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 11.

3. **Андрєєв, І. М.** Щодо проблем розробки методичного апарату визначення оперативно-тактичних вимог до озброєння / **І. М. Андрєєв** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 14.

4. **Богачов, О. І.** Перспективи розвитку сучасних танків / **О. І. Богачов, О. І. Дорошев, О. В. Тимошук** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 16.

5. **Бондарєв, І. Г.** Перспективна бойова машина піхоти сухопутних військ збройних сил України. деякі аспекти формування концепції конструктивних і компоновальних рішень / **І. Г. Бондарєв, М. В. Коломієць** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 16.

6. **Варванець, Ю. В.** Пропозиції щодо підвищення рівня технічної досконалості зразків автомобільної та колісної бронетанкової техніки підрозділів сухопутних військ збройних сил України / **Ю. В. Варванець, О. М. Калінін, В. В. Костюк, П. О. Русіло** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 20.

7. **Василів, Ю. І.** Бойова техніка України / **Ю. І. Василів, О. В. Манжай, О. С. Онишук** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 21.

8. **Будяну, Р. Г.** Аналіз причин виникнення несправностей зразків автомобільної та бронетанкової техніки під час бойового застосування в зоні АТО / **Р. Г. Будяну, В. В. Костюк, Ю. В. Варванець** [та інш.]. // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 19.

9. **Даценко, І. П.** Особливості визначення показника живучості легкоброньованих бойових машин / **І. П. Даценко, А. В. Гуляєв, М. М. Шевцов, О. Л. Чеченкова** // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 28.

10. **Васьківський, М. І.** Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ

- збройних сил України на сучасному етапі / **М. І. Васківський** // *V Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки". Тези доповідей. (11–12 жовтня 2017 р., Київ)*. – К., ДНУ УКРІНТЕІ. – 2017. – С. 97.
11. **Литвиненко, О. В.** Проектно-технологічне забезпечення міцності бронекорпусів / **О. В. Литвиненко, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко** [та інш.]. // *Зб. тез доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (14–15 травня 2015 р., Львів)*. – Л.: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного. – 2017. – С. 41.
 12. **Литвиненко, А. В.** Оценка чувствительности прочностных, жесткостных и динамических характеристик бронекорпусов на варьирование проектно-технологических параметров / **А. В. Литвиненко, В. В. Вакуленко, Н. А. Ткачук** [та інш.]. // *Интегрированные технологии та энергосбережения. Научно-практический журнал*. – Х., НТУ "ХПИ". – 2014. – № 3. – С. 145–153.
 13. **Ткачук, Н. А.** Основы обобщенного параметрического описания сложных механических систем / **Н. А. Ткачук, А. Д. Чепурной, Г. Д. Грищенко** [и др.]. // *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля*. – Луганск. – №9 (115), част. 1. – 2007. – С. 196–205.
 14. **Ткачук, Н. А.** Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / **Н. А. Ткачук, Г. Д. Грищенко, А. Д. Чепурной** [и др.]. // *Механіка та машинобудування*. – Харків. – № 1. – 2006. – С. 57–79.
 15. **Литвиненко, А. В.** Общий подход к проектно-технологическому обеспечению тактико-технических характеристик военных колесных и гусеничных машин путем обоснования параметров бронекорпусов по критериям прочности и защищенности / **А. В. Литвиненко** // *Вісник НТУ "ХПИ". Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САІР*. – Харків. – 2014. – №29 (1072). – С. 68–77.
 16. **Грабовський, А. В.** Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / **А. В. Грабовський, А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук** [та інш.]. // *Вісник НТУ "ХПИ". Зб. наук. праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків. – 2016. – №18 (1190). – С. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.
 4. **Bohach'ov, O. I., Doroshev, O. I., Tymoshchuk, O. V.** Perspektivy rozvytku suchasnykh tankiv. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 14.
 5. **Bondaryev, I. H., Kolomiyets', M. V.** Perspektivna boyova mashyna pikhoty sukhoputnykh viys'k zbroynykh syl ukrayiny. deyaki aspekty formuvannya kontseptsiyi konstruktyvnykh i komponuval'nykh rishen'. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 16.
 6. **Varvanets', Yu. V., Kalinin, O. M., Kostyuk, V. V., Rusilo, P. O.** Propozytsiyyi shchodo pidvyshchennya rivnya tekhnichnoyi doskonalosti zrazkiv avtomobil'noyi ta kolisnoyi bronetankovoyi tekhniki pidrozdiliv sukhoputnykh viys'k zbroynykh syl Ukrayiny. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 20.
 7. **Vasyliiv, Yu. I., Manzhay, O. V., Onyshchuk, O. S.** Boyova tekhnika Ukrayiny. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Per-spektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 21.
 8. **Budyanu, R. H., Kostyuk, V. V., Varvanets', Yu. V.** [ta insh.]. Analiz prychnyn vynyknennya nespravnostey zrazkiv avtomobil'noyi ta bronetankovoyi tekhniki pid chas boyovoho zastosuvannya v zoni ATO. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 19.
 9. **Datsenko, I. P., Hulyayev, A. V., Shevtsov, M. M., Chechenkova, O. L.** Osoblyvosti vyznachennya pokaznyka zhyvuchosti lehkobron'ovanykh boyovykh mashyn. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 28.
 10. **Vas'kivs'kyi, M. I.** Problemni pytannya rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k zbroynykh syl Ukrayiny na suchasnomu etapi. *V Mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Problemy koordynatsiyyi voyenno-tekhnichnoyi ta oboronno-promyslovoyi polityky v Ukrayini. Perspektivy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki"*. Tezy dopovidey. (11–12 zhovtynya 2017 r., Kyiv). Kyiv, DNU UKRINTEI, 2017, 97.
 11. **Lytvynenko, O. V., Tkachuk, M. M., Tanchenko, A. Yu.** [ta insh.]. Proektno-tekhnolohichne zabezpechennya mitsnosti bronekorpusiv. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (14-15 travnya 2015 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 41.
 12. **Litvinenko, A. V., Vakulenko, V. V., Tkachuk, N. A.** [ta

Bibliography (transliterated)

1. **Shevtsov, M. M.** Perspektivy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k. *Zb. tez dopovidey. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv, Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 5-6.
2. **Tkachuk, M. A., Khlan', O. V., Malakey, A. M., Sheyko, O. I.** Zabezpechennya taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk viys'kovykh husenychnykh ta kolisnykh mashyn na etapakh proektuvannya, tekhnolohichnoyi pidhotovky vyrobnyts'tva ta vyhotovlennya. *Zb. tez dopovidey Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. Lviv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017, 11.
3. **Andreyev, I. M.** Shchodo problem rozrobky metodychnoho

- insh.]. Ocenka chuvstvitel'nosti prochnostnyh, zhestkostnyh i dinamicheskikh karakteristik bronekorpusov na var'irovanie proektno-tehnologicheskikh parametrov. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. Naukovo-praktichnij zhurnal*. Kharkov: NTU "KhPI", 2014, **3**. 145-153.
13. **Tkachuk, N. A., Chepurnoj, A. D., Gricenko, G. D.** [i dr.]. Osnovy obobshhennogo parametricheskogo opisaniya slozhnyh mehanicheskikh sistem. *Visnik Shidnoukr. nac. un-tu im. V.Dalja*. Lugansk, 2007, **9**(115), chast. 1, 196-205.
14. **Tkachuk N. A., Gricenko G. D., Chepurnoj A. D.** [i dr.]. Konechno-jelementnye modeli jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem: tehnologija avtomatizirovanno generacii i parametri-zovannogo opisaniya. *Mehanika ta mashinobuduvannja*. Kharkov, 2006, **1**, 57-79.
15. **Litvinenko, A. V.** Obshhij podhod k proektno-tehnologicheskomu obespecheniju taktiko-tehnicheskikh karakteristik voennyh kolesnyh i gusenichnyh mashin putem obosnovaniya parametrov bronekorpusov po kriterijam prochnosti i zashhishhennosti. *Visnik NTU "HPI". Zb. nauk. prac'. Serija: Mashinoznavstvo ta SAPR*. Kharkov, 2014, **29**(1072), 68-77.
16. **Grabovskiy, A. V., Vasyliiev, A. Y., Tkachuk, M. M., Tanchenko, A. Y., Martynenko, O. V., Kyrychuk, D. V., Borysenko, S. V., Kasai, O. I.** Providing of tactical and technical characteristics of military caterpillar and wheeled vehicles on stage of design researches. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18**(1190), 22-29, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.

Сведения об авторах (About authors)

Хлань Олександр Володимирович – генеральний директор ДП "Завод ім.В.О.Малишева", м. Харків, Україна; тел. (057) 7076902, e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Oleksandr Khlan – General Director of State Enterprise "Plant named after V.O. Malyshev", Kharkiv, Ukraine; tel. (057) 7076902, e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Ткачук Микола Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>. тел.: (057)7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Mykola Tkachuk – Doctor of Technical Sciences, professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department "Theory and Systems of Automated Designing of Mechanisms and Machines", Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>. tel. : (057) 7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Грабовський Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-0572>. тел.: (057)7076166; e-mail: Grabovskiy@tmm-sapr.org.

Andrey Grabovskiy – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher, Department "Theory and Systems of Automated Designing of Mechanisms and Machines"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-0572>. tel. : (057) 7076166; e-mail: Grabovskiy@tmm-sapr.org.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Хлань, О. В. Теоретичні основи проектно-технологічно-виробничого забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин / **О. В. Хлань, М. А. Ткачук, А. В. Грабовський** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 83-89. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12.

Please cite this article as:

Khlan, O. V., Tkachuk, M. A., Grabovskiy, A. V. Theoretical basis for design-technological-production support of Tactical and technical characteristics of fighting armored vehicles. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 83-89, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Хлань, А. В. Теоретические основы проектно-технологически-производственного обеспечения тактико-технических характеристик боевых бронированных машин / **А. В. Хлань, М. А. Ткачук, А. В. Грабовский** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 83-89. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.12.

АННОТАЦИЯ В работе приведено усовершенствование метода обобщенного параметрического моделирования и изготовления боевых бронированных машин на основе дополнения параметрического пространства технологическими и производственными факторами. Проведено формирование поставленной задачи и обобщение критериев при обосновании технических решений для элементов боевых бронированных машин, а также технологических систем для их изготовления. Принято во внимание режимы боевого применения и характеристики средств поражения.

Ключевые слова: боевая бронированная машина; тактико-техническая характеристика; параметрическое моделирование; боевое применение; средство поражения; технологическая система.

Поступила (received) 10.03.2018

УДК 681.883:656:551

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИХ ПЕРЕШКОД СТРУМЕНЕВИМИ ВИХОДАМИ ГАЗУ З МОРСЬКОГО ДНА

I. I. GLADKIH¹, B. B. KAPOCHKIN², N. V. KUCHERENKO^{2*}, M. B. KAPOCHKINA²

¹МПП «ТСБ», м. Одеса, УКРАЇНА

²Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, УКРАЇНА

*e-mail: tsb1@ukr.net

АНОТАЦІЯ Метою роботи є визначення фізичного механізму генерації акустичних образів струменевих виходів газу з морського дна. Для досягнення зазначеної мети, досліджена залежність розсіювання і відбиття звуку у водному середовищі від частоти звуку та діаметра бульбашок. Розглянуто проблему формування газовими потоками метану, що виділяється з морського дна, природних акустичних перешкод. Показано, що в Чорному морі виявлено понад 5000 газових виходів. Вивчено просторові масштаби газових виходів у Чорному морі, що створюють природні акустичні перешкоди. Розглянуто теоретичні питання диференціації розсіювання і відбиття звуку від газових бульбашок різного розміру від частоти акустичних хвиль. На прикладі газових бульбашок, утворених поверхневим хвилюванням (розміри бульбашок вимірюються першими міліметрами) і бульбашок метанових газових струменів (характерні розміри бульбашок вимірюються практично сантиметрами), показані відмінності фізичних механізмів їх фіксації методами гідролокації. Зроблено висновок, що в частотному діапазоні 40-50 кГц газові струмені створюють мінімальні перешкоди. Наведено результати експериментальних робіт з вивчення гідроакустичних перешкод, створюваних газовими бульбашками з використанням гідролокації на робочій частоті 60 кГц. Експеримент, виконаний з використанням гідролокатора, генератора газових бульбашок, телекерованого підводного апарату. В якості цілі був задіяний аквалангіст.

Ключові слова: газові бульбашки; розсіяння звуку; відбиття звуку; резонансна частота розсіяння акустичного сигналу; гідроакустика; звукові акустичні хвилі; ультразвукові акустичні хвилі.

PHYSICAL PRINCIPLES OF CREATION HYDROACOUSTIC BARRIER GAS JET EXIT FROM THE SEABED

I. GLADKYKH¹, B. KAPOCHKIN², N. KUCHERENKO^{2*}, M. KAPOCHKINA²

¹Private Company «TSB», Odessa, UKRAINE

²Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium ", Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to determine the physical mechanism for generating acoustic images of jet gas exits from the seabed. To achieve this goal, the dependence of the sound scattering in water on the frequency of sound and bubble diameter is investigated. The problem of formation of gas streams of methane, which is released from the seabed - natural acoustic barrier, is considered. It has been shown that more than 5,000 gas exits have been identified in the Black Sea. The spatial scales of gas outlets in the Black Sea creating acoustic barrier are studied. The theoretical questions of the differentiation of scattering and reflection of sound from gas bubbles of different sizes, depending on the frequency of radar of a sonar, are considered. In the example of the gas bubbles formed by surface excitement (the dimensions are measured by the first millimeters) and bubbles of methane gas jets (the dimensions of the bubbles are measured in centimeters), the differences in the physical mechanisms of their fixation by sonar are shown. It has been shown that for gas jets, the frequency range of 40-50 kHz is least affected by the negative influence of hydroacoustic barrier generated by gas outlets from the seabed. The results of experimental work on the study of hydroacoustic barrier for hydroacoustic locators with a working frequency of 60 kHz, created by gas bubbles with a centimeter diameter are given. The experiment was carried out using a sonar, a gas bubble generator, a remote-controlled underwater vehicle. A diver was used as a target.

Keywords: gas bubbles; scattering of sound; reflection of sound; resonance frequency of scattering of an acoustic signal; hydroacoustics; acoustic sound; ultrasonic acoustic waves.

Вступ

Виділення метану у вигляді бульбашок є типовим для всіх шельфових районів Світового океану. Найбільш інтенсивні виділення метану виявлено в Арктиці. Нами були виконані дослідження негативного впливу виходів газу з морського дна на ефективність застосування гідроакустичних систем моніторингу підводної обстановки в районі

Севастополя [1]. В зазначеній роботі показано, що просторові масштаби виділення газу з морського дна є значними і створюють у водному середовищі значні природні акустичні перешкоди. Результати дослідження підтверджують результати, отримані іншими авторами [2]. За експертними оцінками, щорічно з дна північно-західної частини Чорного моря у водну товщу у вільному вигляді (газові бульбашки) поступає до $1.85 \cdot 10^9$ м³ метану, а з

акваторії Азовського моря - до $100 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ метану [3]. Як показано в монографії [4], у Чорному морі виявлено більше 5 тисяч місць газовиділень з морського дна. У виключній економічній зоні України велика кількість скупчень виходів метану з морського дна виявлені і в районі Кримського півострову (рис. 1).

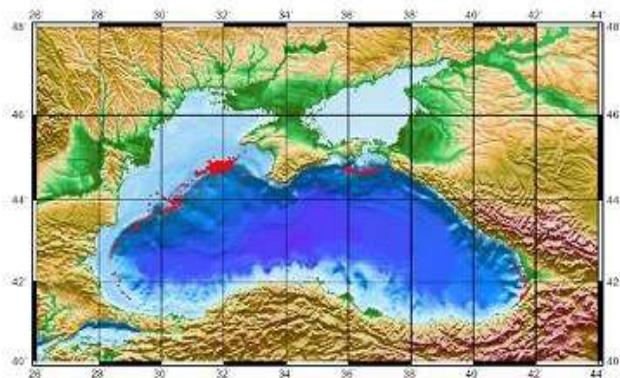


Рис. 1 - Карта-схема струминних газових виділень у Чорному морі на континентальному схилі [4]

Слід зазначити, що струменеві виходи газу не виявлені в районах газових родовищ. Умови деформованості земної поверхні, розглянуті в роботі [5], дають підстави очікувати виділення метану в районах газових родовищ, але цього не зафіксовано. Виходи метану з морського дна фіксуються вздовж рельєфоутворюючих тектонічних порушень, проявлених у районі материкового схилу. Аналогічна ситуація з розвантаженням газу з морського дна за даними монографії [4], зафіксована в районі Керченської протоки (рис. 1.)

Вважається, що виходи метану з морського дна проявляються виключно вздовж тектонічних порушень. Нами визначено, що геодформаційний процес, який характеризується трьома типами деформацій, дозволяє очікувати підвищений рівень геодформацій (у вигляді розтягування земної кори) не тільки на межах тектонічних блоків, а й в середині тектонічного блоку. На нашу думку така ситуація проявлена на карті газових виходів (рис. 2).

Уявлення про потоки метану з морського дна дає рис. 3, на якому показано, що дебіт газу може досягати 500 л / хв.

Мета роботи

Враховуючи те, що у виключній економічній зоні України виявлено значні площі акваторій, де газовими бульбашками формуються природні акустичні перешкоди, різко підвищується актуальність та практичне значення дослідження фізичних принципів створення виходами газу з морського дна гідроакустичних перешкод. Метою роботи є визначення фізичного механізму генерації

акустичних образів струменевих виходів газу з морського дна. Для досягнення зазначеної мети, необхідно дослідити залежність розсіяння звуку у воді від частоти звуку та діаметру бульбашок.

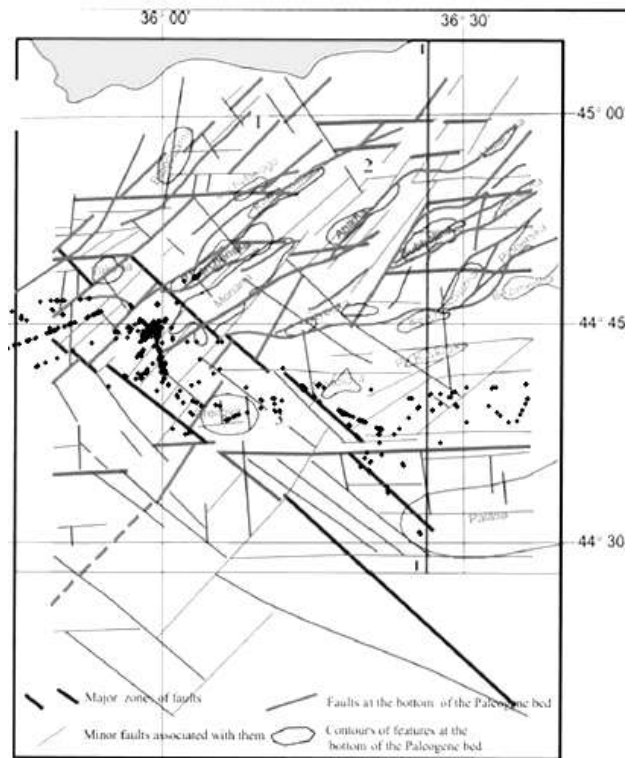


Рис. 2 - Струменеві газовиділення (чорні точки) та основні геофізичні структури в північно-східному районі Чорного моря [6]

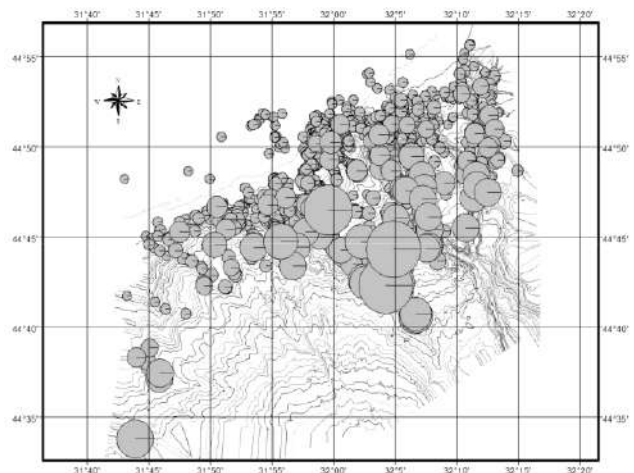


Рис. 3 – Карта місць розвантаження метану в районі палео-дельти р. Дніпро. Діаметр кругових діаграм відповідає величині потоку метану. Найменший діаметр відповідає значенню 0.01 л / хв. , найбільший - 509.8 л / хв. [3]

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вплив газових бульбашок на ефективність застосування ехолоту найчастіше досліджується в аспекті негативного впливу бульбашок, які виникають у поверхневому шарі за рахунок хвилювання, на його роботу. Загальновідомо, що бульбашки, що генеруються поверхневим хвилюванням, найбільш негативно впливають на роботу ехолота з робочими частотами в діапазоні 20-30 кГц. Однак, застосування високочастотних ехолотів дає більший ефект. Ці дослідження відрізняються від напрямку наших досліджень тим, що у поверхневому шарі генеруються бульбашки, розміри яких значно менші розмірів бульбашок газу, який виділяється з морського дна.

Так, на рис. 4 показано зміни ступеня розсіяння звуку бульбашками повітря в поверхневому шарі під час хвилювання, в залежності від частоти ехолотування [7]. В роботі показано, що бульбашки діаметром більше 0.5 мм спливають до поверхні, дрібні бульбашки діаметром близько 0.025 мм розчиняються у воді, а бульбашки середніх розмірів (0.07-0.3 мм) існують довше дрібних і великих, тому вони мають найбільшу концентрацію в об'ємі води поверхневого шару.

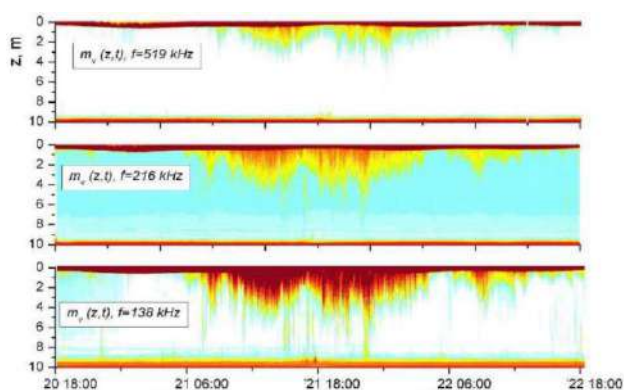


Рис. 4 - Варіації коефіцієнта розсіяння звуку на частотах 138, 216, 519 кГц [7]

На рис. 4 видно, що в умовах аномального зростання кількості газових бульбашок в період з 6 години 21 числа до 6 години 22 числа, інтенсивність отриманого зворотного сигналу за рахунок, мабуть розсіяння, максимальна на частоті 138 кГц і мінімальна на частоті 512 кГц. Слід врахувати, що частоті 138 кГц відповідає довжина хвилі близька до 1 см, а на частоті 512 кГц – 0,3 см (див. табл.).

В поверхневому шарі газові бульбашки мають розміри, недостатні для відбиття акустичного сигналу. Тому наявність зворотного сигналу на ехограмі свідчить про отримання саме розсіяного сигналу. Розсіяння формується бульбашками резонансного розміру – чим вище частота, тим менше розмір резонансних бульбашок. Як було констатовано вище, дрібні бульбашки діаметром менше 0.025 мм

розчиняються у воді. Тому на частоті 519 кГц, розсіяння акустичного сигналу резонансними бульбашками практично неможливе. Тут також слід звернути увагу, що у повітрі ультразвук з частотами більшими 300 кГц не розповсюджується (відбувається повне поглинання).

Таблиця - Дальність дії гідроакустичних систем залежно від частоти (довжини) акустичної хвилі [8]

Частота акустичного сигналу	Довжина хвилі акустичного сигналу	Дальність дії
100 Гц	15 м	1000 км і більше
1 кГц	1,5 м	100 км і більше
10 кГц	15 см	10 км
25 кГц	6 см	3 км
50 кГц	3 см	1 км
100 кГц	1,5 см	600 м
500 кГц	3 мм	150 м
1000кГц	1,5 мм	50 м

Загальновідомо, що для газових виходів з морського дна, в придонному шарі характерні діаметри бульбашок знаходяться в межах 1 - 10 мм [9]. Згідно з наведеними в роботі даними, розміри спостережених бульбашок в різних частинах газових факелів не перевищували 17.3 мм, тому, всі вони мають сферичну або еліпсоїдальної форму. У міру підняття до поверхні діаметри бульбашок можуть збільшуватися до 50 мм.

В роботі [3] наведено результати досліджень впливу газових бульбашок, що генеруються при виділенні газів з морського дна на глибині 90 м, на розсіяння акустичного сигналу з частотою 38 кГц. Згідно таблиці 1, частоті випромінювання 38 кГц відповідає довжина хвилі приблизно 4 см. Тобто бульбашки газового струменя з типовим діаметром 1 см не є співвимірними з довжиною акустичної хвилі і не відбивають акустичний сигнал. На рис. 5, показано значення сили об'ємного зворотного розсіювання при перетинанні акустичного фронту газового струменя.

Визначено, що значення сили об'ємного зворотного розсіювання в середині газового струменя змінюється на 15 дБ.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

В роботі [10] наведена інформація про те, що газова бульбашка в рідині характерна своєю високою ефективністю розсіювання монопольного типу: бульбашка завжди розсіює багато більше, ніж абсолютно жорстка перешкода того ж розміру. Починаючи з деякої частоти, перетин розсіювання бульбашки перевершує його поперечний переріз, а поблизу резонансної частоти пульсацій бульбашки у

воді перетин розсіювання перевершує його поперечний переріз у тисячі разів [11].

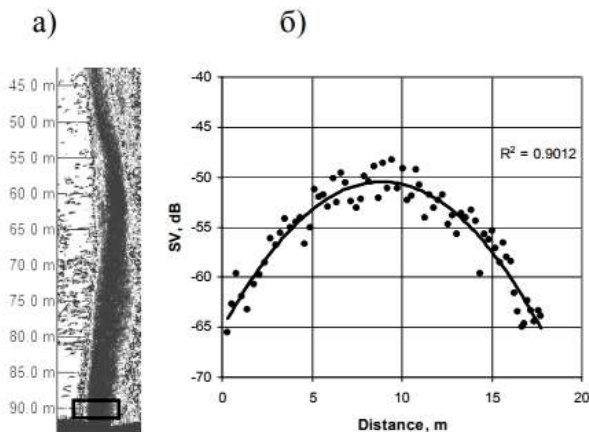


Рис. 5 - Аналіз ехо-сигналу від газового виходу на морському дні при перетині ним озвученого об'єму: а) ехограма на частоті зондування 38 кГц. Область інтегрування відзначена прямокутником; б) точками зображені усереднені значення сили об'ємного зворотного розсіювання [3]

Експериментально встановлено, що при збільшенні глибини резонансний радіус бульбашки збільшується. Так для частоти 38 кГц на поверхні резонансний радіус бульбашки становить 0,1 мм, а на глибині 200 м для тієї ж частоти збільшується до 0,4 мм.

Однак, в останній час виникає дуже багато питань, стосовно відповідності результатів теоретичних досліджень даним експериментальних спостережень. Розглянемо отриману експериментально залежність (рис. 6) розсіювання звуку від радіуса бульбашки [10].

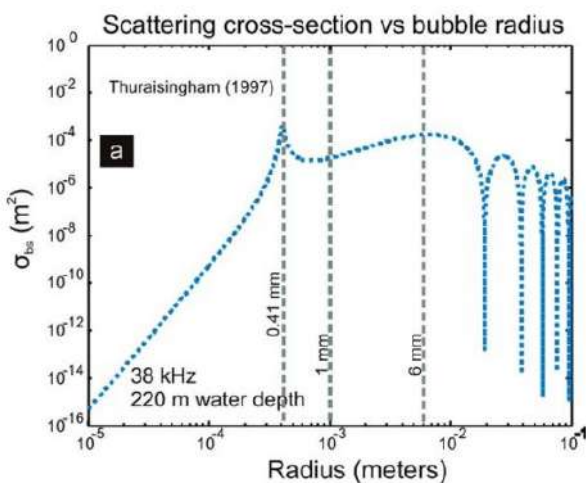


Рис. 6 - Залежність розсіювання (частота випромінювання 38 кГц, глибина 220 м) від радіуса бульбашки [10]

На рис. 6 показано, що для бульбашок радіусом 0,41-10 мм розсіювання звуку для частоти 38 кГц є суттєвим (умови експерименту відповідають глибині 220 м). Експериментально встановлено, що розсіювання на газових бульбашках для частоти випромінювання 38 кГц, різко зростає, починаючи з розміру бульбашки 0,0002 мм до 0,41 і в подальшому залишається стабільно високим. При збільшенні розміру газової бульбашки відбуваються аномальні явища: високий рівень розсіювання змінюється на дуже низький. Безумовно, описаний вище ефект потребує подальшого вивчення та фізичного обґрунтування, адже не вписується в стандартні (класичні) норми розуміння резонансного розсіювання акустичної енергії газовими бульбашками у водному середовищі.

Загальновідомо, що на частотах до 50 кГц зворотний акустичний сигнал від газових бульбашок генерується процесами розсіювання на резонансних частотах. Але в умовах, коли довжина акустичної хвилі (частота випромінювання вище 60 кГц) стає співвимірною з розміром бульбашок газового струменя (типовий розмір 1 см), повинне формуватися відбите випромінювання. З другого боку, для частоти вище за 60 кГц, резонансний діаметр газової бульбашки зменшується до 0,1 мм, а бульбашки такого діаметру для виходів газу з морського дна, на відміну від умов поверхневого шару моря при хвилюванні, вже не є типовими. Тобто на частотах, менших 60 кГц бульбашки газу, що виділяються з морського дна, є акустичними перешкодами за рахунок ефекту розсіювання звуку бульбашками резонансного розміру, а на частотах вище 60 кГц, виходи газу з морського дна стають акустичною перешкодою за рахунок відбиття бульбашками акустичної хвилі. Слід зазначити, що це питання досліджено недостатньо.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що "ехографічні газові факели" є лише "акустичними образами" реальних струменевих газовиділень, фізичні розміри яких буває важко оцінити за ехограмами, як це ілюструється на рис. 7 [12]. На рисунку показаний "акустичний образ" потужного виділення метану з газогідратного поля (дебіт тільки одного газового джерела становив 3.5 л/хв.). Ехограма, записана при детектуванні газового факела ехолотом Parasound з робочою частотою 18 кГц.

Слід зазначити, що на частоті 18 кГц процес фіксації газових бульбашок відбувається виключно за рахунок реєстрації сили об'ємного зворотного розсіювання бульбашками резонансного діаметру.

На рис. 8 показані ехограми газових виходів з морського дна, отримані ехолотом SIMRAD на частоті 50 кГц та 200 кГц.

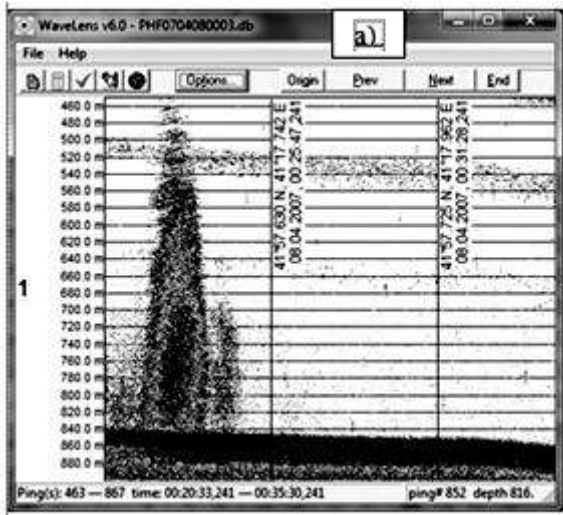


Рис. 7 - Ехограма газового факела ехолотом Parasound з робочою частотою 18 кГц [12]

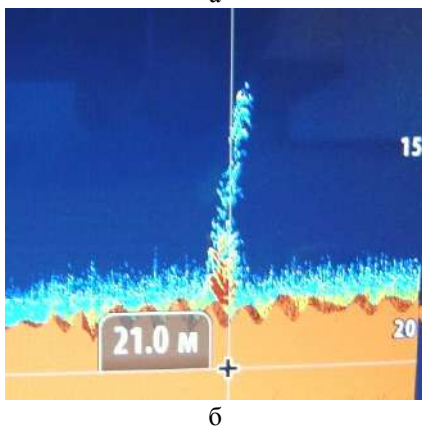
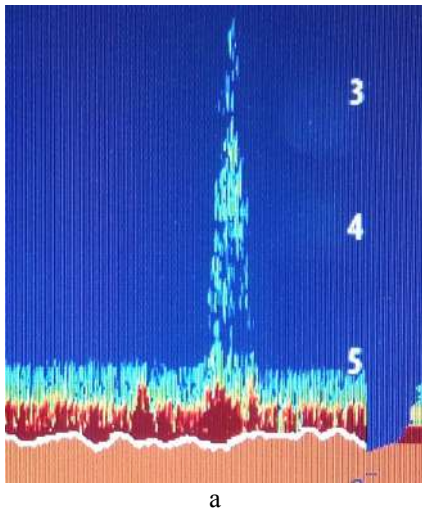
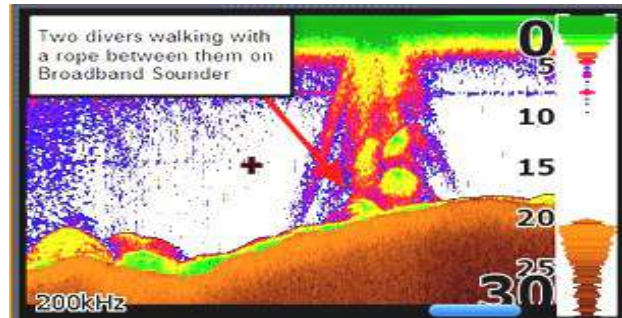


Рис. 8 – Сонограми виходів газу, отримані ехолотом SIMRAD: а - частота 50 кГц; б- частота 200 кГц

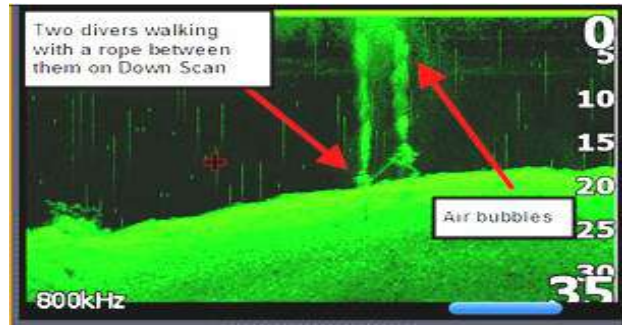
Можна відмітити що на частоті 50 кГц (довжина хвилі 3 см) сила відбиття акустичної хвилі невелика, адже бульбашок діаметром 3 см у газовому факелі невеликий відсоток, а резонансне випромінювання практично не генерується, бо

бульбашок резонансного діаметру відсоток також малий. На частоті 200 кГц (довжина хвилі 0,7 см) ехограма газового виходу більш потужна, адже бульбашки мають типовий розмір 1 см, тобто відбиття акустичної енергії такої частоти є домінуючим.

На рис. 9 показано ехограму детектування газових струменів від двох аквалангістів ехолотом з робочою частотою 200 кГц та гідролокатором бічного огляду з частотою 800 кГц.



а



б

Рис. 9 – Ехограми детектування двох аквалангістів гідролокатором бічного огляду з частотою 200 кГц (а) та ехолотом з робочою частотою 800 кГц (б) [12]

На ехограмах видно, що газові струмені від аквалангістів на частоті 200 кГц детектуються як цілі, просторові розміри яких значно відрізняються від реальних розмірів, а на частоті 800 кГц є більш реальними.

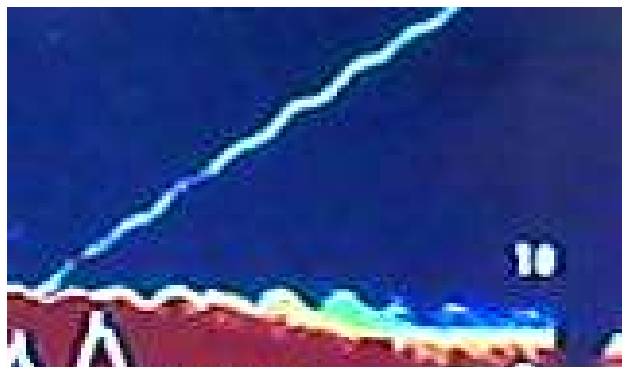


Рис. 10 – Фото ресстрації сонограми на частоті 200 кГц спливаючої газової бульбашки діаметром 1-2 см

На рис. 9 можна побачити, що бульбашка діаметром 1-2 см на сонограмі відображається значно більшою, її акустичний образ має розмір близький до 50 см. Цей ефект є безумовно позитивним для визначення підводних цілей акустичними методами.

Таким чином нами показано, що частотний діапазон 40-50 кГц слід вважати таким, в якому негативний вплив газових виходів за рахунок розсіяння вже невеликий, а за рахунок відбиття акустичної хвилі – ще невеликий.

З метою дослідження ефекту створення виходами газу на морському дні природних акустичних перешкод, було сплановано і виконано експеримент, в якому був задіяний генератор газових бульбашок, який створював умови виходу газу, що відповідають існуючим в природних умовах. На рис. 11 показано фото штучно створеної газової завіси довжиною 10 м.

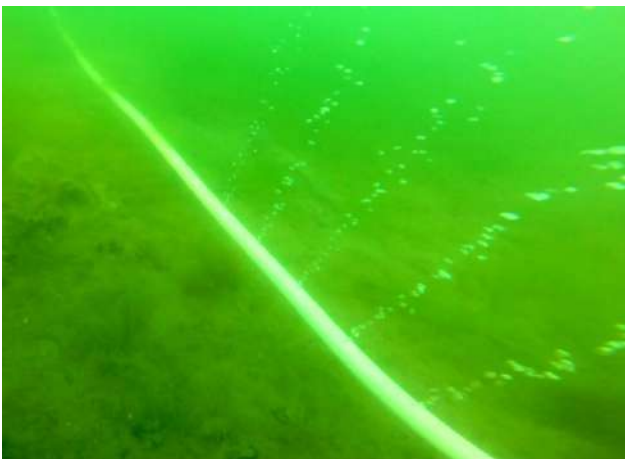


Рис. 11 – Фото газової завіси

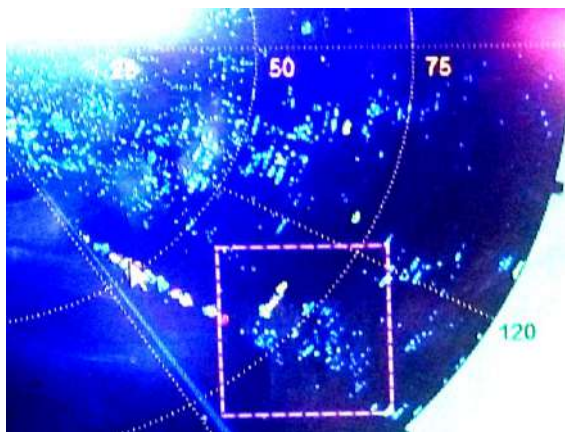


Рис. 12 - Фото сонарного зображення газової завіси, що знаходиться у квадраті

Визначення спроможності газової завіси відбивати гідроакустичний сигнал на частоті 60 кГц перевірялось шляхом фіксації цілі перед і за газовою завісою в натурних умовах. Вважається, якщо ціль не

фіксується за завісою, то газові бульбашки відбивають акустичний сигнал. На рис. 12 наведена отримана сонограма газової завіси, що показана на рис. 11.

На рис. 12 в межах квадрату показано ефект відбиття газової завіси, а стрілкою – відбиття акустичного сигналу від бетонного пірсу. Слід зазначити, що на частоті 60 кГц сила відбиття акустичного сигналу від пірсу практично не відрізняється від отриманого сигналу від газової завіси. Цей результат свідчить про те, що на частоті 60 кГц бульбашки відбивають, а не розсіюють енергію.

Висновки

В результаті дослідження ефекту розсіяння та відбиття акустичного сигналу від виходів газу з морського дна показано, що на відміну від газових бульбашок, які генеруються під час шторму в поверхневому шарі моря та реєструються гідролокаторами, як результат розсіяння акустичного сигналу бульбашками резонансного розміру, виходи газу з морського дна на частотах, більших 60 кГц, реєструються гідролокаторами переважно як результат відбиття акустичного сигналу. При реєстрації викидів газу з морського дна, частотний діапазон 40-50 кГц слід вважати таким, в якому створення акустичних перешкод за рахунок розсіяння вже невеликий, а за рахунок відбиття акустичної хвилі – ще невеликий.

Список літератури

1. Гладких, И. И. Влияние подводных газовых струй на достоверность результатов морских гидроакустических измерений / И. И. Гладких, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкина, В. Ю. Зорин // *Научно-технический журнал "Первый независимый научный вестник"* – 2016. – Т. 300, № 8. – С. 72–78.
2. Шнюков, Е. Ф., Янко, В. В. Газоотдача дна Черного моря: геолого-поисковое, экологическое и навигационное значение / Е. Ф. Шнюков., В. В. Янко // *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. Загальна та морська геологія.* – 2014. – Т. 19 – вип. 4.
3. Артёмов, Ю. Г. Распределение и потоки метановых струйных газовыделений в Черном море / Ю. Г. Артёмов: дис. ... канд. геогр. наук. – Севастополь, 2014. С. 109.
4. Шнюков, Е. Ф. Газовый вулканизм Черного моря / Е. Ф. Шнюков, В. П. Коболев, А. А. Пасынков. – К.: Логос, 2013. – С. 383.
5. Учитель, И. Л. Смена парадигмы современной геодинамики и сейсмоструктоники / И. Л. Учитель, Б. Б. Капочкин. – Academic Publishing LAP LAMBERT, 2014. – С. 80.
6. Starostenko, V. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological Environments / V. Starostenko, I. Rusakov, O. Shnyukov, E. Kobolev, V. Kutas // *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform.*

- Geological Society, London, Special Publications.* – 2010. – Т. 340, Р. 57–75. – doi:10.1144/SP340.5.
7. Буланов, В. А. Особенности рассеяния звука и структура микронеоднородностей в мелком море [Электронный ресурс] / В. А. Буланов, А. В. Storozhenko // Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН. URL: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/11/inc/r4_pdf/shultz/7.pdf.
 8. Михайлов, В. И. Теоретичні проблеми застосування ІЧ та НВЧ радіометрії на прикладі супутникового проекту NASA – JAXA / В. И. Михайлов, Н. В. Кучеренко, О. Г. Барган // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 25. – С. 138–146. – doi: 10.20998/2413–4295.2016.25.21.
 9. Leifer, I. The bubble mechanism for methane transport from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study / I. Leifer, R. Patro // *Continental shelf research, Elsevier Science Publishing Company* – 2002. – vol. 22, №16. – P. 2409–2428.
 10. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/276150659_A_new_methodology_for_quantifying_bubble_flow_rates_in_deep_water_using_splitbeam_echosounders_Examples_from_the_Arctic_offshore_NW-Svalbard
 11. Исакович, М. А. Общая акустика / М. А. Исакович. – Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. Учебное пособие, 1973.
 12. Bohrmann, G. Marine gas hydrates of the Eastern Black Sea / G. Bohrmann, T. Pape // *Report and preliminary results of R/V METEOR Cruise M72/3.* – Bremen. – 2007. – 130 p.

.Bibliography (transliterated)

1. Gladkikh, I. I, Kucherenko, N. V, Kapochkina, M. B, Zorin, V. Yu. Vliyaniye podvodnykh gazovykh struy na dostovernost' rezul'tatov morskikh gidroakusticheskikh izmereniy [Effect of underwater gas jets on the reliability of the results of marine hydroacoustic measurements]. *Naukovo-tekhnichniy zhurnal "Pervyy nezavisimyy nauchnyy vestnik" [The scientific and technical journal "The First Independent Scientific Journal"]*, 2016, **300**, № 8, 72–78.
2. Shnyukov, E. F., Yanko, V. V. Gazooldacha dna Chernogo morya: geologo-poiskovoe, ekologicheskoe i navigatsionnoye znachenie [Gas return of the Black Sea bottom: geological-search, ecological and navigational significance]. *Morskaya geologiya. Zhurnal ONU [Marine geology. Journal ONU], Geografic and geological sciences.* 2014, **19**, vip. 4.
3. Artemov, Yu.G. *Raspredelenie i potoki metanovykh struynykh gazovykh potokov v Chernom more: dis. ... kand. geogr. nauk [Distribution and fluxes of methane jet gas emissions in the Black Sea PhD. geogr. sci. diss.]*. Sevastopol, 2014. 109.
4. Shnyukov, E. F. *Gazovyy vulkanizm Chernogo morya [Gas volcanism of the Black Sea]*, K.: Logos, 2013, 383.
5. Uchitel, I., Kapochkin, B. *Smena paradigmy sovremennoy geodinamiki i seymotektoniki [Changing the paradigm of modern geodynamics and seismotectonics]*, Academic Publishing LAP LAMBERT, 2014, 80.
6. Starostenko, V. I., Rusakov, O. M., Shnyukov, E. F., Kobolev, V. P., Kutas, R. I. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological Environments. *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publications*, 2010, **340**, 57–75, doi:10.1144/SP340.5.
7. Bulanov, V. A., Storozhenko, A. V. Osobennosti rassenyaniya zvuka i struktura mikroneodnorodnostey v melkomo more [Features of sound scattering and the structure of microinhomogeneities in the shallow sea]. *Tikhookeanskiy okeanologicheskyy institut imeni V.I. Il'icheva DVO RAN [The Pacific Oceanological Institute named after V. I. Ilyichev FEB RAS]*. Available at: http://pacificinfo.ru/data/cdrom/11/inc/r4_pdf/shultz/7.pdf
8. Mikhailov, V. I. Kucherenko, N. V., Bargan, O. G. Teoretichni problemi zastosovannya ICh ta NVCh radiometrii na priklyadi suputnikovogo proektu NASA – JAXA [Theoretical problems of the stuck IR and AHF radiometry on the application of the satellite project NASA – JAXA]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "Kharkivskiy politekhnichniy institut". [Journal of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"]*, Series: *New solutions in modern technologies*, 2016, **25**, 138–146, doi: 10.20998/2413–4295.2016.25.21.
9. Leifer, I.I, Patro, R.K., The bubble mechanism for methane transport from the shallow sea bed to the surface: a review and sensitivity study. *Continental shelf research, Elsevier Science Publishing Company*, 2002, **22**, №16, 2409–2428.
10. A new methodology for quantifying bubble flow rates in deep water using splitbeam echosounders. Available at: https://www.researchgate.net/publication/276150659_A_new_methodology_for_quantifying_bubble_flow_rates_in_deep_water_using_splitbeam_echosounders_Examples_from_the_Arctic_offshore_NW-Svalbard
11. Isakovich, M. A. *Obshchaya akustika [General acoustics], Tutorial. Nauka Publishers, Main Editorial of Physical and Mathematical Literature, Moscow*, 1973. Available at: http://sci.sernam.ru/book_gac.php?id=113
12. Bohrmann, G., Pape, T. Marine gas hydrates of the Eastern Black Sea. *Report and preliminary results of R/V METEOR Cruise M72/3*, Bremen., 2007, 130 p.

Відомості про авторів (About authors)

Гладких Ігор Іванович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, МПП «ТСБ», м. Одеса, Україна, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Igor Gladkikh – doctor of engineering sciences, professor, leading researcher, private company ‘TSB’, Odesa, Ukraine, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Капочкін Борис Борисович – кандидат геолого-мінералогічних наук, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net.

Boris Kapochkin - doctor of philosophy, Senior Researcher, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " s. Odessa, Ukraine, e-mail: tsb1@ukr.net.

Кучеренко Наталія Василівна – кандидат географічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net.

Natalia Kucherenko - Candidate of Geographical Sciences, associate professor, Senior Researcher, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine , e-mail: tsb1@ukr.net.

Капочкіна Маргарита Борисівна – молодший науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: margo-92@ukr.net.

Marharyta Kapochkina - junior scientist, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine, e-mail: margo-92@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Гладких, І. І. Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна / **І. І. Гладких, Б. Б. Капочкін, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 90-97. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

Please cite this article as:

Gladkykh, I., Kapochkin, B., Kucherenko, N., Kapochkina, M. Physical principles of creation hydroacoustic barrier gas jet exit from the seabed. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 90-97, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гладких, И. И. Физические принципы создания гидроакустических помех струйными выходами газа с морского дна / **И. И. Гладких, Б. Б. Капочкин, Н. В. Кучеренко, М. Б. Капочкина** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 90-97. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.13.

АННОТАЦИЯ Целью работы является определение физического механизма генерации акустических образов струйных выходов газа с морского дна. Для достижения указанной цели исследована зависимость рассеяния и отражения звука в воде от частоты звука и диаметра пузырьков. Рассмотрена проблема формирования газовыми потоками метана, выделяющегося из морского дна, естественных акустических помех. Показано, что в Черном море обнаружено более 5000 газовых выходов. Изучены пространственные масштабы газовых выходов в Черном море, создающие природные акустические помехи. Рассмотрены теоретические вопросы дифференциации рассеяния и отражения звука от газовых пузырьков разного размера в зависимости от частоты акустических волн. В примере газовых пузырьков, образованных поверхностным волнением (размеры пузырьков измеряются первыми миллиметрами) и пузырьков метановых газовых струй (размеры пузырьков измеряются практически сантиметрами), показаны различия в физических механизмах их фиксации методами гидролокации. Сделано вывод, что в частотном диапазоне 40-50 кГц газовые струи создают минимальные помехи. Приведены результаты экспериментальных работ по изучению гидроакустических помех, создаваемых газовыми пузырьками при использовании гидролокации на рабочей частоте 60 кГц. Эксперимент выполнен с использованием гидролокатора, генератора газовых пузырьков, телеуправляемого подводного аппарата. В качестве цели использован аквалангист.

Ключевые слова: газовые пузырьки; рассеяние звука; отражение звука; резонансная частота рассеяния акустического сигнала; гидроакустика; звуковые акустические волны; ультразвуковые акустические волны.

Надійшла (received) 16.03.2018

УДК 528.472: 519.878

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.14

ФІЗИКО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ПОЛЯ КОРАБЛЯ НА БАЗІ ГІДРОДИНАМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

I. I. GLADKYKH¹, M. B. KAPOCHKINA^{2}*¹МПП «ТСБ», м. Одеса, УКРАЇНА²Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, УКРАЇНА

*e-mail: tsb1@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглядаються перспективні напрямки розвитку систем автоматизованого проектування кораблів. Показані переваги математичного гідродинамічного моделювання кораблів у порівнянні з фізичним моделюванням гідродинаміки його моделі. Розглянуті методичні проблеми аналізу даних математичного гідродинамічного моделювання кораблів. Представлені методичні рішення та розглянуті конкретні приклади обробки статистичними методами результатів математичного гідродинамічного моделювання кораблів. На базі цифрової моделі корабля досліджено вплив геометрії його корпусу на гідродинамічне поле, розраховане шляхом математичного моделювання глибини розповсюдження аномалій надлишкового тиску в нестискуваній рідині. Розрахунки виконані для швидкості руху корабля 30 вузлів. В результаті розрахунку повного, а також аномального тиску у водному середовищі, що був створений в процесі руху кораблем, була апробована методика фізико-математичного моделювання його гідродинамічного поля. Фізико-статистичне моделювання реалізується за допомогою застосування регресійного аналізу для формалізації емпіричних закономірностей. Отримані результати емпіричних залежностей глибини аномалій надлишкового тиску від швидкості об'єкта. Для району північно-західного шельфу Чорного моря виконано районування акваторії за фактором швидкості руху судна, що забезпечує непомітне переміщення в умовах передбачуваного розгортання донних гідростатичних комплексів моніторингу гідродинамічного поля. За результатами районування акваторії побудована карта. Розрахунки виконані для конкретної моделі корабля і не можуть бути застосовані для суден з відмінною геометрією корпусу. Кожний клас кораблів повинен бути забезпечений окремими розрахунками гідродинамічного поля, що створюється ним в процесі різних режимів руху.

Ключові слова: гідродинамічне поле корабля; поле виняткового динамічного тиску; швидкість судна; геометрія корпусу корабля, рельєф морського дна; регресійний аналіз; гідродинамічне моделювання; гідрографія; навігація.

PHYSICO-STATISTICAL MODELING OF THE HYDRODYNAMIC FIELD OF THE SHIP ON THE BASIS OF HYDRODYNAMIC CALCULATIONS

I. GLADKYKH¹, M. KAPOCHKINA^{2}*¹Private Company "TSB", Odessa, UKRAINE²Research Center of the Armed Forces of Ukraine "State Oceanarium", Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The perspective directions of development of systems of automated designing of ships are considered. The advantages of mathematical hydrodynamic modeling of ships in comparison with physical modeling of hydrodynamics of its model are shown. The methodical problems of data analysis of mathematical hydrodynamic modeling of ships are considered. The methodical solutions are presented and concrete examples of statistical methods processing of results of mathematical hydrodynamic modeling of ships are considered. The influence of the geometry of its body on the hydrodynamic field, calculated on the basis of the digital model of the ship, is calculated by mathematical modeling of the depth of propagation of excess pressure anomalies in unchanged fluid. Calculations are made for the speed of ships in 30 knots. As a result of the calculation of the complete, as well as abnormal, exceptional pressure in the aqueous environment created by the moving vehicle, the method of physico-mathematical modeling of its hydrodynamic field was tested. Physical-statistical modeling is implemented by applying regression analysis to formalize empirical regularities. The obtained results of the empirical dependencies of the depth of the anomaly of excess pressure from the object speed. For the area of the northwestern Black Sea shelf, the zoning of the water area was performed on the speed factor of the vessel, which provides a hidden movement in conditions of the planned deployment of bottom hydrostatic monitoring systems for the hydrodynamic field. Based on the results of zoning of the water area, a map was constructed. The calculations are made for a specific ship model and can not be used for vessels with excellent body geometry. Each class of ships must be provided with separate calculations created by it hydrodynamic field.

Keywords: hydrodynamic field ships; field of exceptional dynamic pressure; speed of the vessel; geometry of the ship's hull, relief of the seabed; regression analysis; hydrodynamic simulation; hydrography; navigation.

Вступ

Кораблі під час руху по водній поверхні впливають на водне середовище, змінюючи поле

гідростатичного тиску у водному середовищі. Розрахунки гідродинамічного поля корабля доцільно виконувати з метою унеможливлення його демаскування. Гідродинамічне поле використовується

для пошуку кораблів, наведення на них бойових засобів. Слід враховувати, що генерування гідродинамічного поля пов'язане з рухом корабля.

Загальновідомо, що поле надмірного тиску (рівень гідродинамічного поля рухомого об'єкту) зменшуються при зменшенні швидкості його руху. Зниження швидкості корабля до безпечного рівня є ефективним засобом унеможливлення визначення його положення. Визначення безпечних швидкостей корабля пересування корабля з урахуванням просторових змін глибини моря є необхідною складовою планування бойових дій в районах, де розгорнуті донні мережецентричні системи реєстрації гідродинамічного поля та в районах можливої постановки гідродинамічних мін.

Вважається, що ефективним тактичним прийомом унеможливлення виявлення корабля донними гідростатичними пристроями є вибір безпечної швидкості ходу, тобто такої швидкості, при якій або величина зміни тиску під кораблем не перевищить встановленого порогу пристрою з вимірювання гідростатичного тиску, або час дії області змінного тиску виявиться меншим, ніж встановлено в системі реєстрації аномалій гідростатичного тиску.

Донні системи реєстрації змін гідростатичного тиску здатні реєструвати зміни, які дорівнюють 0,0005% вимірюваної величини. Наприклад донна система реєстрації змін гідростатичного тиску DART, встановлена на глибині 5 тис. м, здатна визначати зміни рівня океану, менш ніж на 3 см [1]. Тобто, в шельфовій зоні системи з такою чутливістю здатні реєструвати не тільки гідродинамічне поле корабля, але й підвищення рівня морської поверхні перед носовою частиною корабля, корабельні хвилі тощо.

Вважається, що ефективних засобів гідродинамічної захисту корабля не існує. Зменшення гідродинамічного поля корабля можливе шляхом вибору оптимального співвідношення водотоннажності корабля та форми його корпусу. В роботі розглянуто питання зменшення гідродинамічного поля лише за рахунок зміни швидкості руху корабля.

Мета роботи

Метою дослідження є навігаційно-гідрографічне забезпечення скритності пересування корабля в умовах розгортання мережецентричних гідростатичних систем пошуку рухомої цілі. Тобто, метою є районування акваторії за фактором безпечної для систем гідродинамічного спостереження швидкості руху корабля.

Досягнення зазначеної мети досягається шляхом вирішення таких завдань:

розрахунку просторового положення ізобар відповідного значення динамічного тиску, що створюється кораблем під час руху за умов змінної швидкості пересування;

забезпечення скритності (від донних систем вимірювання змін гідростатичного тиску) пересування корабля, шляхом визначення зміни швидкості руху його з урахуванням фактичних глибин моря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вважається загальноприйнятим, що суднобудування - традиційно консервативна галузь, яка істотно відстає в області математичного гідродинамічного моделювання та автоматизованого проектування від авіаційної та автомобільної галузей. На сучасному науково-технічному рівні, на жаль, головною метою гідродинамічного моделювання у кораблебудуванні зазвичай є порівняння результатів математичного моделювання з результатами фізичного моделювання, яке приймається за еталон. Фактично, результати математичного гідродинамічного моделювання, яке виконане з застосуванням сертифікованого програмного забезпечення, поступається лише фізичному моделюванню фактичного корабля в реальних умовах. Фізичне моделювання на базі моделі корабля, яка виконана з масштабуванням, не є сертифікованим.

На практиці, вирішення проблемних питань проектування корабля досі вирішується шляхом фізичного моделювання у басейнах та аеродинамічних експериментах в аеродинамічних трубах. Загальновідомо, що фізичне аеродинамічне та гідродинамічне моделювання не є сертифікованим. Найбільше спотворення результатів такого моделювання відбувається у випадках, коли шляхом побудови моделі, змінюється просторовий масштаб корабля. За таких умов необхідно змінювати параметри середовища. Відповідно коефіцієнту масштабування моделі корабля необхідно змінювати густину, в'язкість, параметри турбулентності рідини та газу тощо. На підставі зазначеного вважаємо, що тема виконаного наукового дослідження з фізико-статистичного моделювання, виконаного за результатами розрахунків гідродинамічного поля корабля з застосуванням сучасних технологій математичного гідродинамічного моделювання на базі сертифікованих програмних продуктів, є актуальною.

Враховуючи перспективи проектування кораблів, у тому числі безекіпажних, що придатні для застосування в умовах, неприпустимих для звичайних кораблів, тема дослідження вважається перспективною, а задіяння методів фізико-статистичного моделювання для аналізу результатів гідродинамічного моделювання характеризується певною новизною. Математичне та фізико-статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля має суттєві техніко-економічні переваги в порівнянні з натурними експериментами, тому тема дослідження має практичне значення.

Гідродинамічне моделювання корабля, як правило, має за мету підвищення тактико-технічних характеристик шляхом оптимізації геометрії корпусу. Загально відомо, що швидкість руху корабля зменшується за рахунок втрати енергії руху на подолання сили тертя, на генерування корабельних хвиль та, в умовах мілини, на подолання сил тертя що виникають за рахунок взаємодії зони надмірного тиску навколо підводної частини корпусу корабля з морським дном. Втрати енергії руху на подолання сили тертя обумовлені:

- особливостями геометрії підводної частини корабля;
- шорсткістю поверхні підводної частини корабля;
- густиною води.

Втрати енергії руху корабля на генерування корабельних хвиль обумовлені:

- особливостями геометрії підводної частини корабля;
- швидкістю руху корабля.

Втрати енергії руху корабля, в умовах мілини, на подолання сил тертя, що виникають за рахунок взаємодії зони надмірного тиску навколо підводної частини корпусу корабля з дном, додатково обумовлені співвідношенням глибини моря до осадки корабля та співвідношенням швидкості руху корабля до глибини моря (в умовах обмеженої глибини).

Слід зазначити, що кінцевими результатами гідродинамічних розрахунків зазвичай вважають: розрахунок опору при буксируванні корабля, розрахунок ліній току вздовж корпусу корабля та розподіл динамічного тиску корабля [2]. На рис. 1 наведено результати розрахунку ліній току.

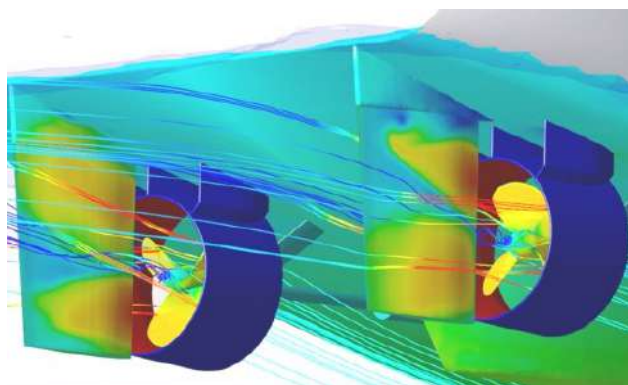


Рис. 1 - Результати розрахунку ліній току [3]

Вплив корабельних хвиль на швидкість руху судна розглядалася у роботі [4].

Гідродинамічні розрахунки динамічного тиску, що створюється судном, наведені в роботі [5]. На рис. 2 показано розподіл ізоповерхні динамічного тиску 2500 Па (темним кольором - негативний тиск, сірим позитивний).

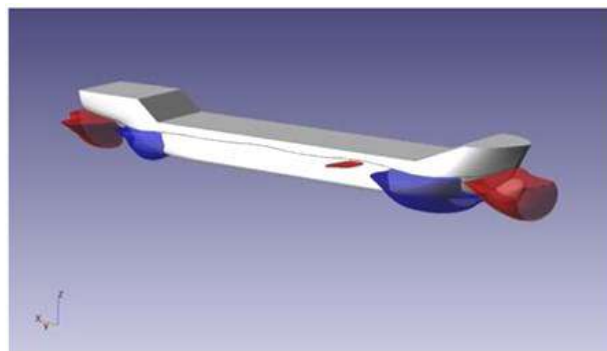


Рис. 2 - Ізобари динамічного тиску 2500 Па (темним кольором показано від'ємний тиск, сірим позитивний) [5]

За результатами розрахунку підтверджується очікувана позитивна аномалія динамічного тиску в носовій частині корабля та визначається кормова позитивна аномалія динамічного тиску.

Форма ізобари динамічного тиску 2500 Па, в умовах мілини, змінюється за рахунок взаємодії зони надмірного динамічного тиску навколо підводної частини корпусу корабля з дном, що підтвержене розрахунками, виконаними для умов «мілкої» води (рис. 2). Згідно результатів розрахунків, виконаних для певної швидкості руху судна, так само генерується носова та кормова зони надмірного динамічного тиску, але розміри аномальних зон збільшуються, а їх форми змінюються.

Отримані результати підтверджують тезу про те, що під час руху корабля під його корпусом відбувається зміна гідростатичного тиску води (в носовій та кормовій частинах утворюються зони підвищеного тиску, в середній частині корпусу область зниженого тиску), а цілі, зазвичай, визначається за від'ємною аномалією динамічного тиску.

На нашу думку це є спрощенням. Гідродинамічне поле корабля, визначене за результатами математичного гідродинамічного моделювання, характеризується кормовою, кормовою та носовою та виключно носовою позитивними аномаліями динамічного тиску. Тобто, визначення цілі можливе не тільки за від'ємною аномалією динамічного тиску, а й більш ефективними рішеннями.

В публікаціях не розглядається можливість залучення даних розрахунків позитивних аномалій динамічного тиску рухомого об'єкту на практично нестискуване водне середовище для оцінки механізму генерування корабельних хвиль. Сила дії корабля на водне середовище, згідно третього закону Ньютона, «сила дії дорівнює силі протидії», в умовах практично нестискуваної води, повинна змінювати форму водної поверхні, тобто генерувати на поверхні розділу вода-повітря поверхневі поперечні хвилі. На нашу думку, форма (кількість та місця формування позитивних аномалій динамічного тиску) та розміри (об'єм) зон

надмірного динамічного тиску свідчать про кількість місць генерування корабельних хвиль та їх висоту (енергію).

Корабельні хвилі розглядають як причину втрат енергії руху корабля. Загальновідомо, що співвідношення гравітаційних та інерційних сил в умовах руху корабля на водній поверхні оцінюється числом Фруда (Fr). Ефективним є рух корабля за $Fr \leq (0,35 - 0,39)$. За таких умов корабель рухається на двох корабельних хвилях - носовій та кормовій. Вважається, що перевищення наведеного порогу числа Фруда для маломірних кораблів відбувається за умов відриву та відставання кормової хвилі. За таких умов корабель рухається на одній (носовій хвилі), тобто безперервно намагається «вийти» на гребінь хвилі, тобто, корабель починає витрачати енергію руху на подолання гравітаційної сили.

З другого боку, корабельні хвилі можуть бути пошуковою ознакою виявлення корабля донними мережецентричними системами вимірювання аномалій статичного тиску.

Окремо може розглядатися демаскуючий ефект корабельних хвиль. На рис. 3 показано, що рухомий об'єкт, що має розміри менші від 30 м, генерує фронт корабельної хвилі довжиною до 2 км, який може бути досліджений при дешифруванні зображення морської поверхні, отриманого шляхом дистанційного зондування акваторій з повітря.

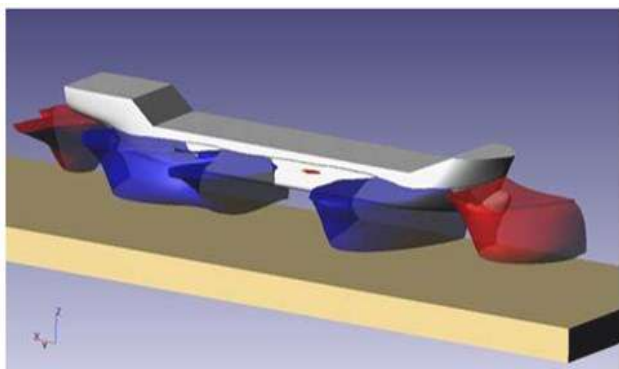


Рис. 3 - Ізобара динамічного тиску 2500 Па (чорним кольором показано негативний тиск, сірим - позитивний) [5]



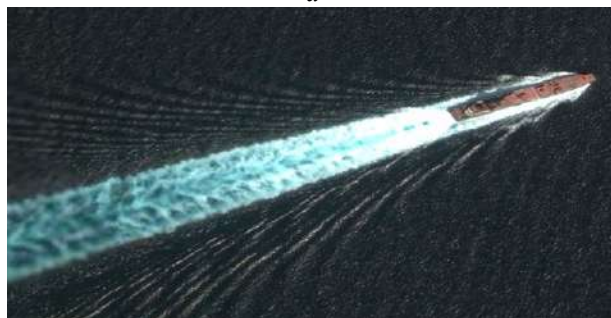
Рис. 4 – Фото корабельних хвиль від рухомих цілей [6]

Слід відмітити, що зазначена пошукова ознака має як переваги так і обмеження. Метод спрощує візуальний аналіз зображення, але при застосуванні математичних методів обробки, втрачає переваги. Крім цього, застосування корабельних хвиль, як пошукової ознаки визначення цілі, обмежене метеорологічними умовами [7] та низкою інших факторів.

На рис. 5 наведені фото на яких показано рух корабля зі швидкістю, коли корабель практично не втрачає енергію на генерування корабельних хвиль (рис. 5а), коли корабель під час руху з більш високою швидкістю ходу починає втрачати енергію на генерування носової та кормової корабельних хвиль (рис. 5б). При подальшому збільшенні швидкості руху корабель втрачає кормову хвилю і, рухаючись виключно на носовій корабельній хвилі, отримує вертикальну складову руху, тобто починає додатково втрачати енергію руху на подолання сили тяжіння (рис. 5в).



а



б



в

Рис. 5 – Фото руху кораблів з різною швидкістю та з різними показниками чисел Фруда а) практично не генеруючи корабельні хвилі, б) генеруючи носову та кормову корабельні хвилі, в) генеруючи виключно носову корабельну хвилю [6]

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Гідродинамічне поле корабля формується під впливом дії підводної частини корпусу корабля на нестискувану рідину (морську воду). Значення динамічного тиску, що створюється кораблем у водному середовищі, обумовлено особливостями геометрії підводної частини корабля та швидкістю його руху.

Рухомі об'єкти, такі як надводні кораблі та підводні човни, формують такі пошукові ознаки, як корабельні хвилі, кильватерні струмені, довгохвильові акустичні хвилі, аномалії надмірного тиску у водному середовищі тощо [8, 9, 10, 11, 12].

Поле динамічного тиску корабля на водну товщу є одним з пошукових ознак визначення його положення за створеним гідродинамічним полем. Тому з одного боку важливим є питання визначення залежності геометрії певної ізобари позитивної аномалії динамічного тиску від швидкості руху корабля, а з другого боку, важливим є в умовах фактичної глибини моря, визначити швидкість руху корабля, за якої створена відповідна ізобара динамічного тиску не досягатиме дна.

Невирішеною є методична проблема аналізу результатів математичного гідродинамічного моделювання. Пропонується виконувати аналіз результатів гідродинамічного моделювання методами фізико статистичного моделювання.

Виклад основного матеріалу

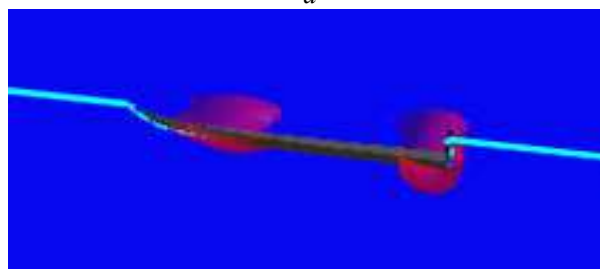
Нами проведено гідродинамічне моделювання гідродинамічного поля корабля шляхом розрахунку форми та об'єму ізобар надмірного тиску.

Результати досліджень пройшли апробацію на конференціях: «Спільні дії військових формувань держави: проблеми та перспективи», м. Одеса 10-11 вересня 2015 року; «Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки», м. Київ 15-18 грудня 2015 р. та на Міжнародному науковому форумі "Морська стратегія держави. Розвиток та реалізація морського потенціалу України", м. Київ 24-25 травня 2016 року в рамках доповідей: "Математическое моделирование гидродинамического и теплового полей корабля на примере корвета. Постановка задачи", "Вимоги та граничні умови цифрового моделювання гідродинаміки підводної техніки" і "Основні напрямки наукових досліджень в інтересах розвитку кораблебудівної галузі України та створення новітніх зразків морського озброєння та військової техніки", відповідно.

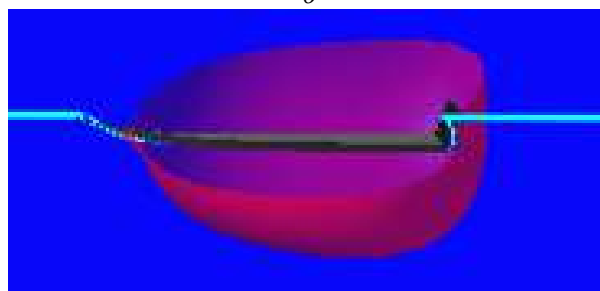
На рис. 6 наведено приклади розрахунку певної ізобари надмірного тиску, що створюється кораблем при русі з різною швидкістю.



а



б



в

Рис. 6 – результати розрахунку певної ізобари динамічного тиску при швидкості руху корабля, коли згідно значень числа Фруда а) корабельні хвилі практично не генеруються, б) генеруються носова та кормова корабельні хвилі, в) генерується виключно носова корабельна хвиля

Результати розрахунків, приведені на рис. 6 у певній мірі відповідають фактичним умовам генерування корабельних хвиль за різних швидкостей руху, що наведені на рис. 5. Важливо розуміти, що при зростанні швидкості руху корабля теоретично не виключено перехід його руху в режим глісерування, при якому корабельні хвилі практично не генеруються. Приклад руху в таких умовах наведено на рис. 7.

В результаті математичного гідродинамічного моделювання гідродинамічного поля корабля за умов швидкості руху 30 вузлів, при якій позитивна аномалія динамічного тиску генерується відповідно рис. 6в, були визначені вертикальні відстані ізобар в діапазоні 6 кПа. Для ізобари будь-якого чисельного значення доцільно, шляхом застосування регресійного аналізу, розрахувати рівняння залежності вертикальної відстані від морської поверхні від швидкості руху корабля. За нашим досвідом, залежність є експоненційною. Результати розрахунку показані на рис. 8.



Рис. 7 – Фото руху корабля в режимі глісування [6]

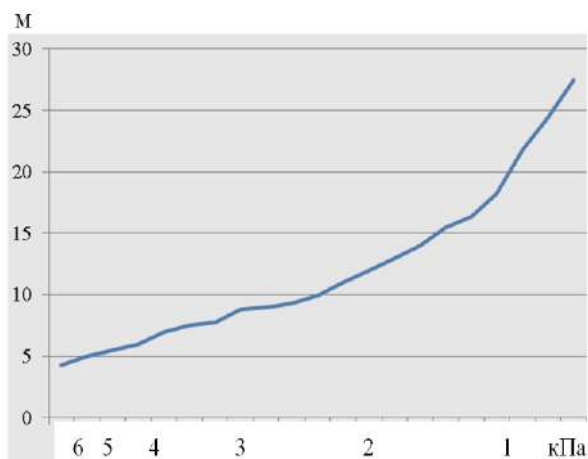


Рис. 8 - Графік вертикальної відстані від морської поверхні до відповідної ізобари динамічного тиску за умов швидкості руху 30 вузлів

За результатами розрахунку встановлено, що унеможливлення виявлення корабля донними гідростатичними пристроями мережецентричної системи досягається змінами режиму швидкості його руху.

Якщо встановлений поріг донної мережецентричної системи з реєстрації гідродинамічного поля корабля (вимірювання гідростатичного тиску) становить 6 кПа, унеможливлення фіксації корабля досягається на глибинах >5 м. Якщо поріг реєстрації гідродинамічного поля 3 кПа, унеможливлення фіксації корабля досягається на глибинах >9 м. Для порогу реєстрації гідродинамічного поля 1 кПа, унеможливлення фіксації корабля досягається на глибинах >20 м. Для зазначеного порогу донної мережецентричної системи з реєстрації гідродинамічного поля корабля (вимірювання гідростатичного тиску), було проведено районування акваторії північно-західної частини Чорного моря. На рис. 9 білим кольором виділено райони, де глибини дозволяють кораблю рухатись з швидкістю 30 вузлів і не бути зафіксованому за даними вимірювання гідростатичного тиску, рухатись зі швидкістю 30 вузлів і не бути

зафіксованому мережецентричною системою з реєстрації гідродинамічного поля корабля (вимірювання гідростатичного тиску) з пороговим значенням гідростатичного тиску 1 кПа.

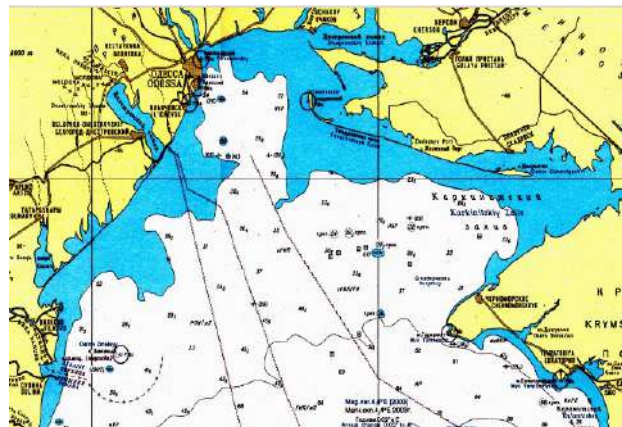


Рис. 9 – Результати районування акваторії північно-західної частини Чорного моря за фактором швидкості руху (білим кольором виділено райони, де глибини дозволяють кораблю рухатись зі швидкістю 30 вузлів і не бути зафіксованому за даними вимірювання гідростатичного тиску з пороговим значенням 1 кПа)

Розроблена методика дозволяє для різних типів кораблів виконувати розрахунки форми та розмірів ізобари динамічного тиску, яка є пороговою для фіксації системами моніторингу гідродинамічного поля. Розрахунки виконуються для різних швидкостей руху корабля. Отримані результати є вхідними даними для районування будь-яких акваторій Світового океану за ознакою вибору швидкості руху корабля (визначеного типу) з метою унеможливлення його фіксації за гідродинамічним полем.

Висновки

В результаті застосування статистичних методів аналізу даних розрахунку гідродинамічного поля корабля, показано можливість формалізації його характеристик у аналітичному вигляді, що в подальшому дозволяє автоматизувати процес районування будь-яких акваторій за ознакою швидкості руху корабля, яка не створює критичних умов перевищення порогу реєстрації гідродинамічного поля та унеможливорює фіксацію поля корабля донними гідростатичними пристроями.

Список літератури

1. Overview of first operational DART® Mooring System [Електронний ресурс]. URL: https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/dart_ms1.html

2. Михайлова, М. К. Расчетный анализ буксировочного сопротивления моторной яхты [Электронный ресурс] / М. К. Михайлова, А. Е. Щеляев. URL: <https://flowvision.ru/images/Yahta.pdf>
3. Суднобудівництво [Електронний ресурс]. URL: <https://flowvision.ru/ru/>
4. Печенюк, А. В. Моделирование буксировочных испытаний перспективного контейнеровоза KRISO при помощи комплекса гидродинамического анализа "Flow Vision" / А. В. Печенюк // Труды конференции "Инженерные системы 2005" – серия "Прикладные исследования в механике. Изд. МФТИ. – 2005. – С. 46–54.
5. Печенюк, А. В. Численное моделирование обтекания корпуса судна в условиях мелководья [Электронный ресурс] / А. В. Печенюк. URL: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_d1_dmt.pdf
6. Google планета земля [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com.ua/intl/ru/earth/>
7. Soloviev, A. Sonar Measurements in Ship Wakes Simultaneous With TerraSAR–X / A. Soloviev, M. Gilman, K. Young, S. Bruschi, S. Lehner // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2010. – Volume 48. – Issue 2. – P. 841 – 851.
8. Soloviev, A. Remote Sensing of Ship Wakes [Электронный ресурс] / A. Soloviev, M. Gilman, K. Moore, K. Young, H. Graber // *SEASAR 2008: Advances in SAR Oceanography from ENVISAT and ERS missions. European Space Agency*. – Roma, Italy. – 2008. URL: <http://earth.esa.int/workshops/seasar2008/programme.html>
9. Gilman, M. Burge Sonar Measurements in Ship Wakes Simultaneous With TerraSAR–X Overpasses / M. Gilman, K. Young // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2010. – Volume 48. – Issue 2.
10. Grazian, M. D. Performance Analysis of Ship Wake Detection on Sentinel–1 SAR Images / M. D. Grazian, M. Grasso, M. D’Errico // *2Remote Sensing*. – 2017. – 9(11). – 1107. – doi:10.3390/rs9111107.
11. Paes, R. L. Ship detection using TerraSAR–X images in the Campos Basin (Brazil). / R. L. Paes, J. A. Lorenzetti, D. F. M. Gherardi // *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* – 2010. – 7. – P. 545–548.
12. Ermakov, S. Ship wake signatures in radar/optical images of the sea surface: observations and physical mechanisms. / S. Ermakov, I. Kapustin, T. Lazareva // *Proc. SPIE*. – 2014. – 9240.
2. Mikhailova, M., Shchelyaev, A. Ye., Raschetnyy analiz buksirovochnogo soprotivleniya motornoy yakhty. [Calculation analysis of towing resistance of a motor yacht]. Available at: <https://flowvision.ru/images/Yahta.pdf>
3. Sudnobudivnitsvo [Shipbuilding]. Available at: <https://flowvision.ru/ru/>
4. Pechenuk, A. V. Modelirovanie buksirovochnykh ispytaniy perspektivnogo konteynerovoza KRISO pri pomoshchi kompleksa gidrodinamicheskogo analiza "Flow Vision" [Modeling of the towing tests of a prospective container ship KRISO using a complex of hydrodynamic analysis "Flow Vision"]. *Trudy konferentsii "Inzhenernye sistemy 2005" seriya "Prikladnye issledovaniya v mekhanike [Proceedings of the conference "Engineering Systems 2005"], series "Applied Research in Mechanics"*, ed. MIPT, 2005, 46–54.
5. Pechenyuk, A. V. Chislennoe modelirovanie obtekaniya korpusa sudna v usloviyakh melkovod'ya [Numerical simulation of hull flow in shallow waters]. Available at: https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_d1_dmt.pdf.
6. Google eath. Available at: <https://www.google.com.ua/intl/ru/earth/>
7. Soloviev, A., Gilman, M., Young, K., Bruschi, S., Lehner, S. Sonar Measurements in Ship Wakes Simultaneous With TerraSAR–X. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, **48**, 2, 841 – 851.
8. Soloviev, A., Gilman, M., Moore, K., Young, K., Graber, H. Remote Sensing of Ship Wakes. *SEASAR 2008: Advances in SAR Oceanography from ENVISAT and ERS missions. European Space Agency*, Roma, Italy, Available at: <http://earth.esa.int/workshops/seasar2008/programme.html>
9. Gilman, M., Young, K. Burge Sonar Measurements in Ship Wakes Simultaneous With TerraSAR–X Overpasses. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, **48**, 2.
10. Grazian, M. D., Grasso, M., D’Errico, M., Performance Analysis of Ship Wake Detection on Sentinel–1 SAR Images. *2Remote Sensing*, 2017, **9**(11), 1107, doi:10.3390/rs9111107.
11. Paes, R. L., Lorenzetti, J. A., Gherardi, D. F. M. Ship detection using TerraSAR–X images in the Campos Basin (Brazil). *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 2010, **7**, 545–548.
12. Ermakov, S., Kapustin, I., Lazareva, T. Ship wake signatures in radar/optical images of the sea surface: observations and physical mechanisms, *Proc. SPIE*, 2014, 9240.

Bibliography (transliterated)

1. Overview of first operational DART® Mooring System. Available at: https://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/dart_msl.html

Відомості про авторів (About authors)

Гладких Ігор Іванович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, МПП «ТСБ», м. Одеса, Україна, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Igor Gladkih - doctor of engineering sciences, professor, leader researcher, Private Company (TSB), Odessa, Ukraine, e-mail: gladkykh958@gmail.com.

Капочкіна Маргарита Борисівна - молодший науковий співробітник, Науково-дослідний центр Збройних Сил України «Державний океанаріум», м. Одеса, Україна, e-mail: tsb1@ukr.net.

Margaryta Kapochkina - junior scientist, Research Center of the Armed Forces of Ukraine " State Oceanarium " c. Odessa, Ukraine, e-mail: margo-92@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Гладких, І. І. Фізико-статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля на базі гідродинамічних розрахунків / **І. І. Гладких, М. Б. Капочкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 98-105. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.14.

Please cite this article as:

Gladkykh, I., Kapochkina, M. Physico-statistical modeling of the hydrodynamic field of the ship on the basis of hydrodynamic calculations. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 98-105, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гладких, И. И. Физико-статистическое моделирование гидродинамического поля корабля на базе гидродинамических расчетов / **И. И. Гладких, М. Б. Капочкина** / *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 98-105. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.14.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены перспективные направления развития систем автоматизированного проектирования кораблей. Показаны преимущества математического гидродинамического моделирования корабля в сравнении с физическим моделированием гидродинамики его модели. Рассмотрены методические проблемы анализа данных математического гидродинамического моделирования корабля. Предложены методические решения и рассмотрены конкретные примеры обработки статистическими методами результатов математического гидродинамического моделирования корабля. На базе цифровой модели корабля исследовано влияние геометрии его корпуса на гидродинамическое поле, рассчитанное путем математического моделирования глубины распространения аномалии избыточного давления в несжимаемой жидкости. Расчеты выполнены для скорости движения корабля в 30 узлов. В результате расчетов полного, и аномалий избыточного давления в водной среде, создаваемых движущимся кораблем, была апробирована методика физико-математического моделирования его гидродинамического поля. Физико-статистическое моделирование реализовано путем применения регрессионного анализа для формализации эмпирических закономерностей. Получены результаты эмпирические зависимости глубины аномалий избыточного давления от скорости объекта. Для района северо-западного шельфа Черного моря выполнено районирование акватории по фактору скорости движения корабля, обеспечивающей скрытное перемещение в условиях предполагаемого развертывания донных гидростатических комплексов мониторинга гидродинамического поля. По результатам районирования построена карта. Расчеты выполнены для конкретной модели корабля и не могут быть применены для кораблей с отличающейся геометрией корпуса. Каждый класс кораблей должен быть обеспечен отдельными расчетами, создаваемого им гидродинамического поля.

Ключевые слова: гидродинамическое поле корабля; поле избыточного динамического давления; скорость судна; геометрия корпуса корабля, рельеф морского дна; регрессионный анализ; гидродинамическое моделирование; гидрография; навигация.

Надійшла (received) 15.03.2018

УДК 004.773.2

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.15

СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФРАГМЕНТІВ ОНЛАЙН-ДИСКУСІЙ З ПІДОЗРОЮ НА НАЯВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ

З. Д. ГОЛУБ

Кафедра соціальних комунікацій та інформаційної діяльності, НУ «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
e-mail: zorianaholub@gmail.com

АНОТАЦІЯ У статті розглянуто критерії для виявлення і виділення підозрілих фрагментів дискусій онлайн-спільнот. Критерії поділено за темпоральною характеристикою на динамічні та статичні. Згідно з формальною моделлю онлайн-спільноти виділено організаційно-структурні рівні, на яких критерії відрізняються формою реалізації та механізмом виявлення. На основі критеріїв побудовано фільтри для виявлення підозрілих фрагментів дискусії, описано будову системи фільтрів, застосовано метод вагових показників для визначення підозрілого фрагменту дискусії на основі результатів проходження системи фільтрів.

Ключові слова: інформаційно-психологічна маніпуляція; динамічний критерій; статичний критерій; система фільтрів; онлайн-спільнота.

SYSTEM OF CRITERIA FOR DETECTING ONLINE DISCUSSION FRAGMENTS SUSPECTED OF CONTAINING INFORMATION AND PSYCHOLOGICAL MANIPULATION

Z. HOLUB

Social Communication and Informational Activities Department, Lviv National Polytechnic University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT This paper is devoted to the problem of detecting and outlining discussion fragments of online communities suspected of containing information and psychological manipulation (IPM). Criteria are divided into dynamic and static on the basis of temporal features. Static criteria are participant-centred, they constitute an overall characteristic of the participants activities in light of IPM. Static criteria are divided into three classes in accordance to the entitlement of a participant to influence and create data for the criteria. The latter are profile data, behavioural characteristics, activities history. Dynamic criteria are exploit to analyse a particular act of information activity and are used for analysing communication at the message level. Dynamic criteria are divided into to classes on the basis of level of processing and analysis required to obtained data necessary for the criteria. The latter are shallow and deep dynamic criteria. In accordance to the formal model of an online community organizational and structural levels are defined. Suspected discussion fragments are detected by means of analysing data extracted from different levels of organizational structure of online communities. They are community level, discussion level, message level. Criteria differs by the form of realization and detection mechanism at each level. The system of filters for detecting suspicious discussion fragments is devised on the basis of the criteria, taking into consideration that criteria have different significance and stay in different cause-result relations with the IPM precedent. The structure of the system of filters is described, the method of weighted indices for detecting a suspicious discussion fragment on the basis of filtering procedure results is applied. Every criterion has different significance for the detecting IPM. Considering that fact, for every filter the weight was assigned. A discussion fragment that is trapped by a predefined quantity of filters is identified as a suspicious discussion fragment.

Keywords: informational and psychological manipulation; dynamic criteria; static criteria; the system of filters; online communities

Вступ

Забезпечення ефективності та безпеки інформаційної діяльності в онлайн-спільнотах належить до ключових проблем сьогодення. Внаслідок популярності онлайн-спільнот, як платформ для обміну інформацією, негативні явища традиційного спілкування перемістилися в онлайн-дискусії. Постає проблема захисту учасників онлайн-спільнот від деструктивного впливу інформаційно-психологічної маніпуляції (ІПМ).

Процес виявлення ІПМ в онлайн-спільнотах передбачає ґрунтовий та глибокий аналіз інформаційного наповнення онлайн-спільноти, тобто обробку вербальної, невербальної та метаграфічної складових текстових повідомлень [1, 2]. Цей процес буде часо- та ресурсозатратними, якщо не обмежити

область аналізу. Виникає потреба у розробленні критеріїв для поверхневого аналізу онлайн-спільнот з метою виділення та окреслення областей для глибинного аналізу на предмет наявності ІПМ. Ці критерії мають враховувати багаторівневу будову онлайн-спільноти, особливості текстової онлайн-комунікації та види інформаційної активності, які доступні у онлайн-спільнотах.

Сучасні дослідження спрямовані на вирішення проблеми виявлення деструктивної інформаційної діяльності в онлайн-спільнотах пропонують застосовувати інструменти виділення ставлення [3-4], інструменти тонального аналізу [5-7] для вирішення дотичних проблем, але ці інструменти дозволяють вирішити лише певні аспекти проблеми виявлення ІПМ в онлайн-спільнотах.

Ціль роботи

У роботі поставлено мету розробити критерії для виявлення підозрілих фрагментів дискусії. На основі цих критеріїв необхідно побудувати систему фільтрів для виявлення фрагментів дискусії, які містять найбільше ознак ІПМ.

Виклад основного матеріалу

Критерії, які свідчать про потенційну наявність ІПМ поділяються на два темпоральні види динамічні і статичні. В основу даної класифікації покладено часовий період необхідний для збору інформації для розрахунку критерію. Введемо наступні групи критеріїв.

- Статичні критерії — це критерії, які розраховуються на основі діяльності учасника протягом встановленого періоду часу.

- Динамічні критерії — це критерії, на основі яких можна робити висновки зразу ж після їх ідентифікації, які не потребують спостережень протягом певного періоду часу.

Статичні критерії наявності ІПМ

Статичні критерії зосереджені навколо діяльності учасника онлайн-спільноти. Статичні критерії поділяються на три класи залежно від спроможності учасника впливати на та створювати дані для критеріїв.

Для розрахунку статичних критеріїв необхідно дані наступних типів:

- дані;
- поведінкові характеристики користувача;
- історія дій.

Дані профілю — це дані, які учасник самостійно додає до профілю і змінює. Відсутність або мала кількість даних цього типу (аватар, місце навчання, робота і т.д.) є підставою для виникнення підозр щодо цього учасника [8].

Дані профілю, зокрема, використовуються на підготовчому етапі алгоритму виявлення ІПМ в соціальних середовищах інтернету, з метою створення списку релевантних спільнот, адже на основі даних профілю визначають соціально-демографічні характеристики [9].

Аналіз таких даних профілю, як імена учасників використовується на підготовчому етапі під час сортування дискусій за сприятливістю до здійснення ІПМ та на етапі виявлення, з метою ідентифікації підозрілих фрагментів дискусії. Наприклад, виявити потенційних маніпуляторів на основі імені можна наступним чином. Якщо ім'я містить провокативний меседж, набори символів, які не мають жодного змісту, чи структура або елементи імені подібні до імен інших учасників, то від цих профілів можна очікувати маніпулятивної діяльності [10].

Поведінкові характеристики учасника — це змінні в часі характеристики. З метою ефективної

ідентифікації маніпуляторів, їх доцільно визначати через встановлені часові періоди. До цієї групи ознак, які виявляються на основі аналізу активності учасника в спільноті, це: частота відвідуваності спільноти та дописів у дискусії, період дня, протягом якого користувач бере участі в інформаційних процесах.

До поведінкових характеристик учасника належать дані, які є наслідками діяльності учасника. Рейтинг, кількість друзів, кількість послідовників характеризують діяльність учасника, але учасник не може їх безпосередньо контролювати та змінювати.

Ефективність системи виявлення ІПМ залежить від актуальності даних для розрахунку значень статичних критеріїв. З усіх типів статичних критеріїв дані про поведінкові характеристики учасника вимагають регулярного оновлення, оскільки це найбільш змінні в часі статичні критерії.

Історія дій — це своєрідна біографія профілю учасника. Критеріями цього типу є характеристики етапів активності учасника у спільноті. Етапи активності — це часові проміжки між важливими віхами діяльності учасника у спільноті. Критеріїв цього типу базуються на таких даних: дата реєстрації, дата першого повідомлення в обговоренні, дата ініціації дискусії.

Статичні та динамічні критерії відносно організаційно-структурних рівнів онлайн-спільноти

За допомогою статичних критеріїв розглядають інформаційну діяльність учасника в проекції на структуру онлайн-спільноти, тобто відносно трьох рівнів організації інформаційного наповнення спільноти (рис. 1). Відповідно до формальної моделі онлайн-спільноти цими трьома рівнями є рівень спільноти, дискусії та повідомлення []. Критерії цих трьох організаційно-структурних рівнів відрізняються механізмом розрахунку та значимістю.

Значення критеріїв рівня обговорення та спільноти прив'язані до учасника спільноти. За допомогою цих критеріїв виявляють підозрілого учасника спільноти, діяльність якого необхідно перевірити на наявність ІПМ.

В той час як статичні критерії рівня повідомлення безпосередньо вказують на елементи інформаційного наповнення дискусії, які потрібно проаналізувати на наявність ІПМ.

Динамічні критерії використовуються для аналізу конкретного акту інформаційної-активності. Вони не містять узагальненої інформації про роль та поведінку учасника в онлайн-спільноті.

На відміну від статичних, динамічні критерії не поділяються за структурно-організаційними рівнями. Динамічні критерії використовуються для аналізу комунікації на рівні повідомлення. Вони вказують на наявність у повідомленні слідів та наслідків застосування прийому ІПМ. На основі слідів та наслідків застосування ІПМ виявляють використанні прийоми ІПМ та стани учасників-жертв ІПМ,

відповідно. Ця інформація необхідна для визначення застосованої тактики ППМ та ідентифікації прецеденту ППМ.

	Статичні ознаки	Динамічні ознаки
Рівень спільноти	К-сть ініційованих автором дискусій	
Рівень обговорення	Частота використання автором посилань	
Рівень повідомлення	К-сть лайків повідомлення	К-сть символів пунктуації та емотиконів

Рис.1 – Класифікація критеріїв ППМ

Значення критеріїв рівня обговорення та спільноти прив'язані до учасника спільноти. За допомогою цих критеріїв виявляють підозрілого учасника спільноти, діяльність якого необхідно перевірити на наявність ППМ.

В той час як статичні критерії рівня повідомлення безпосередньо вказують на елементи інформаційного наповнення дискусії, які потрібно проаналізувати на наявність ППМ.

Динамічні критерії використовуються для аналізу конкретного акту інформаційної-активності. Вони не містять узагальненої інформації про роль та поведінку учасника в онлайн-спільноті.

На відміну від статичних, динамічні критерії не поділяються за структурно-організаційними рівнями. Динамічні критерії використовуються для аналізу комунікації на рівні повідомлення. Вони вказують на наявність у повідомленні слідів та наслідків застосування прийому ППМ. На основі слідів та наслідків застосування ППМ виявляють використанні прийоми ППМ та стани учасників-жерт ППМ, відповідно. Ця інформація необхідна для визначення застосованої тактики ППМ та ідентифікації прецеденту ППМ.

На підготовчому етапі використовуються лише ті динамічні критерії, фільтри на основі яких не потребують глибокого аналізу інформаційного наповнення дискусії. Наприклад, тональнісні маркери емоцій, а не складені маркери психічних станів, які задаються за допомогою векторів елементаим, яких є емоції. За допомогою фільтрів на основі динамічних критеріїв поверхневого рівня визначають лише значні і часті перепади емоцій учасників дискусії.

Формальна модель фільтрів для виявлення підозрілих фрагментів дискусій

Поставивши за ціль підвищити ефективність алгоритму моніторингу дискусії з метою виявлення ППМ, уникнуто перебору всього інформаційного наповнення дискусії. Цього досягнуто за рахунок окреслення областей дискусії, які мають найбільше ознак наявності ППМ, тобто виділення підозрілих фрагментів дискусії.

Підозрілі фрагменти дискусії — це набори логічно пов'язаних повідомлень, кількісні і якісні характеристики яких та кількісні і якісні характеристики профілів авторів цих повідомлень властиві повідомленням з ППМ.

Систему характеристик підозрілих фрагментів дискусії розроблено на основі закономірностей виявлених внаслідок аналізу комунікації у онлайн-спільнотах, їх узагальненої структури та способів презентації учасників. На основі цих характеристик та формальної моделі спільноти, дискусії, повідомлення та учасника [11] запропоновано систему фільтрів, яка рекомендуватиме для подальшого аналізу на наявність ППМ підозрілі фрагменти дискусії, тобто уривки, які потенційно містять ППМ.

Систему фільтрів розроблено на основі статичних критеріїв наявності ППМ та частково на основі динамічних. Ознаки рівнів спільноти та дискусії створюють узагальнену картину діяльності учасника в дискусіях Інтернету, в той час як критерії рівня повідомлення вказують на ознаки ППМ в конкретних актах інформаційної діяльності.

Виявляючи маніпуляцію потрібно враховувати той факт, що кожна інтернет-дискусія має свої правила, стиль спілкування і аудиторію [12]. Тому, для конкретного фільтра, критерії кожного рівня необхідно адаптувати до особливостей комунікації в конкретній дискусії та встановити відповідне порогове значення критеріїв. На основі цього порогового значення фільтри поділяють інформаційне наповнення дискусій на безпечне та з підозрою на наявність ППМ.

Порогові значення визначаються для кожної спільноти окремо на основі експертного аналізу комунікації в конкретній онлайн-спільноті. Порогове значення статичних ознак розраховується на основі аналізу профілю, історії дія учасника та поведінкових особливостей його діяльності.

Для прикладу розглянемо статичну ознаку ППМ рівня обговорення $RepliesNumberRatio$. $RepliesNumberRatio$ — це відношення кількості відповідей учасника на повідомлення до усіх повідомлень опублікованих учасником (1).

$$RepliesNumberRatio = \frac{RepliesNumber}{MessagesTotal} * 100\%, \quad (1)$$

де $RepliesNumber$ — це кількість відповідей учасника на повідомлення інших; $MessagesTotal$ — це кількість усіх повідомлень написаних учасником. У дослідженні [10] визначено, для 84.3% учасників, які розміщували повідомлення з визначеним замовниками змістом $RepliesNumberRatio < 40\%$, в той час як для користувачів, які розміщували не замовлену інформацію $RepliesNumberRatio \approx 90\%$. Відповідно на основі цих даних оптимальне порогове значення для спільноти вибирають у діапазоні [30%,

50%] залежно від особливостей спільноти. Якщо *RepliesNumber* є нижчим за порогове значення, то даний фільтр відбирає всі повідомлення цього користувача для подальшої перевірки.

Згідно з дослідженням [12] 60% учасників спільноти, які розміщують проплачені тексти реагують на коментарі з інтервалами часу 200 с, в той час лише 40% нормальних учасників реагують на повідомлення зі швидкістю близькою до 200. Зазвичай, вони виступають так бурхливо і їхня швидкість публікації повідомлень є меншою. З точки зору ППМ в онлайн-спільнотах, цей критерій потрібно трактувати дещо інакше: аномально швидкі відповіді на повідомлення є або продуктом маніпуляторів, або реципієнтів, які вже «клоннули на гачок», але так чи інакше зменшення інтервалу часу між публікаціями повідомлень є свідченням того, що в уривку потенційно наявна ППМ.

Додатковим критерій, тривалість часницької діяльності, розраховується а основі наступної формули (2):

$$MembershipPeriod = CurrentDate - RegistrationDate \quad (2)$$

де *CurrentDate* – це поточна дата; *RegistrationDate* – це дата реєстрації учасника.

Якщо *MembershipPeriod* < 30, то діяльність учасника потребує додаткової перевірки.

Всі ці критерії мають різну важливість і знаходяться в різній причинно-наслідковій залежності з фактом здійснення маніпулятивної діяльності. Саме тому для кожного з критеріїв було встановлено вагові показники. Наприклад, *RepliesNumberRatio* є важливішим з точки зору виявлення підозрілих уривків, ніж *MembershipPeriod*.

Кількість обговорень спільноти, в яких учасник розміщує тематично релевантні повідомлення — це складений критерій ППМ. Розглядаючи цей критерій виділимо три варіанти поведінки: користувач веде активну інформаторську активність лише в кількох тематично пов'язаних дискусіях, учасник є активним в багатьох дискусіях, учасник є активним у багатьох дискусіях, але всі його пости є одного тематичного спрямування і, тому є нерелевантними у багатьох дискусіях, де вони розміщені. Останній варіант поведінки свідчить про маніпулятивну діяльність. Звичайно, теоретично можливий ще такий варіант: більшість постів, які розміщує учасник не релевантні до тематики обговорень, але такий тип діяльності не можна розглядати як маніпуляція, адже така поведінка більше схожа нескладного бота і інформаційне наповнення створене ним не буду серйозно розглядатися реципієнтами.

Для виявлення ППМ на основі активності учасника та релевантності його постів розроблено наступний фільтр (3):

$$\begin{cases} DiscussionActivenessRatio > 50\% \\ IrrelevantMessagesRatio > 50\% \end{cases} \quad (3)$$

де *DiscussionActivenessRatio* — це відношення кількості дискусій, в яких учасник веде активну діяльність до кількості усіх дискусій, яке відображає відносну активність учасника спільноти (4); *IrrelevantMessagesRatio* — це відношення кількості нерелевантних повідомлень розміщених учасником до усіх створених ним повідомлень (5).

$$DiscussionActiveness = \frac{ActiveDiscussionNumber}{CommunityDiscussionTotal} \quad (4)$$

де *ActiveDiscussionNumber* – це кількість дискусій, в яких учасник веде активну інформаторську діяльність; *CommunityDiscussionTotal* – це загальна кількість усіх дискусій в спільноті.

$$IrrelevantMessagesRatio = \frac{IrrelevantMessages}{MessagesTotal} \quad (5)$$

де *IrrelevantMessages* – це кількість розміщених учасником повідомлень, які є нерелевантні до тематики дискусії; *MessagesTotal* – це загальна кількість усіх повідомлень розміщених учасником.

Якщо подвійна умова (3) виконується для учасника, то він потенційно веде маніпулятивну діяльність.

Кожен критерій, на основі якого побудовано фільтр, має різну значущість з точки зору виявлення ППМ. Тому для кожного фільтра визначений ваговий коефіцієнт, значення якого вказують експерти. Значення вагових коефіцієнтів становлять множину вагових коефіцієнтів критеріїв підозрілих уривків (6).

$$Weight_i = \{Weight_{ij}\}_{j=1}^{N_{Criterion}} \quad (6)$$

де *Weight_{ij}* – це вага критерію потенційної ППМ. При чому для вагових коефіцієнтів критеріїв вірні наступні рівності (7), (8):

$$\sum_i Weight_i = 1 \quad (7)$$

$$Weight_i \geq 0 \quad (8)$$

Кожен критерій має визначений експертами з галузі менеджменту онлайн-спільнот ваговий показник, тому кількість елементів множини вагових показників дорівнює кількості критеріїв потенційної ППМ.

Формальна модель критерію наявності ППМ задається наступною формулою:

$$Criterion_i = \langle CriterionValue_i, Weight_i \rangle$$

де $CriterionValue_i$ – значення критерію наявності ПМ у фрагменті; $Weight_i$ – це встановлений ваговий показник критерію наявності ПМ в уривку. Індикатор наявності потенційної ПМ, $PotentialIPMIndicator_i$, може приймати значення 0 або 1, відповідно до того чи фільтром було затримано інформаційний контент чи ні (9).

$$PotentialIPMIndicator_i = \begin{cases} 0, & CriterionValue_i \in ThresholdValue_i \\ 1, & CriterionValue_i \notin ThresholdValue_i \end{cases} \quad (9)$$

де $ThresholdValue_i$ – порогове значення критерію, для конкретної спільноти.

Порогове значення критерію задається інтервалом (10):

$$ThresholdValue_i \in [\min^i, \max^i] \quad (10)$$

Підозрілість фрагменту дискусії оцінюється на основі наступної формули (11):

$$IPMLikelihood = \sum_{j=1}^{N_{Criterion}} Criterion_{ij} Weight_{ij} \quad (11)$$

Якщо повідомлення користувача будуть відібраними наперед встановленою кількістю фільтрів, то певне інформаційне наповнення створене цим користувачем та пов'язані з ним повідомлення інших буде ідентифіковане як підозрілий уривок дискусії (12).

$$PotentialManipulator = \begin{cases} 0, & IPMLikelihood = [0, 0,5] \\ 1, & IPMLikelihood = [0,5; 1] \end{cases} \quad (12)$$

Фрагменти дискусії, які містять акти інформаційної діяльності, які внаслідок застосування системи фільтрів ідентифіковано як з наявністю елементів ПМ, підлягають глибинному аналізу інформаційного наповнення на наступному етапі алгоритму моніторингу онлайн-спільноти з метою виявлення ПМ.

Висновки

Завдяки критеріям розробленими на основі даних профілів учасників, поведінкових особливостей, історії діяльності, та поверхневим динамічним характеристикам повідомлень, розроблено систему фільтрів, яка затримує повідомлення онлайн-дискусій з підозрою на наявність ПМ. Система фільтрів уможливила реалізацію ефективного моніторингу з онлайн-спільнот з метою виявлення ПМ, виключивши, такі недоліки як значні затрати

часу та ресурсів на перевірку великих об'ємів інформації. Результати системи фільтрів передаються на наступний етап алгоритму моніторингу онлайн-спільноти, який переважає глибинний аналіз інформаційного наповнення з метою виявлення прецедентів ПМ та подальшої ідентифікації тактик ПМ.

Список літератури

1. **Peleschyshyn, A.** Development of the System for Detecting Manipulation in Online Discussions / **A. Peleschyshyn, Z. Holub** // *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*. – Springer International Publishing. – 2016. – vol. 543 – pp. 111-117. – doi: 10.1007/978-3-319-48923-0_15.
2. **Peleschyshyn, A.** Methods of real-time detecting manipulation in online communities / **A. Peleschyshyn, Z. Holub, and I. Holub** // *Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2016 XIth International*. – IEEE. – 2016. – pp. 15-17. – doi: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589857.
3. **Dey, L.** Opinion Mining from Noisy Text Data / **L. Dey, S. K. Haque, A. Mirajul** // *Proceedings of the second workshop on Analytics for noisy unstructured text data*. – 2008. – p. 83-90. – doi: 10.1007/s10032-009-0090-z.
4. **Iqbal, S.** The survey of sentiment and opinion mining for behavior analysis of social media / **S. Iqbal, A. Zulqurnain, Y. Wani et al.** // *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCES)*. – 2015. – vol. 6. – p.21-27. – doi: 10.5121/ijces.2015.6502.
5. Case Study: Advanced Sentiment Analysis [Електронний ресурс]. URL: <chrome-extension://padcapdkhelngdelppbbjmkmkfcoeioig/content/pdf/viewer/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.aclweb.org%2Fanthology%2FW04-2328>.
6. **Pozzi, F. A.** Sentiment Analysis in Social Networks / **F. A. Pozzi, E. Fersini, E. Messina, et al.** Morgan Kaufmann, 2016, 284 p. – doi: 10.1016/B978-0-12-804412-4.00001-2.
7. **Oraby, S.** And That's a Fact: Distinguishing Factual and Emotional Argumentation in Online Dialogue / **S. Oraby, L. Reed, R. Compton, et al.** In *The 2nd Workshop on Argumentation Mining*, at The North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL), Denver, Colorado, 2015. – doi: 10.3115/v1/W15-0515.
8. **Anwar, T.** Modeling a Web Forum Ecosystem into an Enriched Social Graph / **T. Anwar, M. Abulaish** // *Ubiquitous Social Media Analysis*. – LNCS, Springer, 2013. – Vol. 8329. – pp. 152-173. – doi: 10.1007/978-3-642-45392-2_8.
9. **Fedushko, S.** Development of a software for computer-linguistic verification of socio-demographic profile of web-community member / **S. Fedushko**. - Webology, 2014. – doi: 10.6084/m9.figshare.2056647.
10. **Benevenuto, F.** Characterizing user behavior in online social networks / **F. Benevenuto, T. Rodrigues, M. Cha, et al.** // *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*. – ACM New York, USA 2009. – pp. 49-62. – doi: 10.1145/1644893.1644900.
11. **Peleschyshyn, A.** Formal Model and Key Features of an Online Community Fundamental for Detecting Informational and Psychological Manipulation / **A. Peleschyshyn, Z. Holub, I. Holub** // *Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information*

- Technologies (CSIT)*, 2017 XIth International. IEEE. – 101-104 pp. – doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098746.
12. **Liu, D.** User Interest and Interaction Structure in Online Forums / **D. Liu, D. Percival, S. Flenberg** // *The AAAI Press*, 2010.
 1. **Peleschyshyn, A., Holub, Z.** Development of the System for Detecting Manipulation in Online Discussions. *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*, Springer International Publishing, 2016, **543**, 111-117, doi: 10.1007/978-3-319-48923-0_15.
 2. **Peleschyshyn, A., Holub, Z., Holub, I.** Methods of real-time detecting manipulation in online communities. *Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2016 XIth International, IEEE, 2016, 15-17, doi: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589857.
 3. **Dey, L., Haque, S. K., Mirajul, A.** Opinion Mining from Noisy Text Data. *Proceedings of the second workshop on Analytics for noisy unstructured text data*, 2008, 83-90, doi: 10.1007/s10032-009-0090-z.
 4. **Iqbal, S., Zulqurnain, A., Wani, Y. et al.** The survey of sentiment and opinion mining for behavior analysis of social media. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)*, 2015, **6**, 21-27, doi: 10.5121/ijcses.2015.6502.
 5. Case Study: Advanced Sentiment Analysis Available at: <chrome-extension://padcapdkhelngdelppbbjmkmkfcoikg/content/pdf/viewer/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.aclweb.org%2Fanthology%2FW04-2328>.
 6. **Pozzi, F. A., Fersini, E., Messina, E., et al.** Sentiment Analysis in Social Networks. Morgan Kaufmann, 2016, 284, doi: 10.1016/B978-0-12-804412-4.00001-2.
 7. **Oraby, S., Reed, L., Compton, R., et al.** And That's a Fact: Distinguishing Factual and Emotional Argumentation in Online Dialogue. In *The 2nd Workshop on Argumentation Mining*, at The North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL), Denver, Colorado, 2015, doi: 10.3115/v1/W15-0515.
 8. **Anwar, T., Abulaish, M.** Modeling a Web Forum Ecosystem into an Enriched Social Graph. *Ubiquitous Social Media Analysis*, LNCS, Springer, 2013, **8329**, 152-173, doi: 10.1007/978-3-642-45392-2_8.
 9. **Fedushko, S.** Development of a software for computer-linguistic verification of socio-demographic profile of web-community member. - *Webology*, 2014, doi: 10.6084/m9.figshare.2056647.
 10. **Benevenuto, F., Rodrigues, T., Cha, M., et al.** Characterizing user behavior in online social networks. *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, ACM New York, USA, 2009, 49-62, doi: 10.1145/1644893.1644900
 11. **Peleschyshyn, A., Holub, Z., Holub, I.** Formal Model and Key Features of an Online Community Fundamental for Detecting Informational and Psychological Manipulation. *Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2017 XIth International. IEEE, 101-104, doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098746.
 12. **Liu, D., Percival, D., Flenberg, S.** User Interest and Interaction Structure in Online Forums. *The AAAI Press*, 2010.

Bibliography (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Голуб Зоряна Дмитрівна - аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна; e-mail: zorianaholub@gmail.com.

Zoriana Holub – postgraduate student, Lviv National Polytechnic University, Lviv, Ukraine; e-mail: zorianaholub@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Голуб, З. Д. Формалізація система критеріїв для виявлення фрагментів онлайн-дискусій з підозрою на наявність інформаційно-психологічної маніпуляції / **З. Д. Голуб** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 106-111. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.15.

Please cite this article as:

Holub, Z. System of criteria for detecting online discussion fragments suspected of containing information and psychological manipulation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 106-111, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.15.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Голуб, З. Д. Формализация система критериев для выявления фрагментов онлайн-дискуссий с подозрением на наличие информационно-психологической манипуляции / **З. Д. Голуб** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 106-111. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.15.
АННОТАЦИЯ В статье рассмотрены критерии для выявления и выделения подозрительных фрагментов дискуссий онлайн-сообществ. Критерии разделяются за их темпоральными характеристиками на динамические и статические. В соответствии с формальной моделью онлайн-сообществ выделены организационно-структурные уровни, на которых критерии различаются формой их реализации и механизмом выявления. На основании критериев созданы фильтры для выявления подозрительных фрагментов дискуссии, описано строение системы фильтров, применено метод весовых показателей для определения подозрительного фрагмента дискуссии на основании результатов прохождения системы фильтров.

Ключевые слова: информационно-психологическая манипуляция; динамический критерий; статический критерий; система фильтров; онлайн-сообщество.

Надійшла (received) 12.03.2018

УДК 005.8:005.41

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.16

МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ В ЕЛЕКТРОННОМУ ПРОЕКТНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Н. Ю. ЄГОРЧЕНКОВА*

кафедра технологій управління, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА
*email: realnata@ukr.net

АНОТАЦІЯ Запропоновано розглянути різні моделі управління проектами створення та надання інформаційних ресурсів в електронному проектному менеджменті. Визначено, що управлінський клас проекту – це множина підкласів проектів, які формуються наведеними ознаками і для яких застосовуються однотипні методи та засоби управління. Розглянуті такі моделі управління як – ієрархічна, алгоритмічна, ітераційна та лінійна моделі. Формалізовано визначення кожної моделі, а також характеристики її застосування. Показано розрахунок термінів виконання проектів для кожної моделі управління. Зазначено, що напрямком для подальших досліджень виступає розробка методу встановлення зв'язок між описом такого проекту та моделями управління.

Ключові слова: електронний проектний менеджмент; моделі управління; інформаційний ресурс

MODELS OF PROJECTS MANAGEMENT IN ELECTRONIC PROJECT MANAGEMENT

N. YEHORCHENKOVA*

Department of technology management, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Creation and implementation of electronic project management is possible only when management processes will be based on computer methods of collecting, processing and using information for management decisions making. Therefore, we consider models that are suitable for management of projects of creation and provision of information resources in terms of electronic project management. The application variants of creation and provision of informational resources of management models and corresponding management classes of projects of creation and provision of informational resources are shown. It is determined that the management class of a project is a plurality of subclasses of projects that are formed by the above features and for which the same type of methods and controls are applied. The following management models are considered: a hierarchical model that is characteristic of the processes of information collection and integration; algorithmic model, which is used mainly for projects implemented in the software and information environment; an iterative model, based on reusing of information resource planning and control operations with a parallel analysis of the results obtained and the correction of the previous stages; and the linear model most often applied to projects in which management costs should be minimal. Formalized definition of each model, as well as characteristics of its application. The calculation of the terms of the projects for each model of management is shown. It is noted that the direction for further research is the development of a method for establishing links between the description of such a project and management models.

Keywords: electronic project management; models of management; information resource

Введення

Створення та впровадження електронного проектного менеджменту (далі – е-РМ) [1-2] можливе лише тоді, коли управлінські процеси будуть базуватися на комп'ютерних способах збору, обробки та використання інформації для прийняття управлінських рішень. Але на відміну від традиційних систем прийняття рішень ці рішення будуть прийматися не людиною, а комп'ютером. Зрозуміло, що для цього необхідно розробити множину моделей управління, які будуть реалізовуватися в е-РМ і забезпечуватимуть автоматичне регулювання процесів управління проектами. Можна сказати, що електронний проектний менеджмент вимагає для класів проектів створення та надання інформаційних ресурсів, які формалізовано в розділі 3, розробки моделей управління. Кожна модель повинна бути представлена різними інструментами реалізації функцій управління проектами. І може бути використана для управління багатьма підкласами проектів створення та надання інформаційних ресурсів. Звичайно, не до всіх проектів можна застосувати цей підхід. Багато проектів інноваційних,

управління якими не стандартне, чи складних, які вимагають постійної участі людини. І створити е-РМ для таких проектів досить складно. Але для проектів створення та надання інформаційного ресурсу цей підхід можливий по кількох причинам:

1. Проекти майже повністю реалізуються з застосуванням сучасних інформаційних систем (далі – ІС) та інформаційних технологій. А це означає, що вони реалізуються в комп'ютерах. Відповідно простіше буде створювати і «комп'ютерну» систему управління цими проектами.

2. Можуть бути описані стандартами (шаблонами). А значить можна буде розробити моделі управління, які підходять під деякий клас проектів.

3. Процедури обробки інформації в таких проектах майже не відрізняються від процедур управління такими проектами. Тому створені для таких проектів засоби підходять і для управління цими проектами.

Тому розглянемо моделі, які підходять для управління проектами створення та надання інформаційного ресурсу (далі- ПСНІР) в умовах е-РМ.

Розглянемо варіанти застосування в проектах створення та надання інформаційних ресурсів

моделей управління [3] та відповідних їм управлінських класів ПСНІР.

Ціль роботи

Ціллю статті є опис моделей управління проектами створення та надання інформаційних ресурсів через електронний проектний менеджмент.

Викладення основного матеріалу

В статті пропонується застосувати проектний підхід до питання створення та використання інформаційного ресурсу підприємств в е-РМ. Суть використання цього підходу для управління інформаційними ресурсами полягає в тому, що створення та використання такого ресурсу розглядається як внутрішній проект е-РМ, з усіма атрибутами реалізації та компонентами системи управління. Адаже при створенні та використанні будь якого інформаційного ресурсу необхідно планувати дії (управління інтеграцією і змістом проекту), організувати та контролювати роботу виконавців, враховувати ризики, інформаційний зв'язок, трудові ресурси, інколи – закупівлі, і т.п. В подальшому такі проекти будемо називати проектами створення та надання інформаційного ресурсу.

Визначення 1. Проект створення та надання інформаційного ресурсу (далі – ПСНІР) – це інформаційно-утворюючий проект е-РМ, ціль якого полягає в задоволенні інформаційних потреб користувачів чи інформаційних систем шляхом створення та надання в зручному вигляді інформаційного ресурсу [4].

На сьогодні існує велика кількість методологій управління проектами, до яких відносяться PMbok, P2M, Prince 2, Scrum та ін. [5-7]. Ці методології містять різні моделі управління, до яких можна віднести сітьові моделі управління [8], організаційні моделі [9], моделі зрілості проектного управління [10], моделі життєвого циклу проекту [11-12] та інше. Всі ці моделі застосовуються для управління різними типами проектів і використовуються в залежності від сфери, складності чи вимог проекту. Але в сучасних дослідженнях відсутні роботи, які були б присвячені створенню та застосуванню моделей управління проектами в електронному проектному менеджменті.

Проведені дослідження дозволили класифікувати моделі управління та надання інформаційних ресурсів е-РМ в відповідності з запропонованим проектним підходом [13]. Всі визначені ознаки повинні застосовуватися вибірково, в залежності від функціональних задач і функціональних ролей, які використовують інформаційні ресурси при управлінні проектною та операційною діяльністю підприємства. Але саме головне, робота з інформаційним ресурсом повинна виконуватись з використанням моделей управління, які адаптовані до наведених класів. Такі моделі дозволяють формально оперувати процесами

управління інформаційними ресурсами, що в свою чергу дозволить приймати рішення, які призведуть до оптимальних і квазіоптимальних дій по управлінню проектами і програмами в е-РМ.

Розглянемо моделі управління інформаційними ресурсами в розрізі визначених класів [13]. Такий розріз необхідний тому, що форми інформаційних ресурсів конкретизуються тими даними, які найбільш відповідають суті задачі управління проектами в е-РМ.

Визначення 2. Управлінський клас ПСНІР – це множина підкласів ПСНІР, які формуються наведеними ознаками і для яких застосовуються однотипні методи та засоби управління.

$\forall q_i \in K_x \exists M_x \alpha(q_i, M_x) = true \wedge \alpha(q_i, \overline{M_x}) = false$,
де K_x – управлінський клас ПСНІР, утворений комбінацією ознак;
 q_i – проект СНІР;
 M_x – методи та засоби управління ПСНІР;
 $\alpha(q_i, M_x)$ – предикат, що визначає можливість застосування методів та засобів M_x для управління проектом q_i .

1. Ієрархічна модель управління ПСНІР в е-РМ

В управлінні проектом створення та надання інформаційного ресурсу ця модель характерна процесам збору та інтеграції інформації. Наприклад, підготовка звіту по підрозділам. Коли підрозділи подають деяку інформацію (наприклад, рух контингенту студентів за семестр), а інтегратор (наприклад, науково-методичний центр) зводить цю інформацію в єдиний документ.

Проекти ПСНІР в залежності від кількості рівнів переробки інформації можна розділити на однорівневі і багаторівневі. Дійсно, інформаційні ресурси (далі – ІР), що використовуються в ПСНІР можуть бути тільки зовнішні без створення проміжних. Тоді модель управління ПСНІР буде однорівневою.

1. Однорівнева модель управління ПСНІР. Зовнішні інформаційні ресурси (далі – ЗІР) використовуються для створення кінцевого інформаційного ресурсу (далі – КІР).

$$R^{PIP} = \emptyset \wedge R^{BIP} = \emptyset : R_1^{KIP} = I^C(R^{ZIP}), \quad (1)$$

де R^{PIP} – проміжний інформаційний ресурс;

R^{BIP} – внутрішній інформаційний ресурс;

R_1^{KIP} – кінцевий інформаційний ресурс;

R^{ZIP} – зовнішній інформаційний ресурс;

I^C – процедура створення інформаційного ресурсу.

Тривалість проекту для однорівневої моделі управління ПСНІР дорівнює:

$$T = \max_j (T_j) + T_1, \quad (3)$$

де T – час виконання ПСНІР;
 T_j – час отримання R_j^{3IP} ;
 T_i – час реалізації процедури створення інформаційного ресурсу $R_i^{KIP} = I^C(R^{3IP})$.

2. Багаторівнева модель управління ПСНІР.

Зовнішні інформаційні ресурси використовуються для створення проміжного інформаційного ресурсу (далі – ПІР). А проміжний ПІР для створення нового проміжного ПІР, чи для створення КІР.

Тривалість проекту для багаторівневої моделі управління ПСНІР дорівнює самому довгому шляху від ПІР найнижчого рівня до КІР плюс найдовший час отримання ЗІР:

$$\tau'(R_i^{KIP}) = \tau^f(I^C(R_0^{3IP}, R_0^{BIP})) + \tau'(R_0^{3IP}) + \max_{r_{0k}^{BIP} \in R_0^{3IP}, R_0^{KIP} = I^C(R_0^{3IP}, R_0^{BIP})} (\tau'(r_{0k}^{BIP})),$$

де $\tau'(R_i^{KIP})$ – час отримання кінцевого інформаційного ресурсу;
 $\tau'(r_{0k}^{BIP})$ – час отримання інформаційного ресурсу r_{0k}^{BIP} ;
 $\tau'(R_0^{3IP})$ – час отримання всіх зовнішніх інформаційних ресурсів, необхідних для формування КІР;
 $\tau^f(I^C(R_0^{3IP}, R_0^{BIP}))$ – час реалізації процедури для отримання кінцевого інформаційного ресурсу $I^C(R_0^{3IP}, R_0^{BIP})$.

В свою чергу

$$\tau'(r_{ij}^{BIP}) = \tau^f(I^P(R_j^{3IP})) + \tau'(R_j^{3IP}) + \max_{r_{dk}^{BIP} \in R_j^{3IP}, R_j^{KIP} = I^C(R_j^{3IP}, R_j^{BIP})} (\tau'(r_{dk}^{BIP})) \quad (4)$$

Повторюючи обчислення за формулою (4) можна отримати час формування кожного внутрішнього інформаційного ресурсу (далі – ВІР). Після розрахунку по всім внутрішнім інформаційним ресурсам отримуємо час формування кінцевого інформаційного ресурсу.

Що стосується організаційної компоненти, то вона буде різною для різних типів ієрархічних моделей управління ПСНІР. Для управління ПСНІР, що описуються однорівневими моделями команда проекту не створюється. А відповідальним за проект призначається керівник підрозділу, що формує кінцевий інформаційний ресурс.

Якщо модель багаторівнева, то керівником проекту потрібно призначити також менеджера, в віданні якого формується КІР. Але формується команда із менеджерів, які на відповідних рівнях взяли на себе відповідальність за створення ПІР. І такі менеджери вирішуючи управлінські задачі опираються на програмно-інформаційні ресурси е-РМ, сидючи за екранами моніторів, а не бігаючи по об'єктам проекту.

Для управління отриманням ЗІР пропонується створити підрозділ офісу управління проектами, який буде організаційним ядром е-РМ, та який буде координувати дії по отриманню інформаційного ресурсу із зовнішніх джерел – бек-офіс. Представник

такого бек-офісу також повинен бути в групі управління ПСНІР.

2. Алгоритмічна модель управління ПСНІР.

Ця модель управління застосовується, в основному, до проектів, які реалізуються в програмно-інформаційному середовищі сучасних комп'ютерів. Без залучення людини. Тому ця модель, як жодна інша, підходить для е-РМ.

Алгоритм створення та надання інформаційного ресурсу визначається інформаційною системою яка відповідає на запит. Тому планування на основі алгоритмів формується в залежності від інформаційних систем, які задіяні в ПСНІР.

Якщо запит може бути реалізований в автоматичному режимі, то в процесі планування визначається дата потреби в інформаційному ресурсі, тривалість його отримання та хто може реалізувати цю дію на комп'ютері. Але як показує досвід в більшості випадків отримання такого ресурсу з інформаційних систем виконується в автоматизованому режимі. В цьому випадку в процесі задіяні фахівці, які можуть створити та реалізувати алгоритми в технічних засобах інформаційних систем для інтеграції різномірної інформації в інформаційний ресурс, потрібний споживачу. Тоді план проекту може бути представленим у вигляді таблиці, поля якої формують наступний масив даних (табл.1.).

Кожна інформаційна процедура в алгоритмічній моделі представляє собою набір функцій, які реалізуються операторами (кореспондентами, що мають доступ до ІС) та самими ІС. Серед цих функцій лише функція «Отримання ІР» реалізується в автоматичному режимі. І з врахуванням швидкодії сучасних комп'ютерів час на її реалізації можна не враховувати. Найбільш тривалі функції пов'язані з обробкою запитів кореспондентом та оцінкою отриманої інформації. Зрозуміло, що швидкість реалізації цих функцій буде вищою, якщо:

- будуть створені шаблони послідовності дій, для реалізації запитів, в які не потрібно буде додатково вникати $-\lambda(N_g, R_g)$;
- будуть створені спеціальні засоби реалізації шаблонів запитів в середовищі ІС $-\gamma(N_g, R_g)$.

В цьому випадку час на реалізацію відповідних функцій також буде мінімізовано. І залишиться лише одна функція, яка і визначатиме тривалість реалізації процедури. Це функція оцінки якості результату. Тоді тривалість процедури може бути записана рівнянням:

$$t(N_g, R_g) = tim(\Lambda(R_g)), \quad (5)$$

детим($\Lambda(R_g)$) – функція визначення часу оцінки якості інформаційного ресурсу R_g .

В алгоритмічній моделі ПСНІР в загальному випадку неможливо визначити термін отримання інформаційного ресурсу. Вся справа в тому, що проміжні інформаційні ресурси можуть змінювати логіку

Таблиця 1 – Дані для планування ПСНІР на основі алгоритму

№ процедури	Інформаційна система	Інформаційний ресурс	Час створення та надання ІР	Послідовність дій для надання запиту	Послідовність дій для отримання ІР	Умова продовження
1	N_1	R_1	$t(N_1, R_1)$	$\lambda(N_1, R_1)$	$\gamma(N_1, R_1)$	Якщо ...то
2	N_2	R_2	$t(N_2, R_2)$	$\lambda(N_2, R_2)$	$\gamma(N_2, R_2)$	Якщо ...то
...	
g	N_g	R_g	$t(N_g, R_g)$	$\lambda(N_g, R_g)$	$\gamma(N_g, R_g)$	Якщо ...то
...	
M	N_m	R_m	$t(N_m, R_m)$	$\lambda(N_m, R_m)$	$\gamma(N_m, R_m)$	Закінчення

виконання запиту. В цьому випадку можуть скорочуватись або подовжуватись обчислювальні ланцюги. Тому час може бути визначений в межах «від» і «до». І ці межі можна розрахувати наступним чином.

Якщо представити всі можливі варіанти реалізації інформаційних процедур, що задані умовами продовження, то можна отримати мережу, в якій кількість віток геометрично збільшується від реалізації першої процедури, до отримання кінцевого інформаційного ресурсу.

Тоді максимальний час реалізації процедур в алгоритмічній моделі буде дорівнювати максимальній довжині шляху від першої процедури (i_1) до моменту отримання кінцевого інформаційного ресурсу:

$$\tau_{\max} = \max_p \left(\sum_g t(N_g^p, R_g^p) \right), \quad (6)$$

де $t(N_g^p, R_g^p)$ – тривалість процедури i_g , що знаходиться на шляху p до кінцевого інформаційного ресурсу R^{KIP} .

τ_{\max} – максимальний час реалізації процедур отримання кінцевого інформаційного ресурсу в алгоритмічній моделі.

Мінімальний час дорівнює

$$\tau_{\min} = \min_p \left(\sum_g t(N_g^p, R_g^p) \right), \quad (7)$$

де τ_{\min} – мінімальний час реалізації процедур отримання кінцевого інформаційного ресурсу в алгоритмічній моделі.

Як показали експерименти очікуваний час реалізації процедур отримання кінцевого інформаційного ресурсу в алгоритмічній моделі розподілений нормально. Тому його можна прийняти за середнє значення між мінімальним і максимальним часом

$$\tau_0 = \frac{\tau_{\min} + \tau_{\max}}{2}, \quad (8)$$

де τ_0 – очікуваний час реалізації процедур отримання кінцевого інформаційного ресурсу в алгоритмічній моделі.

Вказаний час буде дотримано лише в тому випадку, коли витрати на попередню обробку запитів та реалізацію їх в інформаційній системі буде незначним. Як було сказано вище цього можна досягти шляхом розробки шаблонів для типових запитів з отримання інформації для проектної діяльності компанії. Це питання буде розглядатися в наступному розділі.

Алгоритмічна модель – це модель інтеграції різних інформаційних систем для отримання потрібної інформації. По суті ця модель вимагає створення деякої «надбудови» над інформаційними системами для отримання від них потрібної інформації та передачі її в інші системи чи споживачу. Створення такої надбудови теж є управлінським проектом, який можна розглядати в тому числі як ПСНІР.

З точки зору організації роботи в алгоритмічній моделі то керівником такого проекту повинен бути фахівець із служби, що супроводжує та підтримує ІС. Наприклад, з інформаційно-обчислювального центру. Повинна бути створена група, яка напрацьовуватиме шаблони запитів для різноманітних інформаційних систем, а також виділені ролі по формалізації та реалізації запитів кореспондентів в інструкції до ІС. Крім того в команду повинні ввійти аналітики, які зможуть оцінювати якість інформаційного ресурсу, отриманого від інформаційних систем.

3. Ітераційна модель управління ПСНІР

В основі ітераційної моделі управління ПСНІР повторне застосування операцій по плануванню та контролю інформаційного ресурсу з паралельним аналізом отриманих результатів і корегуванням попередніх етапів. Такі моделі краще застосовувати до нормативних проектів, тому що такі проекти вимагають постійного уточнення формулювань, понять, термінів і т.п. Причому таке уточнення виконується різними фахівцями, в різних підрозділах. Таким чином інформаційний ресурс, сформований в деякому підрозділі може передаватися в інший підрозділ, там уточнюватися чи взагалі змінюватися і повертатися в попередні підрозділи.

Формула (9) вимагає уточнення у відповідності з ітераційною моделлю:

$$R_k^{IIP_1} = I_1^C(R^{3IP}, R^{BIP}); \quad (9)$$

$$R_k^{IIP_2} = I_2^C(R^{3IP}, R^{BIP}, R_k^{IIP_1});$$

$$\dots$$

$$R_k^{IIP_i} = I_2^C(R^{3IP}, R^{BIP}, R_k^{IIP_{i-1}});$$

$$\dots$$

$$R_k^{IIP} = I_2^C(R^{3IP}, R^{BIP}, R_k^{IIP_{h-1}});$$

$$R_m^{KIP} = I_0^C(R^{3IP}, R_k^{IIP_h}).$$

де $R_k^{IIP_i}$ – проміжний інформаційний ресурс, отриманий в ітерації i ;

R_k^{IIP} – кінцевий варіант проміжного інформаційного ресурсу;

R_m^{KIP} – кінцевий інформаційний ресурс;

- R^{BIP} – внутрішній інформаційний ресурс, що використовується для отримання проміжного інформаційного ресурсу R_k^{PIP} ;
- R^{ZIP} – зовнішній інформаційний ресурс, що використовується для отримання кінцевого інформаційного ресурсу R_m^{KIP} ;
- I_1^C – процедура створення першого варіанту проміжного інформаційного ресурсу R_k^{PIP} ;
- I_2^C – ітераційна процедура створення проміжного інформаційного ресурсу R_k^{PIP} ;
- I_0^C – процедура створення кінцевого інформаційного ресурсу.

Для визначення кількості ітерацій пропонується використати оцінку якості інформаційного ресурсу. Тоді правило для реалізації ітерацій при створенні проміжного інформаційного ресурсу для кореспондента має вигляд:

Після ітерації $t-1$ реалізується процедура:

$$R_k^{PIP_t} = I_2^C(R^{ZIP}, R^{BIP}, R_k^{PIP_{t-1}}), \text{ якщо } \Lambda(R_k^{PIP_{t-1}}) < \alpha_{\text{граничне}}; \quad (10)$$

$$R_m^{KIP} = I_0^C(R^{ZIP}, R_k^{PIP_{t-1}}), \text{ якщо } \Lambda(R_k^{PIP_{t-1}}) \geq \alpha_{\text{граничне}},$$

де $\Lambda(R_k^{PIP_{t-1}})$ – функція оцінки якості проміжного інформаційного ресурсу, отриманий в ітерації $t-1$;
 $\alpha_{\text{граничне}}$ – допустимий рівень якості проміжного інформаційного ресурсу;

Час виконання таких проектів визначається тривалістю та кількістю ітерацій, то його розрахунок досить ускладнений. І практично неможливо точно визначити час його закінчення. По суті це можна зробити ввівши деякі обмеження. Наприклад: нехай відомий час реалізації ітераційних процедур τ_i . Задана імовірність отримання ІР з заданим рівнем якості при реалізації інформаційних процедур p_0 . Тоді очікувана тривалість проекту дорівнює:

$$T = T_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \left[(1 - p_0)^{i-1} \cdot p_0 \cdot \sum_{j=1}^i \tau_j \right] + T_1, \quad (11)$$

де T – очікуваний (середній) час виконання ПСНІР;
 T_0 – час виконання проекту до початку ітерацій;
 T_1 – час формування кінцевого інформаційного продукту;
 τ_i – час реалізації ітераційної процедури;
 p_0 – імовірність отримання ІР з заданим рівнем якості.

4. Лінійна модель управління

Ця модель управління найчастіше застосовується до проектів, в яких витрати на управління повинні бути мінімальні, оскільки вони є нескладними, короткотерміновими і найчастіше з одним кореспондентом. Цю модель можна комбінувати з однорівневою моделлю на основі дводольних графів [4]. Але на відміну від неї може мати кілька ланцюгів (процедур перетворення ІР).

Лінійна модель управління використовується в тому випадку, коли процес перетворення ІР не розгалужений, не містить якоїсь логіки чи перевірки (рис.1.).

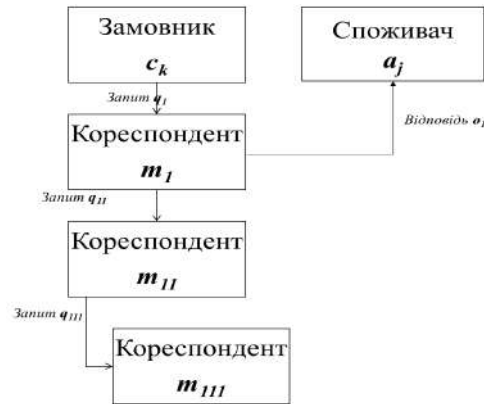


Рис.1 – Лінійна модель управління ПСНІР

В такій моделі сумарний час реалізації запиту/впливу дорівнює сумі витрат часу кожним з кореспондентів. Найчастіше вона представляється таблицею, в якій вказується термін виконання завдань по наданню тієї чи іншої інформації.

$$T = \sum_{i=1}^K \tau_i, \quad (12)$$

де T – очікуваний час виконання ПСНІР;
 τ_i – час реалізації окремої процедури.

Висновки

В статті запропоновано розробку моделей управління проектами створення та надання інформаційних ресурсів в електронному проектному менеджменті. Тепер, для того, щоб електронний проектний менеджер міг вирішувати задачі автоматичного управління процесом формування та контролю завдань по проектам необхідно встановити зв'язок між описом такого проекту та моделями управління, які були розроблені для управлінських класів ПСНІР, що є напрямком для подальших досліджень.

Список літератури

- 1 **Єгорченкова, Н. Ю.** Концептуальні основи побудови системи електронного управління інформаційними проектами / **Н.Ю. Єгорченкова**//*Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, Харків. – 2017. - 23 (1245). – С. 100-104. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.23.16.
- 2 **Yehorchenkova, N.I.** Development of principles and method of electronic project management / **I. Teslia, O. Yehorchenkov, Y. Kataieva, et al.** // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2017. – 5. – С.23-29.
- 3 **Єгорченкова, Н.Ю.** Модель управління ресурсами портфелів проектів и програм / **Н.Ю. Єгорченкова, А.Б. Лисицин, Д.С. Катаєв** // *Управління розвитком складних систем*, Київ. – 2013. - №16. – С. 33-38
- 4 **Єгорченкова, Н.Ю.** Управління інформаційними ресурсами на основі дводольних графів / **Н.Ю.Єгорченкова** // *Управління проектами, системний аналіз та логістика. Серія: Технічні науки* – К:НТУ – 2016. – №18. – С. 43–54.

- 5 Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). — Пятое издание. Project Management Institute. – 2013. – 586 с.
- 6 P2M. Руководство по управлению инновационными проектами и программами организаций/Под ред. Ярошенко Ф. А. — К.: Новый друк, 2010.- 160 с.
- 7 Майк, Кон. Scrum: гибкая разработка ПО = Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (Addison-Wesley Signature Series). - М.: «Вильямс», 2011. -576с.
- 8 Воробович, Н.П. Программные методы и средства планирования и управления проектами / Н.П. Воробович, О.Ю. Семенов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009 - №10 – С.6-11.
- 9 Организационные структуры в проектах и принципы их построения [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29159533>.
- 10 Ильшева, М.А. Модели зрелости управления проектами в российских компаниях [Электронный ресурс] / М. А. Ильшева. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-zrelosti-upravleniya-proektami-v-rossijskih-kompaniyah>.
- 11 Каскадная модель. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Каскадная_модель.
- 12 Спиральная модель. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Спиральная_модель.
- 13 Yehorchenkova, N.I. Classification of information resources creation projects of project-oriented enterprises /Yehorchenkova N.I., , Yehorchenkov O.V., Kataieva Y.I.// *Information technology&knowlrdge*. – 2016.-С.57-63.
- 2 Teslia, I.M., Yehorchenkova, N.I., Yehorchnkov, O.V., et al. Development of principles and method of electronic project management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, 5, 23-29.
- 3 Yehorchenkova, N.I., Lisicin, O.B., Kataiev, D.S. Model for managing the resources of project portfolios and programs. *Management of Development of Complex Systems*. 2013, 16, 33-38.
- 4 Yehorchenkova, N.I. Information resources management based on dicotyledons graphs. *Project Management, System Analysis and Logistics. Series: Engineering*. 2016,18,43-54.
- 5 Project Management Body of Knowledge (Guide PMBOK)- Fifth edition. Project Management Institute. 2013, 586.
- 6 P2M. A Guidebook of Project and Program Management for Enterprise Innovation. New print. 2010, 160 p.
- 7 Mike, Cohn. Scrum: flexible software development = Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (Addison-Wesley Signature Series). Williams, 2011, 576.
- 8 Vorobovych, N.P. Program methods and tools for project planning and management. *The Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2009, 10, 6-11.
- 9 Organizational structures in the projects and the principles of their construction. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29159533>.
- 10 Hlysheva, M.A. Maturity models of project management in Russian companies. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-zrelosti-upravleniya-proektami-v-rossijskih-kompaniyah>.
- 11 Cascade model. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Каскадная_модель.
- 12 Spiral model. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Спиральная_модель.
- 13 Yehorchenkova, N.I., Yehorchenkov, O.V., Kataieva, Y.I. Classification of information resources creation projects of project-oriented enterprises. *Information technology & knowlrdge*, 2016, 57-63.

References (transliterated)

- 1 Yehorchenkova, N.I. Conceptual foundations for building an electronic management system for information projects. Product model of information resources management of a project-oriented enterprise. *Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute*. 2017, 23(1245), 100-104, doi: 10.20998/2413-4295.2017.23.16.

Сведения об авторах (About authors)

Егорченкова Наталія Юрївна – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, докторант кафедри технологій управління, м.Київ, Україна; тел. 063-117-62-83; e-mail: realnata@ukr.net.

Natalia Yehorchenkova – Ph.d., associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, doctoral student of technology management department, Kyiv, Ukraine; tel. 063-117-62-83; e-mail: realnata@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Егорченкова, Н. Ю. Моделі управління проектами в електронному проектному менеджменті / **Н. Ю. Егорченкова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 112-117. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.16.

Please cite this article as:

Yehorchenkova, N. Models of project management in electronic project management. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 112-117, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.16.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Егорченкова, Н. Ю. Модели управления проектами в электронном проектном менеджменте / **Н. Ю. Егорченкова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 112-117. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.16.

АННОТАЦИЯ Предложено рассмотреть различные модели управления проектами создания и предоставления информационных ресурсов в электронном проектном менеджменте. Определено, что управленческий класс проекта — это множество подклассов проектов, которые формируются приведенным признакам и для которых применяются однотипные методы и средства управления. Рассмотрены такие модели управления как – иерархическая, алгоритмическая, итерационная и линейная модели. Формализована определения каждой модели, а также характеристики ее применения. Показано расчет сроков выполнения проектов для каждой модели управления. Отмечено, что направлением для дальнейших исследований выступает разработка метода установления связи между описанием такого проекта и моделями управления.

Ключевые слова: электронный проектный менеджмент; модель управления; информационный ресурс

Надійшла (received) 08.03.2018

УДК 621.548

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ¹, Н. В. ОБЕРЕМОК^{1*}, А. А. ПУЗИК²

¹ кафедра геоінформатики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

² Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА

*email: oberemokn@gmail.com

АННОТАЦІЯ Надані об'єктивні фактори, що обумовлюють необхідність розвитку нетрадиційних відновлюваних джерел енергії та передумови для її розвитку в Україні, енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії. Запропоновано технології застосування геоінформаційного моделювання, орієнтовані на використання картографічної інформації для розв'язку завдань з планування, ухвалення управлінських рішень та розвитку енергетичної галузі. Практична реалізація запропонованого підходу передбачає розробку комплексу картографічних творів для потреб відновлюваної енергетики, укладання карт різної функціональної спрямованості (інвентаризаційних, оцінювальних, рекомендаційних, прогнозних), що відображають різні аспекти (ресурси, об'єкти, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі) та охоплюють різні напрямки відновлюваної енергетики (вітроенергетику, геліоенергетику, біоенергетику, гідроенергетику та геотермальну енергетику).

Ключові слова: геоінформаційні системи; геоінформаційні технології; картографування; геоінформаційне моделювання; відновлювана енергетика; карта.

GEOINFORMATION MODELING IN THE PROBLEMS OF RENEWABLE ENERGY

V. ZATSERKOVNYI¹, N. OBEREMOK^{1*}, A. PUZYK²

¹ Department of Geoinformatics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

² Kyiv National University of Aviation, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The following is presented in the study - the objective factors that determine the necessity to develop non-traditional renewable energy sources and the prerequisites for their development in Ukraine, the energy potential of renewable energy sources. Technologies for the use of geo-information modeling aimed at using the cartographic information base to solve problems of planning, making managerial decisions and developing the energy industry are proposed. Practical implementation of the proposed approach provides for the development of a complex of cartographic works for the needs of renewable energy, the creation of maps of various functional and thematic direction (inventory, valuation, recommendation, forecast) that reflect various aspects (resources, objects, conditions, factors, state and perspectives of industry development) and cover various areas of renewable energy (wind power, solar energy, bioenergy, hydropower geothermal energy). The analysis of the development of renewable energy sources and their use is carried out. The tasks of geoinformation modeling for needs of renewable energy sources and their use are determined. The problems of the development of renewable energy sources and their use in Ukraine are determined. The conducted researches can serve as the basis for works on the construction of a decision support system for optimizing the work of the power industry. The present study presents existing approaches to energy saving perspectives and geoinformation analysis of the conditions for the use of alternative energy sources in Ukraine.

Key words: geo-information systems; geo-information technologies; mapping; geo-information modeling; renewable energy; map

Введення

Рациональне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) являє собою одну з глобальних світових проблем, успішне розв'язання якої буде мати визначальне значення не тільки для подальшого розвитку світового суспільства, але й для збереження середовища його існування. Друга глобальна проблема – забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння органічного палива. Навіть якщо розглядати окремо кожну грань цієї проблеми, то картина буде жахлива. Наприклад, як свідчать дані статистики щодо викиду в навколишнє середовище шкідливих речовин автомобілями: з вихлопними газами автомобілів в атмосферу потрапило 14,7 мільйона тонн оксиду вуглецю, 3,4

мільйона тонн вуглеводнів, близько одного мільйона тонн оксидів азоту, більше 5,5 тисячі тонн високотоксичних сполук свинцю. І це дані за далекий 1993 рік і якщо врахувати, що кожен рік з конвеєрів автомобільних заводів сходять понад 40 мільйонів машин, і темпи виробництва зростають, то можна сказати, що вже через десять років усі великі міста світу загрузнуть у смозі. До цього ще необхідно додати продукти згоряння палива на теплових електростанціях, затоплення величезних територій гідроелектростанціями та постійна небезпека в районах АЕС. Але у цієї проблеми є і друга сторона медалі: всі нині використовувані джерела енергії є вичерпаними ресурсами. Тобто через століття при таких темпах споживання вугілля, нафти і газу населення Землі загрузне в енергетичній кризі.

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування нових енергозберігаючих технологій, що використовують нетрадиційні відновлювальні джерела енергії.

Незважаючи на те, що сучасна енергетика головним чином базується на традиційних, невідновлюваних джерелах енергії (близько 80% у світовому енергетичному балансі складають нафта, газ і кам'яне вугілля), зацікавленість до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) невинно зростає. Головними аргументами для використання ВДЕ є висока ціна традиційного палива, енергетична безпека для країн-імпортерів нафти і газу і проблеми охорони навколишнього середовища.

У зв'язку з цим однією з важливих науково-технічних проблем в енергетичній галузі є забезпечення інформацією та підтримка ухвалення управлінських рішень державних органів у сфері планування розвитку сектора енергоощадних технологій на основі ВДЕ. Стратегія розвитку енергетики для будь-якого регіону країни і залучення ВДЕ в його енергетичний баланс напряму залежать від наявного потенціалу, як по окремим видам, так і по сукупності видів ВДЕ (комплексного потенціалу).

Відновлювана енергетика пропонує цікаві перспективи для економіки України. Вона розширює діапазон доступних джерел енергії, створюючи нові ринки збуту для виробників, зміцнює енергетичну незалежність країни за рахунок урізноманітнення джерел енергопостачання. Тому актуальним є пошук джерел енергії, яку можливо отримувати на будь-якій території та в будь-якій кількості і з мінімальними екологічними збитками. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

Проблемі енергозабезпечення і вибору шляхів її розв'язання присвячені праці багатьох науковців. Доробок вчених відрізняється своїм розмаїттям. Так, В. Андрійчук [1], В. Лір, У. Письменна [2] пов'язують дослідження з проблемою енергетичної безпеки держави. А. Прокіп [3] зосереджує увагу на визначенні перспектив енергозабезпечення світової спільноти з огляду на концепцію сталого розвитку. С. Кудря [4] аналізує переваги відновлюваної енергетики. С. Корсунський [5] вдається до з'ясування перспектив енергозабезпечення України за умови її залучення до Європейського Союзу.

Проблемами розвитку світового ринку енергетичних ресурсів та впровадження інноваційних проектів у галузі альтернативної енергетики займалися зарубіжні вчені: С. Азар, Ван ден Брок, В. Дорнбург, Е. Смітс, А. Файдж, Б. Фішер, К. Хеймлінк, М. Хоогвайк, В. Алексеев, Н. Рустамов, Е. Берман, Н. Міроненко, А. Синюгін та ін. Серед вітчизняних учених проблеми світового ринку енергоресурсів висвітлюються в працях Є. Воробйова, А. Голікова, О. Андрюхіна, О. Довгаль, В. Новицького, А.

Савицького, І. Смирнова, Б. Слуцького, О. Поппель, А. Філіпенко, А. Федоренко, Б. Яценко та ін.

Складність та різноманітність дослідження поставленої проблеми потребують продовження наукового пошуку.

Мета роботи

Мета дослідження: висвітлення існуючих підходів до перспектив енергозбереження та геоінформаційний аналіз умов застосування альтернативних джерел енергетики на території України.

Об'єкт дослідження – альтернативні джерела енергетики на території України.

Предмет дослідження – умови застосування альтернативних джерел енергетики на території України.

Завдання дослідження:

1. аналіз розвитку відновлювальних джерел енергетики та їх використання;

2. постановка завдань геоінформаційного моделювання для потреб відновлювальних джерел енергетики та їх використання;

3. визначення проблем розвитку відновлювальних джерел енергетики та їх використання в Україні.

Виклад основного матеріалу

Успішний поступ людської цивілізації у значній мірі залежить від вирішення енергетичної проблеми, яка набула глобального характеру. На сьогодні є принаймні два головні шляхи. Перший – це енергозбереження, а другий – впровадження й використання нетрадиційних (альтернативних) та відновних джерел енергії.

Можливості нарощування енергетичної бази нині суттєво змінилися. Виснажені енергоносії, на яких базується розвиток сучасної техносфери, наблизились до межі вичерпання. Це висуває перед людством нові проблеми, стосовно перспектив економічного, демографічного, соціального та екологічного розвитку.

Українська економіка, за даними експертів Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) є однією з найбільш енергоємних у світі: на виробництво одиниці ВВП витрачається в 3-5 разів більше енергії, ніж в країнах Східної Європи. Це зумовлює зростання навантаження на державний бюджет у зв'язку з необхідністю субсидувати закупівлі "надмірної" кількості енергоресурсів, у тому числі газу; збільшення забруднення довкілля і створює проблеми для конкурентоспроможності економіки в майбутньому. Причин такого стану декілька:

– низька ефективність виробництва і передачі усіх видів енергії;

– численні прорахунки в ціно- і тарифоутвореннях на енергетичних ринках, що не стимулюють до підвищення енергетичної ефективності як для виробників, так і для споживачів;

– протиріччя між Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (далі – Стратегія) і останніми тенденціями розвитку економіки України (у Стратегії наголошується на збільшенні виробництва електроенергії, а не на підвищенні енергоефективності);

– відсутність конкурентного ринку вугілля і альтернативних джерел енергетичних ресурсів для теплової енергетики.

Загострення глобальних енергетичних та екологічних проблем у другій половині ХХ століття призвело до пошуків нових альтернативних джерел енергії. Як наслідок – переважна більшість країн світу спрямовує зусилля на розвиток відновлюваної енергетики (ВЕ). Трансформація енергетичної галузі, що проявляється у впровадженні технологій використання відновлюваних джерел енергії, вимагає розв'язку низки завдань законодавчого, технологічного, інформаційного характеру.

Для прийняття рішень щодо можливості і доцільності розвитку того чи іншого напрямку ВЕ необхідне проведення комплексу науково-дослідних робіт з оцінки наявності ресурсів, їх просторового розподілу, часової динаміки, економічних, соціальних та екологічних чинників, що лімітують розміщення об'єктів галузі.

Застосування геоінформаційного моделювання дозволяє не тільки інтегрувати і в зручній формі візуалізувати результати проведення вишукувальних робіт з оцінки ресурсного потенціалу ВДЕ, а й ефективно розв'язувати задачі просторової оптимізації галузі.

Геоінформаційне моделювання (ГІМ) – інтегративна теорія, яка на новій методологічній основі об'єднує вже відомі методи проектування, укладання, використання та аналізу геоінформаційних моделей для дослідження об'єктів реального світу за допомогою системи упорядкування і трансформації інформації про ці об'єкти.

ГІМ можна визначити як моделювання просторових об'єктів, взаємопов'язаних з атрибутивними даними (базами даних) за допомогою математичних методів і програмних засобів геоінформаційних систем (ГІС). На відміну від теоретичних методів моделювання, ГІМ є високотехнологічним процесом (за рахунок взаємодії з об'єктами бази даних) і виступає інструментом, який забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координатних даних.

ГІМ є засобом інтелектуальної обробки та відображення просторової інформації для одержання нових знань. Комп'ютерне електронно-графічне моделювання, застосування графічних, графо-

математичних та електронно-графічних моделей і ГІТ – основа ГІМ.

Теоретичну основу ГІМ становить уявлення про картографо-кібернетичну систему, що функціонує завдяки картографічним даним і алгоритмам, які описують усі процеси створення й використання карт із залученням цифрової та графічної інформації.

ГІМ полягає в умінні конструювати геоінформаційні моделі та аналізувати їх для вивчення об'єктів реального світу. Його можна розглядати як сучасну ГІТ, яка, на відміну від теоретичних методів моделювання, є технологічним процесом, оскільки взаємодіє з об'єктами бази даних ГІС.

У процесі ГІМ утворюється новий тематичний шар електронної карти, що якісно відрізняється від того, що дослідник бачив раніше. З цієї точки зору, до процедур ГІМ відноситься й тематична обробка даних ДЗЗ, оскільки в результаті тематичної класифікації утворюється новий шар – класифіковане зображення. Однак це найпростіший приклад ГІМ. Класифіковане растрове зображення без накладання на нього хоча б якихось векторних шарів не є ГІМ, це просто перефарбована в умовні кольори картина земної поверхні. А ось коли на підставі класифікації створюється тематична карта – це вже ГІМ (етап *image understanding*).

Виділяють декілька видів ГІМ, яке реалізується як у векторних, так і в растрових ГІС, а саме [16]:

1) геогруповання – побудова просторово-часової динамічної моделі шляхом об'єднання сукупностей геооб'єктів у більш великі. Тут використовуються аналітичні залежності і фізичні моделі. Апарат достатньо добре формалізований, тому більша частина процесів може бути автоматизована;

2) буферизація – процедура побудови буферних зон для різних типів об'єктів. Апарат – побудова обвідної на заданій відстані від межі об'єктів, а потім об'єднання і видалення перекриттів. Ця процедура також є формальною, тому може виконуватись автоматично;

3) генералізація – узагальнення графічних об'єктів і зміна їх відображення при зміні масштабу. Методологічний апарат дуже розмаїтий. Повна формалізація практично неможлива: занадто багато чинників, які потрібно враховувати;

4) комбінування – композиція і декомпозиція геооб'єктів на основі відношень між ними. Якщо геогруповання використовується головним чином при роботі з растровими моделями, то комбінування – це методологія для векторних ГІС. Найпростішим прикладом комбінування є одна з операцій редагування полігонів. Комбінування – це, головним чином, методологія прикладного геоінформаційного аналізу (певна просторова вибірка за заданими критеріями). Наприклад, розв'язок транспортних задач здійснюється головним чином за допомогою процедур комбінування. Більшість задач цього типу

можуть бути розв'язані методами дискретного аналізу, зокрема, методами теорії графів;

5) геокодування – процедура позиціонування (координатна прив'язка) табличних даних. У загальному випадку задача є відносно простою і відноситься до теорії реляційних баз даних;

6) узагальнення даних – процедура створення атрибутів нових об'єктів на основі відношень між вихідними. Процедура узагальнення часто включає топологічний аналіз графічних об'єктів, однак загалом вона достатньо добре формалізується. Може бути інтерактивною, проте може бути й суто аналітичною. Наприклад, на основі певних значень показників А, В, С розраховується показник D, потім виконується групування об'єктів за цим показником. Саме таким чином відбувається побудова карти рослинного покриву за складом рослинності в межах певного контуру. Тут переважно використовується апарат дискретного аналізу і теорії баз даних;

7) побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних. Ця методологія лежить в основі створення легенд. Класифікація здійснюється за одним атрибутом. Якщо потрібна класифікація об'єктів за декількома атрибутами, то використовується кореляційний і факторний аналіз. Врешті-решт, це все методологія розпізнавання, що ґрунтується на багатомірній кластеризації. Однак такий підхід найчастіше використовується при створенні так званих синтетичних карт. У багатьох випадках новий показник просто розраховується за заданими формулами;

8) ректифікація даних. Коли при цьому також ставиться і розв'язується завдання максимально можливого усунення спотворень, зумовлених рельєфом місцевості, то таке ректифікування називають орторектифікуванням;

9) проведення автоматичної класифікації ознак геоб'єктів (включаючи растрові) за заданими критеріями.

Картографічне забезпечення ВЕ має ряд особливостей, не притаманних традиційним (усталеним) напрямом тематичного картографування, як то: просторово-часова темпоральність об'єктів картографування як їх онтологічна сутність; стохастичність окремих видів відновлюваних енергетичних ресурсів (ВЕР); нестача у натурних спостереженнях значної частки вихідних характеристик об'єктів картографування і, як наслідок, потреба їх розрахунку із застосуванням математичних і математико-картографічних методів, а також аналізу ГІС [6].

До нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) відносять гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, газу з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи, а також теплову енергію.

Проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж в інших країнах світу. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларативні заяви щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, – реальних кроків щодо впровадження НВДЕ зроблено досить мало.

Змінити ситуацію можна шляхом проведення відповідної енергетичної політики, вдосконалення нормативно-правової бази та залучення інвестицій у розвиток НВДЕ. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

Питання оптимізації картографічного забезпечення НВДЕ тісно пов'язані із застосуванням можливостей комп'ютерної техніки та сучасних програмних засобів, передусім – геоінформаційних систем (ГІС) [7].

Сучасний розвиток геоінформаційних технологій (ГІТ) йде шляхом реалізації складних алгоритмів просторового аналізу на основі геоданих, розробки автоматизованих алгоритмів математико-картографічного моделювання та вирішення прикладних аналітичних задач [8]. Ця тенденція значною мірою проявляється у картографуванні для потреб НВДЕ. Необхідність вирішення різнопланових задач, пов'язаних як з геообробкою первинних даних про НВДЕ (зокрема проведення інтерполяції показників геліо-, вітро-, геотермальних ресурсів, моделювання річкової мережі та параметрів річкового стоку тощо), так і з подальшим проведенням комплексного просторового аналізу умов та факторів території для ухвалення управлінських, стратегічних та оперативних рішень у сфері НВДЕ, робить ГІС незамінним інструментом створення картографічних моделей різної складності в процесі картографічного забезпечення галузі.

В Україні практичні розробки з картографування НВДЕ представлені як у працях ряду організацій (Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Інституту географії НАН України, Інституту гео- фізики НАН України), так і в дослідженнях окремих науковців (С.А. Величка, О.С. Третякова, А. К. Шидловського та ін.). Зростаючий попит на картографічну інформацію, що розкриває різні аспекти використання НВДЕ, викликає необхідність удосконалення картографічного забезпечення НВДЕ України.

Картографічні твори для потреб НВДЕ мають важливе практичне значення, характеризуються широкими можливостями використання в різних сферах людської діяльності та здатні виконувати різні функції.

За призначенням картографічні твори НВДЕ пропонується поділяти на дві групи: спеціалізованого (профільного, цільового) та неспеціалізованого (багатоцільового) призначення.

Перші застосовуються при вирішенні практичних завдань, пов'язаних з управлінням та розвитком НВДЕ, плануванням та впровадженням нових енергетичних об'єктів, що використовують ресурси відновлюваних джерел енергії.

Друга група картографічних творів НВДЕ призначена для широкого кола користувачів та може використовуватися у різних сферах – освітній, науково-дослідній діяльності, для залучення інвесторів, популяризації відновлюваних джерел енергії серед широких верств населення, в довідникових цілях, тощо. Відповідно до призначення виділено управлінську, промислово-проектну, інформаційно-пізнавальну, популяризаційну, інвестиційну, виховну, навчально-освітню та науково-дослідну функцію картографічних творів НВДЕ [9,10].

Розробка структури системи картографічних творів для потреб НВДЕ ґрунтується на концепції, принципах, запропонованій класифікації карт НВДЕ за змістом та функціональною спрямованістю, що обґрунтовувались з позицій системного картографування.

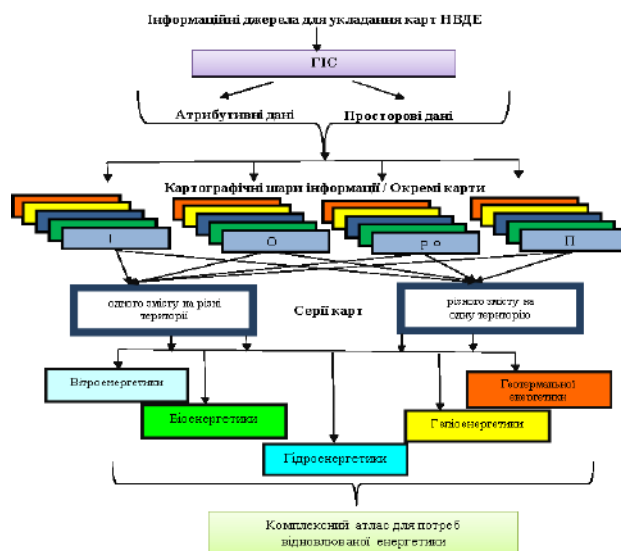
В основу системи покладено формування загальнодержавної ГІС для потреб НВДЕ, що наповнюється даними з різних інформаційних джерел та включає набори просторових та атрибутивних даних, які в свою чергу формують тематичні картографічні шари (рис. 1.).

На основі цих картографічних шарів даних укладаються окремі карти НВДЕ різної функціональної спрямованості – інвентаризаційні, оцінювальні, рекомендаційні, прогнози, що відображають різні аспекти (ресурси, об'єкти, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі) та охоплюють різні напрямки НВДЕ (вітроенергетику, геліоенергетику, біоенергетику, гідроенергетику та геотермальну енергетику).

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Цей вид джерела енергії є непрямою формою сонячної енергії, і тому належить до відновлюваних джерел енергії. На планеті виникнення вітрів має характер випадковий і неконтрольований. Це стосується як напрямку, так і сили вітру. Вітроенергетика, як високотехнологічна, економічно та екологічно ефективна галузь енергетики, базується на використанні відновлюваного джерела енергії для розв'язання однієї з найбільш критичних проблем людини –

споконвічної боротьби за енергію та, водночас, зменшення негативного впливу на довкілля [11-12].

За даними Міжгалузевого науково-технічного центру вітроенергетики Національної академії наук України, територія нашої країни має значні ресурси вітрової енергії, які оцінюються у 30 ТВт х год./рік [13].



Вид карт: I – інвентаризаційні, O – оцінювальні, P – рекомендаційні, R – прогнози.

Рис. 1 – Система картографічних творів для потреб НВДЕ

За результатами обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України по швидкостях вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування. Приведені дані є базовими при впровадженні вітроенергетичного обладнання і призначені до використання проектувальниками об'єктів вітроенергетики для встановлення оптимальної потужності вітроагрегатів та тилу енергії (електрична або механічна) для ефективного її виробництва в конкретній місцевості [11].

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат.

Вітрові умови району відносно використання вітру визначаються вітроенергетичним кадастром, який включає різні показники швидкості вітру, обумовлені результатами багаторічних спостережень: середньорічні і середньомісячні швидкості вітру; повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби [13].

Таким чином, можна зробити висновки про те, що вітроенергетика визначена у світі найбільш перспективною галуззю відновлюваної енергетики, а Україна входить до числа країн, що мають значний вітровий та науково-виробничий потенціал і при цьому гостро потребує власних енергоресурсів, існує потреба і можливість у розробці та впровадженні інноваційно-інвестиційних проєктів розвитку в окремих регіонах та створенні цілісної вітроенергетичної галузі України [11-12].

Створена авторами картодіаграма енергетичного потенціалу вітру територій України за даними [14] представлена на рис. 2.

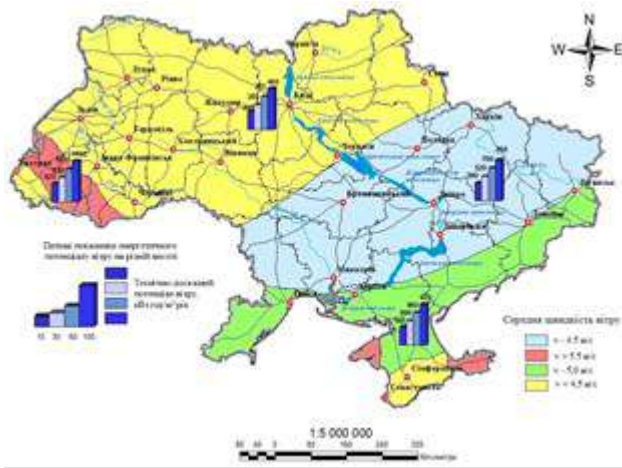


Рис.2 – Картодіаграма енергетичного потенціалу вітру територій України

Потенціал використання сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання. Середньорічна кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на 1 кв. кілометр поверхні території України, становить в межах 1070 кВт·год у північній частині країни та 1400 кВт·год і вище в Автономній Республіці Крим.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. За результатами обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях [14].

Достатньо високий рівень готового до серійного виробництва та широкий діапазон можливого застосування в Україні обладнання сонячної теплової енергетики свідчить, що для

масштабного впровадження і отримання значної економії ПЕР необхідно лише підвищення зацікавленості виробників до випуску великих партій такого обладнання. Перетворення сонячної енергії в електричну енергію в умовах України слід орієнтувати в першу чергу на використання фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може забезпечити сповна не тільки потреби вітчизняного споживача, але й представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції [15].

Створена авторами картодіаграма потенціалу сонячної енергії на території України за даними [14] представлена на рис. 3.



Рис.3 – Картодіаграма потенціалу сонячної енергії на території України

Аналіз енергетичного потенціалу енергії малих річок України та функціонування малих ГЕС на території України свідчить, що в Україні є значний потенціал розвитку цього виду відновлювальних джерел енергії.

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії ПЕР, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим вирішить ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

Україна має потужні ресурси гідроенергії малих річок — загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України становить близько 12,5 млрд кВт·год, що дорівнює приблизно 28% загального гідропотенціалу всіх річок України [14].

Коливання осереднених даних по загальному потенціалу в Україні досить незначні, тоді як дані по технічному та доцільно-економічному потенціалу малих річок потребують уточнення - в звичайних ситуаціях не менше одного разу в 5 років, а в виняткових випадках - щорічно.

Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях, відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект.

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим зніме ряд проблем як в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, так і в керуванні гігантськими енергетичними системами, при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів.

Освоєння потенціалу малих річок із використанням малих та мікрогідроелектростанцій допомагає вирішити проблему енергозабезпечення споживачів. Найефективніші малі гідроелектростанції, що будують на існуючих гідротехнічних спорудах.

Створена авторами картодіаграма потенціалу гідроенергетичного потенціалу територій України за даними [14] представлена на рис. 4.



Рис. 4 – Картодіаграма гідроенергетичного потенціалу територій України

Енергетичний потенціал біомаси в Україні. Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії в найближчій перспективі можна задовольнити 13-15% потреби держави в первинній енергії [15]. Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності [14].

Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької сільськогосподарської і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів лісу.

Оцінка потенціалу відходів тваринництва проводилась із залученням статистичного методу. Цей метод дає змогу розрахувати лише теоретичний потенціал біомаси. Він базується на обласних статистичних даних, нанесених на карту у просторово-явному вигляді [15].

Наведені середньорічні показники енергетичного потенціалу основних видів біомаси для енергетичних потреб можуть бути використані для встановлення потенціалу при врахуванні відповідних коефіцієнтів по збільшенню або зменшенню обсягів отриманої біомаси в розрахунковому році. Тому дані про наявність кожного з видів біомаси для енергетичних потреб в областях України потребують щорічного обліку, дані про розподіл її енергетичного потенціалу відповідно потребують щорічного перерахунку.

Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективне і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

Створена авторами картодіаграма потенціалу біомаси територій України за даними [14] представлена на рис. 5.

Наразі біомаса в Україні застосовується в основному для виробництва теплової енергії. На деревну біомасу переведено більше 1000 котлів, які експлуатуються на підприємствах лісового господарства. близько 2000 котлів використовують відходи деревини (тріски, гранули). Більше 70 котлів, які обслуговують олійноекстракційні заводи та масложирові комбінати, використовують як паливо лушпиння соняшника].

Потенціал використання біопалива для великих ТЕЦ в Україні залишається нерозкритим. Але вже існують приклади такого використання. У ТОВ «Комбінат Каргілл» та ПАТ «Кіровоградолія» побудовано дві промислові ТЕЦ, які використовують як паливо відходи власного виробництва. Важливим є поширення досвіду використання енергетичного потенціалу біомаси по всій країні. Для цього необхідно налагодження виробництва паливних гранул, зокрема брикетів.

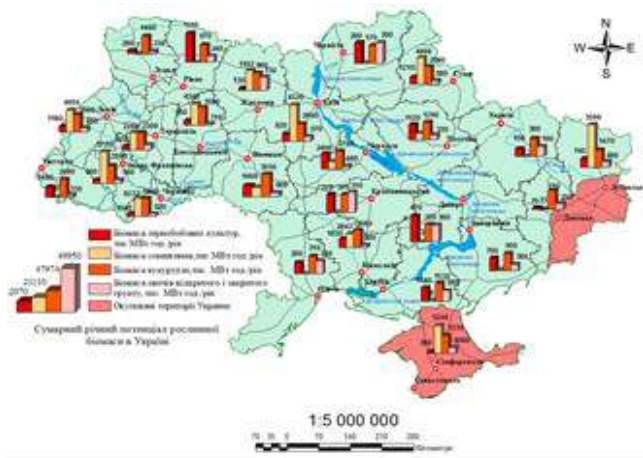


Рис.5 – Картодіаграма потенціалу біомаси території України



Рис.6 – Картодіаграма потенціалу теплової енергії території України

Енергетичний потенціал теплової енергії стічних вод в Україні. Основними джерелами низькопотенціальної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів.

Потужні теплонасосні станції теплопостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Можливим є створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів та інших об'єктів побутового і промислового призначення.

Теоретичні ресурси низькопотенціальної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з загального обсягу каналізаційних стоків відповідної області. Технічно доступні ресурси розраховуються, виходячи з загального обсягу очищених каналізаційних стоків лише від міських поселень [14].

Економічно-доцільні обсяги використання низькопотенціальної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з половини обсягу очищених стоків від міських поселень відповідної області (враховуються обмеження, пов'язані з нерівномірністю надходження стоків).

Завдяки роботі теплонасосних станцій можна зменшити споживання високоякісного палива в комунальних системах теплопостачання міст; при використанні теплових насосів з приводом від двигунів внутрішнього згоряння, паро- або газотурбінних установок значно збільшуються можливі обсяги виробництва товарної теплової енергії, а ефективність теплонасосних станцій зростає майже у два рази.

Створена авторами картодіаграма потенціалу теплової енергії території України за даними [14] представлена на рис. 6.

Енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод в Україні. Температура ґрунту та гірських порід біля поверхні Землі визначається балансом теплової енергії, що надходить від Сонця та тепловим випромінюванням земної поверхні. Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної поверхні. Шар ґрунту між глибиною промерзання та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому енергія, відведена в зимовий період буде відновлюватись в теплий період року; це стосується і ґрунтових вод, що насичують вищевказаний шар ґрунту та осадових порід.

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою фунтових теплообмінників різних типів.

Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5-7 до плюс 10-12°C і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40-70°C за допомогою теплових насосів. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70-100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл [14].

Оцінки ресурсів низькопотенціальної теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, визначені на основі статистичних даних про житловий фонд та споживання котельно-пічного палива, можуть прийматися в якості прогнозу на найближчі роки.

Створена авторами картодіаграма потенціалу низькопотенціальної енергії ґрунту території України за даними [14] представлена на рис. 7.



Рис.7 – Картодіаграма потенціалу низькопотенціальної енергії ґрунту території України

Висновки

Використання НВДЕ на сучасному етапі розвитку економіки України є недостатнім і не відповідає загальноєвропейському рівню. Однак поступові кроки у законодавчій та нормативно-правовій базі держави зробили поштовх для подальшого розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Основним завданням геоінформаційного моделювання для потреб НВДЕ є забезпечення просторово-координованою інформацією про ресурсний потенціал, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі, що реалізується шляхом розробки картографічних творів різного типу (окремі карти, серії карт, атласи, ГІС, веб-атласи та веб-ГІС), територіального охоплення (від карт світу до карт окремих енергетичних об'єктів) та функціонального призначення.

Проблема розвитку НВДЕ регіону та включення відповідних ресурсів є доволі складною за кількістю виконуваних етапів та проміжних завдань задачею. Відтак, навіть існування доволі великої кількості методів не вичерпує актуальність та перспективи розвитку даної задачі. Досягнення ефективного використання НВДЕ повинно передбачати аналіз всіх альтернатив використання доступних ресурсів, врахування прямих та опосередкованих економічних та екологічних вигід, для досягнення максимального рівня енергетичного самозабезпечення в регіоні.

Результати досліджень можуть слугувати основою для робіт з побудови системи підтримки прийняття рішень щодо оптимізації роботи енергетичної галузі.

Список літератури

1. Андрійчук, В. Шляхи досягнення енергетичної безпеки / В. Андрійчук // *Політика і час*. – 2006. – № 12. – С. 35–38.
2. Лір, В. Е. Енергоефективність як детермінанта енергетичної безпеки держави та конкурентоспроможність національної економіки / В. Е.

Лір, У. Є. Письменна // *Економіка і прогнозування*. – 2009. – № 1. – С. 35–52.

3. Прокіп, А. Сучасні підходи до енергозабезпечення людства в умовах формування суспільства сталого розвитку / А. Прокіп // *Економіка України*. – 2012. – № 5. – С. 85–90.
4. Кудря, С. О. Відновлювана енергетика: основні тенденції та напрямки розвитку / С. О. Кудря // *Проблеми розвитку енергетики*. – 2009. № 6. – С. 135–137.
5. Корсунський, С. Енергетична політика України: європейський вибір / С. Корсунський // *Політика і час*. – 2006. – № 11. – С. 11–13.
6. Сінна, О. І. Ландшафтно-екологічне картографування на основі геоінформаційних технологій (на прикладі Харківської області): дис. на здобуття вченого ступ. канд. геогр. наук : 11.00.12 / О. І. Сінна. – *Ін-т географії НАНУ*, 2014. – С. 265.
7. Зацерковний, В. І. Геоінформаційні системи в науках про Землю / В. І. Зацерковний, І. В.Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов // *НДУ ім. М. Гоголя*, 2016. – 510 с.
8. Бурачек, В. Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний // *Ніжин: ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф»*, 2011.
9. Митчел, Э. Руководство ESRI по ГИС анализу. Том 1: Географические закономерности и взаимодействия. ESRI, 2009. – 176 с.
10. Башинська, Ю. І. Особливості регіональних програм з використання відновлюваних джерел енергії / Ю. І. Башинська // *Регіональна економіка*. – Львів, 2014. – № 1. – С. 165-174.
11. Півняк, Ф. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабель, О. Н. Нойбергер, Д. Ципленков // *М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ*, 2015. – 335 с.
12. Волковая, О. О. Моделирование ветрового потенциала локальной ділянки лісостепу для потреб вітроенергетики з використанням гіс-технологій / О. О. Волковая, О. С. Третьяков, І. Г. Черваньов // *Український географічний журнал*. - 2015. - № 4. - С. 10-16. – doi: 10.15407/ugz2015.04.010.
13. Носенко, Ю. Вітроенергетика – практичні аспекти і перспективи / Ю. Носенко // *Агробізнес сьогодні*. – 2012. – № 1/2. – С. 42-44.
14. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України [Електронний ресурс]. URL: <http://istochnik-13.narod.ru/atlas.doc>.
15. Лакида, П. І. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / П. І. Лакида, Г. Г. Гелетуша, Р. Д. Васишин, та ін. // *Навчально науковий інститут лісового і садово-паркового господарства НУБіП України*. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2011. – 28 с.
16. Зацерковний, В. І. Геоінформаційні системи і бази даних т.2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко // *Ніжин: НДУ ім. М.Гоголя*, 2017. – 237 с.

Bibliography (transliterated)

1. Andriyuchuk, V. Ways of achieving energy security. *Politics and time*, 2006, 12, 35-38.
2. Lira, V., Pysmenna, U. Energy efficiency as a determinant of the state's energy security and the competitiveness of the

- national economy. *Economy and Forecasting*, 2009, 1, 35-52.
3. **Prokip, A.** Modern approaches to energy supply of humanity in the conditions of formation of a society of sustainable development. *Economy of Ukraine*, 2012, 5, 85-90.
 4. **Kudrya, S.** Renewable Energy: Main Trends and Directions of Development. *Problems of energy development*, 2009, 6, 135-137.
 5. **Korsunsky, S.** Energy Policy of Ukraine: European Choice. *Politics and Time*, 2006, 11, 11-13.
 6. **Sina, O.** Landscape-ecological mapping on the basis of geoinformation technologies (for example, Kharkiv region): diss. for obtaining a scientific degree. Cand. geogr. Sciences: 11.00.12 *Institute of Geography, National Academy of Sciences*, 2014, 265.
 7. **Zatserkovnyi, V., Tishayev, I., Virshylo, I., Demydov, V.** Geoinformation Systems in the Sciences of the Earth. *NDU them. M. Gogol*, 2016, 510.
 8. **Buracek, V., Zheleznyak, O., Zatserkovnyy, V.** Geoinformation analysis of spatial data. *Nizhyn: LLC Aspect-Polygraph Publishing House*. 2011.
 9. **Mitchell, E.** ESRI's Guide to GIS Analysis. Volume 1: Geographic patterns and interactions. *ESRI*, 2009. 176.
 10. **Bashinskaya, Y.** Peculiarities of Regional Programs on the Use of Renewable Energy Sources. *Regional Economics, Lviv*, 2014, 1, 165-174.
 11. **Pivnyak, G., Pivnyak H., Shkrabets, F., Noyberher, O., Tsyplenkov D.** Basics of Wind Energy: Textbook. *Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine. NMU*, 2015, 335.
 12. **Volkova, O., Tretyakov O., Chervanov I.** Simulation of the wind potential of a local forest-steppe area for the needs of wind energy using hi-tech. *Ukrainskiy geografichnyi gurnal*, 2015, 4, 10-16, doi: 10.15407/ugz2015.04.010.
 13. **Nosenko, Y.** Wind power engineering - practical aspects and perspectives. *Agrobusiness today*, 2012, 1/2, 42-44.
 14. Atlas of energy potential of renewable and non-traditional energy sources of Ukraine. Available at: <http://istochnik-13.narod.ru/atlas.doc>.
 15. **Lakida, P., Geltukha, G., Vasilishin, R., etc.** Energy potential of biomass in Ukraine. *Educational Scientific Institute of Forestry and Landscape Management of NUBiP of Ukraine. Publishing Center of NUBiP of Ukraine*, 2011, 28.
 16. **Zatserkovny, V., Buracek, V., Zheleznyak, O., Tereshchenko, A.** Geoinformation Systems and Databases. *Nizhyn: NDU them. M. Gogol*, 2017, 237.

Сведения об авторах (About authors)

Зацерковний Віталій Іванович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com.

Vitalii Zatserkovnyi – doctor of science, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kiev, Chief of geoinformatics department, Kiev City, Ukraine; e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com.

Оберемок Наталія Василівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, докторант кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; e-mail: oberemokn@gmail.com.

Nataliia Oberemok – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of geoinformatics, Kiev City, Ukraine; e-mail: oberemokn@gmail.com.

Пузик Анастасія – Київський національний авіаційний університет, студент, м. Київ, Україна; e-mail: a.puzykk@gmail.com.

Anastasiia Puzik – National Aviation University of Kiev, student, Kiev City, Ukraine; e-mail: a.puzykk@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Зацерковний, В. І. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики / **В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, А. А. Пузик** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 118-127. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

Please cite this article as:

Zatserkovnyi, V., Oberemok, N., Puzyk, A. Geoinformation modeling in the problems of renewable energy. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 118-127, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Зацерковный, В. И. Геоинформационное моделирование в задачах возобновляемой энергетики / **В. И. Зацерковный, Н. В. Оберемок, А. А. Пузик** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 118-127. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

АННОТАЦИЯ Представлены объективные факторы, обуславливающие необходимость развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии та предпосылки их развития в Украине, энергетический потенциал возобновляемых источников энергии. Предложены технологии использования геоинформационного моделирования, ориентированных на использование картографической базы информации для решения задач планированию, принятию управленческих решений и развития энергетической отрасли. Практическая реализация предложенного подхода предусматривает разработку комплекса картографических произведений для нужд возобновляемой энергетики, составления карт различной функциональной и тематической карт направленности (инвентаризационных, оценочных, рекомендационных, прогнозных), которые отображают различные аспекты (ресурсы, объекты, условия, факторы, состояние и перспективы развития отрасли) и охватывают различные направления возобновляемой энергетики (ветроэнергетику, гелиоэнергетику, биоэнергетику, гидроэнергетику и геотермальную энергетику).

Ключевые слова: геоинформационные системы; геоинформационные технологии; картографирование; геоинформационное моделирование; возобновляемая энергетика; карта.

Поступила (received) 12.03.2018

УДК 378.147:004.588

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.18

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

А. М. ПЕРЕВЕРЗЄВ^{1*}, О. В. СКЛЯРЕНКО²

¹ кафедра інформаційних систем та математичних дисциплін, ПВНЗ «Європейський університет», м. Київ, УКРАЇНА
*e-mail: antoneuina@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуто можливості, переваги та недоліки застосування хмарних технологій в навчальному процесі вищих навчальних закладів. Проведено короткий огляд основних постачальників сучасних освітніх платформ на основі використання хмарних технологій. Представлено сучасні програмні рішення та їх можливості, що можуть бути використані в організації навчального процесу.

Ключові слова: хмарні технології; cloud technology; хмарні обчислення; освітні платформи; навчальний процес; Microsoft for Education; Google Apps for Education.

FEATURES OF APPLICATION OF CLOUD TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL PROCESS

A. PEREVERZIEV¹, E. SKLIARENKO²

Department of Informatics Systems and Mathematics Disciplines, European University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Educational institutions should ensure the full development of the individual, for today it is impossible without using of the latest means of Internet communication. Cloud computing technologies implements of various forms of electronic, distance and mixed learning, and have significant advantages over traditional forms of education. The main purpose of this article is to explore the possibilities, advantages, and disadvantages of using cloud applications in the learning process of higher educational institutions. The review of the main suppliers of modern educational platforms based on using of cloud technologies is conducted, namely Microsoft, Amazon, Google, and IBM. Modern software solutions and their possibilities that can be used in the organization of educational processes are presented. Virtual learning environments are easy to use and do not require users to have deep knowledge of multimedia or communications tools or knowledge of programming languages. The opportunities of cloud technologies used in learning organization can have a significant impact on the formation of training tasks, assessment systems, and the final learning experience. Using of cloud technologies in the educational process will, above all, solve the problem of ensuring equal access of students and teachers to quality educational resources, regardless of their financial status, nationality, place of residence and state of health. In addition, using of cloud technologies in educational organizations will enable not only to improve the efficiency of the educational process and the convenience for teachers and students but also reduce economic costs. Cloud computing technologies enable students across the globe to acquire the 21st-century skills and training they need to compete and succeed in the global information society.

Keywords: cloud technology; cloud computing; educational platforms; educational process; Microsoft for Education; Google Apps for Education.

Вступ

В сучасних умовах реформування системи освіти в Україні в контексті глобалізації зростають вимоги суспільства до якості надання освітніх послуг, і сучасна система освіти повинна реагувати на ці зміни. Навчальні заклади мають забезпечувати всебічний розвиток особистості, на сьогодні це неможливо без використання новітніх засобів інтернет-комунікації. І в цьому на допомогу приходять хмарні технології (cloud technology), які є основою для інноваційного розвитку сучасного навчального закладу. За оцінками аналітиків Гартнер Груп (Gartner Group) хмарні технології вважаються найбільш перспективною стратегічною технологією майбутнього, прогнозується міграція більшої частини

інформаційних технологій в хмару на протязі найближчих 5–7 років. Тому на сьогодні особливо актуально постає питання запровадження таких новітніх технологій у навчально-виховні процеси вищих навчальних закладів (ВНЗ), що значно спростить процес організації навчання та підвищить його ефективність.

Мета роботи

Впровадження хмарних технологій в навчальний процес привернули увагу багатьох дослідників. Світовий досвід застосування хмарних технологій у своїх роботах проаналізували Н. Склатер [9] і К. Хеввіт, М.П. Шишкіна [14], О.М. Спірін, Ю.Г. Запороженко [15] описали перспективи

використання хмарних обчислень як платформи інформатизації сучасних освітніх систем. З.С. Сейдеметова і С.Н. Сєйтвелієва [13] проаналізували онлайн-сервіси на основі хмарних обчислень. Хмарні технології у професійній підготовці студента розглядаються у дослідженнях Ю.В. Триуса. Побудова персональних навчальних середовищ на основі хмарних технологій досліджується у роботах О.С. Воронкіна. Також дану проблематику розглядають у своїх роботах такі науковці як В.Ю. Биков [6], Р.С. Гуревич, С.Г. Литвинова [7], Н.В. Морзе, О.Г. Кузьмінська [8] та ін.

Аналіз літератури свідчить, що численні методологічні, організаційні, психолого-педагогічні, техніко-технологічні питання формування освітнього середовища на базі хмарних технологій ВНЗ практично не висвітлені. Отже, можна виокремити наступні проблеми і напрями досліджень хмаро-орієнтованого освітнього середовища, що потребують вирішення у найближчий час:

- дослідження теоретико-методологічних засад формування і розвитку хмаро орієнтованого середовища навчального закладу;
- обґрунтування моделей організації хмаро орієнтованого середовища ВНЗ;
- експериментальна перевірка результативності функціонування компонентів хмаро орієнтованого середовища ВНЗ [14].

Метою даної статті є дослідження можливостей та недоліків застосування хмарних додатків у навчальному процесі.

Виклад основного матеріалу

Вперше термін «*Cloud technology*» застосували у 2008 році на одній з інтернет-конференцій. У результаті дискусій були різні версії, за однією з яких термін «*cloud*» був вперше використаний головою компанії Google Шмідтом і отримав поширення в засобах масової інформації (ЗМІ). Інша версія припускає, що термін «*cloud computing*» став використовуватися у США з 2005 року, після запуску компанією Amazon проекту Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) і був широко поширений серед постачальників інформаційних технологій. Хоча переклад «хмарні» не зовсім вдалий. Дослівний переклад слова «*cloud*» - «хмара», однак це слово має й інше значення - «розсіяний, розподілений». Тож хмарні технології є «розподіленими технологіями», тобто опрацювання даних відбувається з використанням не одного персонального комп'ютера (ПК), а розподіляється по комп'ютерах, які підключені до мережі Internet.

Хмарні технології – це технології, що передбачають віддалену обробку та зберігання даних та надають користувачам мережі Інтернет можливість доступу до комп'ютерних ресурсів сервера та можливість використання програмного забезпечення як онлайн-сервіса.

Обслуговування у хмарних технологіях здійснюється за такими моделями:

✓ Програмне забезпечення (ПЗ), як послуга (SaaS, Software-as-a-Service) – це модель, у якій користувачеві надається можливість використання прикладного програмного забезпечення з сервера провайдера. Таке програмне забезпечення доступне з браузера, або «тонкого клієнта». При цьому конфігурування програмного забезпечення здійснюється провайдером. Це найбільш масовий варіант хмарного сервісу, який не потребує спеціальних знань для повсякденного використання. Приклади послуг SaaS – Microsoft Office 365, Google Apps та Salesforce.

✓ Платформа, як послуга (PaaS, англ. Platform-as-a-Service) – це модель, у якій користувачеві надається можливість використання хмарної інфраструктури для розміщення власного програмного забезпечення. У склад платформи PaaS входять засоби створення прикладного програмного забезпечення, наприклад, середовище розробки мови програмування високого рівня. Контроль фізичної інфраструктури хмари залишається за провайдером. Прикладом можуть служити Google App Engine, Microsoft Azure.

✓ Інфраструктура, як послуга (IaaS, Infrastructure-as-a-Service) надає користувачеві засоби для створення власної інфраструктури. Користувач керує обчислювальними ресурсами, сервісами мереж тощо. IaaS заснована на технології віртуалізації, що дозволяє користувачу обладнання ділити його на частини, які відповідають поточним потребам бізнесу, тим самим збільшуючи ефективність використання наявних обчислювальних потужностей. Користувач (компанія або розробник ПЗ) повинен буде оплачувати всього лише реально необхідні йому для роботи серверний час, дисковий простір, мережеву пропускну спроможність та інші ресурси. Крім того, IaaS надає в розпорядження клієнта весь набір функцій управління в одній інтегрованій платформі. Прикладом постачальника даного виду хмарного сервісу є Amazon Web Services [2].

Більшість освітніх закладів в Україні лише починає впроваджувати хмарні технології в навчальний процес. Проте у всьому світі з кожним днем стрімко зростає впровадження сервісів хмарних технологій в навчально-виховний процес.

Провідні постачальники хмарних технологій розробляють та коригують свої послуги спеціально для потреб навчальних закладів. Деякі з найбільш широко використовуваних освітніх платформ наведено нижче.

Microsoft for Education

Корпорація Microsoft є однією з компаній, чий сервіс реформував освіту по всьому світу протягом більше двох десятиліть. Хмара Microsoft покликана забезпечити ефективну співпрацю студентів на викладачів, надаючи можливість працювати над спільними завданнями та проектами в режимі

реального часу, доступ до інформації, перегляд та редагування документів в браузері чи в системі Office. Корпорація Microsoft пропонує для навчальних закладів різні програмні рішення, проте найпопулярнішим є безкоштовний план Microsoft Office 365.

Основними компонентами Microsoft Office 365 (рис.1) є:

- Microsoft Office – створення та редагування документів різних форматів (Word, Excel, PowerPoint, Outlook);
- Exchange Online – електронна пошта, календар, контакти;
- Lync Online – миттєві повідомлення, аудіо-, відео- та веб-конференції;
- SharePoint Online – створення сайтів, робочих областей для спільної роботи та обміну даними.



Рис. 1 – Інструменти Microsoft Office 365

Використання Microsoft Office 365 у навчальному процесі має низку переваг:

- вільний доступ до своїх матеріалів і документів будь-де і будь-коли;
- можливість включення до навчальних матеріалів відео і аудіо файлів прямо з Інтернету;
- відсутність реклами та скритих посилань на сайти партнерів;
- просте налаштування груп електронної пошти;
- формування та удосконалення інформаційно-комунікаційних навичок під час освоєння роботи із сервісами Office 365 усіх учасників навчально-виховного процесу [5].

Google Apps for Education

Значний внесок у розвиток хмарних технологій для освіти по всьому світу робить компанія Google. Продукти Google допомогли підвищити ефективність спільної роботи викладачів та студентів. Одним з таких продуктів є додаток Google Apps for Education.

Google Apps for Education - широко використовувана безкоштовна платформа для аутсорсінгу веб-пошти, календаря та документів для спільного навчання.

Основними перевагами Google Apps є:

- мінімальні вимоги до апаратного забезпечення (єдина умова – наявність доступу в Інтернет);
- хмарні технології не вимагають витрат на придбання й обслуговування спеціального

програмного забезпечення (доступ до додатків можна одержати через вікно веб-браузера);

– Google Apps підтримує всі операційні системи й клієнтські програми, що використовуються студентами й навчальними закладами;

– робота з документами можлива за допомогою будь-якого мобільного пристрою, що підтримує доступ в Інтернеті;

– всі інструменти Google Apps безкоштовні (рис.2).

Документи Google дозволяють студентам і викладачам разом працювати над загальними документами й проектами, а викладачам контролювати й управляти цією роботою. Документи Google являють собою онлайн-офіс, що містить у собі повноцінні інструменти для створення текстових документів, електронних таблиць, наочних застосувань, PDF-файлів і презентацій, а також їхнього спільного використання.

Можливості основних продуктів Google Apps:

1. Gmail - електронна пошта з захистом від спаму об'ємом до 2Гб;
2. Google Calendar - онлайн календар для складання робочих графіків та навчальних планів;
3. Google Disk - хмарне сховище (безкоштовно об'ємом до 30 ГБ);
4. Google Docs (Word, Excel, PowerPoint) – для створення документів;
5. Google Sites – для створення сайтів;
6. Google Translate – автоматичний переклад web-сторінок з різних мов світу;
7. Google Модератор – створення категорій для запитань, які ви хочете обговорити в класі або в школі, і відкриття їх для тих, хто хоче внести ідеї чи пропозиції;
8. YouTube для навчальних закладів та інше.



Рис. 2 – Інструменти Google Apps

Компанія Google також ініціювала дві важливі кампанії, спрямовані на вдосконалення освіти. Chromebook for Education - один з найважливіших проектів Google в рамках освітньої ініціативи. Chromebook представляє собою компактний ноутбук на основі операційної системи Chrome OS в посиленому виконанні, призначений для учнів та потреб освіти. Інша важлива ініціатива Google - це планшети з Google Play for Education, що дають педагогам змогу поступово впроваджувати останні технологічні рішення в навчальний процес та

створювати корисні програми, доступні для своїх студентів [3].

Amazon Web Services Educate

Хмара AWS Educate - це набір освітніх послуг для користувачів, що забезпечують економічно вигідні рішення для університетів, коледжів, професійно-технічних шкіл. Користувачі AWS мають у своєму розпорядженні обчислювальні ресурси та ресурси зберігання, які сприяють створенню гнучкої IT-інфраструктури в цих установах. Кандидати, які отримують грант AWS Educate, отримують кредити для доступу до послуг AWS безкоштовно, навчальні матеріали, які допоможуть розібратися в AWS, інструменти співпраці, такі як дискусійні форуми, події та місця для завантаження та оцінювання контенту (рис.3. Також треба зазначити, що контент у cloud надано провідними освітянами та AWS [1].



Рис. 3 – Інтерфейс AWS Educate

IBM in Education

Корпорація IBM пропонує програмне забезпечення *IBM Collaboration Solutions*, що надає своїм користувачам можливість швидкого впровадження у навчально-виховний процес сучасних інноваційних рішень (електронна пошта, онлайн-спільноти, календар, веб-конференції, спільні документи) (рис. 4).



Рис. 4 – Інструменти IBM Collaboration Solutions

Серед лінійки продуктів IBM Collaboration Solutions можна виділити наступні платформи, які будуть корисними при організації навчальної роботи:

- IBM Notes and Domino - працюють спільно в якості поштового клієнта і надають клієнтське і

серверне ПЗ для обміну повідомленнями та спільної роботи в різних операційних середовищах;

- IBM Connections Cloud - це хмарна програмна платформа, яка об'єднує в собі електронну пошту, онлайн-наради, месенджери, обмін файлами, спільну роботу на документами і багато іншого;

- IBM Kenexa LMS on Cloud - повнофункціональна соціальна система управління навчанням (LMS), яка об'єднує соціальні мережі і можливості спільної роботи і обміну знаннями.

- IBM Kenexa LCMS Premier on Cloud - комплексна адаптивна система управління навчальними матеріалами (LCMS) для розробки, підтримки і доставки послуг по ефективній підготовці студентів [11].

Обговорення результатів

Чому слід впроваджувати використання хмарних технологій в навчальних процесах в освітніх закладах України?

Хмарні технології можуть допомогти студентам легко отримати доступ до навчальних матеріалів та інших необхідних ресурсів онлайн. Все, що їм потрібно зробити, це зайти в мережу Інтернет і знайти те, що їм потрібно вивчити.

Сектор освіти також може скористатися перевагами хмарних технологій, використовуючи його для зберігання навчальних матеріалів. Викладачі можуть легко оновлювати програму і публікувати результати в Інтернеті. Цілий рік студенти і викладачі можуть спілкуватися онлайн.

ВНЗ можуть заощадити гроші та витратити їх на IT-активи та інфраструктури, заохочуючи студентів і викладачів слідувати принципу «принеси свій власний пристрій», оскільки кожен пристрій може бути підключено до мережі через хмарні технології. Таким чином, кожен може отримати доступ до мережі навчального закладу та одержати необхідний матеріал дуже швидко.

Хмарні освітні технології є потужним засобом підвищення ефективності навчання шляхом вирішення ряду завдань:

- збільшення навчального часу без змін у навчальному плані;

- гнучкості управління навчальним процесом;

- якісної зміни контролю над діяльністю учнів;

- залучення батьків до навчально-виховного процесу;

- підвищення мотивації учнів до навчання;

- підвищення інформаційно-комунікаційної компетентності всіх учасників освітнього процесу [12].

Використання хмарних технологій має ряд переваг: не потрібні потужні комп'ютери; відсутність значних вкладень на закупівлю ліцензій та дорогого обладнання; відсутність піратства; доволі значний обсяг збереження даних; на етапі впровадження мінімальні витрати; швидкість впровадження;

можливість оперативно і довільно змінювати функціонал; можливість працювати в будь-якому місці та в будь-який час; відсутність витрат, пов'язаних з установкою, оновленням і підтримкою працездатності обладнання та програмного забезпечення; забезпечення захисту даних від втрат та виконання багатьох видів навчальної діяльності, контролю і оцінювання, тестування он-лайн, відкритості освітнього середовища; економія коштів на утримання ІТ-фахівців тощо.

Не дивлячись на очевидні переваги, концепція хмарних технологій піддається критиці. Слабким місцем вважають безпеку інформації, адже не кожному користувачеві зберігання особистих даних на віддаленому сервері видається надійним; необхідність надійного та постійного високошвидкісного з'єднання з Інтернетом [10].

Проте, на наш погляд, хмарні технології мають значні перспективи. Доказом того, що це новий шлях розвитку високих технологій, є хоча б той факт, що гіганти в ІТ-сфері - Microsoft, Apple та Google майже одночасно почали впроваджувати хмарні технології у свої розробки і не збираються відмовлятися від них у найближчому майбутньому.

Висновки

Таким чином, хмарні технології пропонують навчальним закладам нові можливості для організації навчального процесу. Провідні компанії світу Microsoft, Google, Amazon та ін. пропонують широкий набір інструментів для організації навчання як для викладачів, так і для студентів. Віртуальні навчальні середовища досить прості у використанні й не потребують від користувачів глибоких мультимедійних чи комунікаційних засобів або знання мов програмування (HTML, Java).

Можливості хмарних технологій, що використовуються в організації навчання, можуть зробити значний вплив на формування навчальних завдань, систем оцінювання і підсумковий навчальний досвід, що формується у студентів.

Крім того, застосування хмарних технологій в освітніх закладах України дасть змогу не тільки підвищити ефективність навчального процесу і зручність роботи викладачів та студентів, а й знизити економічні витрати.

Отже, перед навчальними закладами у зв'язку зі стрімким поширенням хмарних технологій постає завдання інтеграції хмарних сервісів в систему освітнього закладу, перегляду своєї ІТ-інфраструктури та впровадження інноваційних технологій в навчальний процес.

Список літератури

1. AWS Educate [Електронний ресурс]. URL: https://aws.amazon.com/ru/?nc2=h_lg.

- Cloud Computing in Education [Електронний ресурс]. URL: https://www.crucial.com.au/pdf/Cloud_Computing_in_Education.pdf.
- Google Apps для учебных заведений [Електронний ресурс]. URL: www.google.com/enterprise/apps/education/products.html.
- Miller, M. Cloud Computing: Web-Based Applications That Change the Way You Work and Collaborate Online / M. Miller. Que Publishing, 2008. – 312 p.
- Office 365 [Електронний ресурс] / Корпорація Майкрософт. URL: <http://office.microsoft.com/ukua/academic/FX103045755.aspx>.
- Биков, В. Ю. Хмарні технології, ІКТ-аутсорсинг і нові функції ІКТ підрозділів освітніх і наукових установ / В. Ю. Биков // *Інформаційні технології в освіті*. – № 10. – 2011. – С. 8–23.
- Литвинова, С. Г. Хмарні технології як засіб розбудови інноваційної школи [Електронний ресурс] / С. Г. Литвинова. URL: http://www.zoippo.zp.ua/pages/el_gurnal/pages/vip14.html.
- Морзе, Н. В. Педагогічні аспекти використання хмарних обчислень / Н. В. Морзе, О. Г. Кузьмінська // *Інформаційні технології в освіті*. – 2011. – №9. – С. 20–29.
- Нял Склатер. Электронное образование в облаке [Электронный ресурс]. 10-й международный журнал по проблемам систем управления виртуальным и индивидуальным обучением, 2010, 1(1), С.10-19. URL: http://www.distancelearning.ru/db/el/382DF785722E67DB_C325787E005C58EA/doc.html.
- Переваги та недоліки хмарних сервісів [Електронний ресурс]. URL: <https://gurt.org.ua/articles/38359>.
- Программное обеспечение IBM Collaboration Solutions. [Електронний ресурс]. URL: <https://www-01.ibm.com/software/ru/lotus/>.
- Сабліна, М. А. *Можливості використання хмарних технологій в освітній та соціальній сферах* [Електронний ресурс]. URL: <http://www.bsfa.edu.ua/files/konf2013/62.pdf>.
- Сейдаметова, З. С. Хмарні сервіси в освіті / З. С. Сейдаметова, С. Н. Сейтвелієва // *Інформаційні технології в освіті*. – 2011. – №9. – С. 105–111.
- Шишкіна, М. П. Хмаро-орієнтоване освітнє середовище навчального закладу: сучасний стан та перспективи розвитку досліджень / М. П. Шишкіна, М. В. Попель // *Інформаційні технології і засоби навчання*. – 2013. – №5. – С. 66–80.
- Шишкіна, М. П. Проблеми інформатизації освіти України в контексті розвитку досліджень оцінювання якості засобів ІКТ / М. П. Шишкіна, О. М. Спірін, Ю. Г. Запорожченко // *Інформаційні технології і засоби навчання*. – 2012. – №1(27).

Bibliography (transliterated)

- AWS Educate. Available at: https://aws.amazon.com/?nc2=h_lg.
- Cloud Computing in Education. Available at: https://www.crucial.com.au/pdf/Cloud_Computing_in_Education.pdf.
- Google Apps dlya uchebnykh zavedeniy [Google Apps for Education]. Available at: www.google.com/enterprise/apps/education/products.html.
- Miller, M. Cloud Computing: Web-Based Applications That Change the Way You Work and Collaborate Online. Que Publishing, 2008, 312 p.

5. Office 365 / Microsoft Corporation. Available at: <http://office.microsoft.com/ukua/academic/FX103045755.aspx>.
6. **Bykov, V. Yu.** Hmarni tehnologii, IKT-autosorsing i novi funkcii IKT pidrozdiliv osvithnih i naukovih ustanov [Cloudy technologies, ICT outsourcing and new functions of ICT units of educational and research institutions]. *Information technologies in education*, 2011, **10**, 8–23.
7. **Lytvynova S. G.** Hmarni tehnologii yak zasib rozbudovi innovatsiynoi shkoli [Cloud technologies as a means of building an innovation school]. Available at: http://www.zoippo.zp.ua/pages/el_gurnal/pages/vip14.html.
8. **Morze, N. V., Kuzminska, O. G.** Pedagogichni aspekti vikoristanya hmarnih obchislen [Pedagogical aspects of using cloud computing]. *Information technologies in education*, 2011, **9**, 20-29.
9. **Niall Sclater.** Elektronnoe obrazovanie v oblake [Electronic education in the cloud]. *10th International Journal on Virtual and Individual Learning Management Systems*, 2010, **1**(1), 10-19. Available at: <http://www.distancelearning.ru/db/el/382DF785722E67DB C325787E005C58EA/doc.html>
10. Perevagi ta nedoliki hmarnih servisiv [Advantages and disadvantages of cloud services]. Available at: <https://gurt.org.ua/articles/38359/>.
11. Programnoe obespechenie IBM Collaboration Solutions [IBM Collaboration Solutions Software]. Available at: <https://www-01.ibm.com/software/ru/lotus/>
12. **Sablina, M. A.** *Moglivosti vikoristannya hmarnih tehnologiy v osvathniy ta socialniy sferah* [Possibilities of using cloud technologies in the educational and social spheres]. Available at: <http://www.bsfa.edu.ua/files/konf2013/62.pdf>.
13. **Sejdametova, Z. S., Syejtveliyeva, S. N.** Hmarni servisi v osviti [Cloud services in education]. *Information technologies in education*, 2011, **9**, 105-111.
14. **Shyshkina, M. P., Popel, M. V.** Hmarno-orientovane osvithnye seredovishe navchalnogo zacladu: suchasniy stan ta perspektivi rozvitku doslidgen [The cloud-oriented educational environment of an educational institution: the current state and prospects of research development]. *Information technology and learning tools*, 2013, **5**, 66-80.
15. **Shyshkina, M. P., Spirin, O. M., Zaporozhchenko, Yu. G.** Problemi informatizacii osviti Ukraini v konteksti rozvitku doslidgen ochinuyvannya yakosti zasobiv IKT [Problems of Informatization of Education of Ukraine in the Context of the Development of Studies in the Evaluation of the Quality of ICT Tools]. *Information technology and learning tools*, 2012, №1(27).

Відомості про авторів (About authors)

Переверзєв Антон Миколайович – аспірант кафедри інформаційних систем та математичних дисциплін, ПВНЗ «Європейський університет»; м. Київ, Україна; e-mail: antoneuinua@gmail.com.

Anton Pereverziev – Aspirant, Department of Informatics Systems and Mathematics Disciplines, European University, Kyiv, Ukraine; e-mail: antoneuinua@gmail.com.

Склярєнко Олена Вікторівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем та математичних дисциплін, ПВНЗ «Європейський університет»; м. Київ, Україна; e-mail: sigma.inet@gmail.com.

Elena Skliarenko – Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Informatics Systems and Mathematics Disciplines, European University, Kyiv, Ukraine; e-mail: sigma.inet@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Переверзєв, А. М. Особливості застосування хмарних технологій в навчальному процесі / **А. М. Переверзєв, О. В. Склярєнко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 128-133. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.18.

Please cite this article as:

Pereverziev, A., Skliarenko, E. Features of application of cloud technologies in educational process. *Bulletin of NTU KhPI*" Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 128–133, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.18.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Переверзєв, А. М. Особенности применение облачных технологий в учебном процессе / **А. М. Переверзєв, Е. В. Склярєнко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 128-133. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.18.

АННОТАЦІЯ *Рассмотрены возможности, преимущества и недостатки применения облачных технологий в учебном процессе вуза. Проведен обзор основных поставщиков современных образовательных платформ на основе использования облачных технологий. Представлены современные программные решения и их возможности, которые могут быть использованы в организации учебных процессов.*

Ключевые слова: *Cloud technology; облачные технологии; облачные вычисления; образовательные платформы; учебный процесс; Microsoft for Education; Google Apps for Education.*

Надійшла (received) 08.03.2018

УДК 004.681.518

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.19

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГОМЕОСТАЗА ЧЕЛОВЕКА**Г. Н. РОЗОРИНОВ¹, Н. И. ЧИЧИКАЛО¹, Е. Ю. ЛАРИНА², М. С. ТРУШ³**

¹ кафедра звукотехники и регистрации информации, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, УКРАИНА

² кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, УКРАИНА

³ Государственный университет телекоммуникаций, Киев, УКРАИНА

*e-mail: trush.viti@gmail.com

АННОТАЦИЯ Показано, что нормальному состоянию человека соответствует распределение температуры по его телу, при котором температура в контрольных точках не выходит за пределы установленных норм. Любые отклонения от этих норм свидетельствуют о необходимости принятия решений по устранению причин этих отклонений. Отображение температурного поля человека позволяет установить предварительный диагноз состояния организма. Используя знания эксперта при определении заболеваний по их первым признакам, не сложно обеспечить лечение в домашних условиях или оказать первую доврачебную помощь, путем восстановления нормального распределения температуры по поверхности тела человека. О нормальном состоянии процесса жизнедеятельности человека можно судить по отсутствию асимметрии в отображении его температурного поля.

Ключевые слова: гомеостаз; визуализация; самодиагностика; доврачебная помощь; компьютерное моделирование.

VISUALIZATION PROCESS SIMULATION OF MAN HOMOEOSTASIS.**H. N. ROZORINOV, N. I. CHICHIKALO, E. YU. LARINA, M. S. TRUSH**

¹Department of sound engineering and information recording National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kiev, UKRAINE

²National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kiev, UKRAINE

³State University of Telecommunications, Kiev, UKRAINE

ABSTRACT Information-measuring system for detection of temperature field (homeostasis) of human being, used for prophylaxis control of temperature distribution process on the surface of body and self-diagnostics, and also evaluation of effect of outside factors, for example, organism reaction on food products, medical drugs, medical procedures etc. is proposed.

According to achieved results of system representation of information, the variants of information technologies for protection of vital processes of human being were developed. The usage of modern means of electronic and microprocessor technology, and special software enabled the development of high technology, easy to use and low cost device either for usage in common conditions, or for monitoring in medical centers. Self-diagnostics procedure held with the help of common devices protects the patient from wrong diagnosis. At the same time, this leads to escalation of responsibility of medical centers.

It is rotined that distributing of temperature corresponds the normal state of man on his body at which a temperature in control points keeps indoors outside the set norms. Any deviations from these norms testify to the necessity of making a decision on the removal of reasons of these rejections. The temperature field of man mapping allows to set the preliminary diagnosis of the state of organism. Using knowledges of expert for determination of diseases on their first signs, it is simple to provide treatment in home terms or render the first before-doctor examination, by renewal of normal distribution of temperature on the man body surface. About the normal process of vital functions of man state it is possible to judge on absence asymmetry in his temperature field mapping.

Keywords: homoeostasis; visualization; self-diagnostic; before-doctor examination; computer simulation.

Введение и постановка задачи

Отсутствие асимметрии опорно-двигательного аппарата и отсутствие асимметрии температурного поля человека в барицентрической связанной биологической системе координат являются основными показателями нормального состояния человеческого организма.

Поэтому актуальной является задача создания бытовых приборов для проведения профилактического контроля этих показателей. В данной работе приведены результаты анализа температурного гомеостаза человека.

Следует иметь в виду, что помимо привычного измерения температуры в градусах Цельсия (°C) зачастую используется измерение температуры, выраженное в градусах Реомюра (°R). Например,

значению температуры тела 37,5° С соответствует значение 30°R.

Естественно, существует формула для перехода от одной шкалы к другой, например, $16^{\circ}\text{C} = \frac{16 \cdot 5}{4} = 20^{\circ}\text{C}$ [1 – 3].

Переход от одной шкалы к другой не всегда однозначно соответствует рекомендациям в литературных источниках, что свидетельствует о необходимости индивидуального подхода (табл. 1) [1-3].

Таблица 1 - Температурные шкалы и рекомендации из литературных источников

$16^{\circ}\text{C} = \frac{16 \cdot 5}{4} = 20^{\circ}\text{C}$	Теплые обмывания
$22^{\circ}\text{C} = \frac{22 \cdot 5}{4} = 27,5^{\circ}\text{C}$	Теплые обмывания
$24^{\circ}\text{C} = \frac{24 \cdot 5}{4} = 30^{\circ}\text{C}$	Отвлекающие обтирания
$26^{\circ}\text{C} = \frac{26 \cdot 5}{4} = 32^{\circ}\text{C}$	Теплые сидячие ванны

Моделирование процесса визуализации гомеостаза человека

Рассмотрим один из возможных вариантов программного алгоритма, выполняющего функции контроля и визуального отображения изменяющихся во времени параметров температурного баланса живого организма (человека) [4].

Программный алгоритм позволяет обеспечить визуальное восприятие динамики изменения температуры живого организма. В процессе работы происходит отображение изменения температуры организма и ее сравнение с нормальными показаниями.

В ходе измерений температуры, данные от измерительного модуля температурного поля (ИМТ) человека по линии связи, через согласующее устройство, поступают на вход персонального компьютера. Программное обеспечение позволяет считывать эти данные и накапливать их.

Данная программа также выполняет сравнение и отображение данных из условия, что организм находится в нормальной среде (температура воздуха равна 24°С при относительной влажности 80%), не подвержен воздействию внешних факторов.

Измерения выполняются с помощью датчиков температуры, устанавливаемых в соответствии с медицинскими рекомендациями, в следующих местах на теле человека (табл. 2).

Нормальными показателями в данных условиях являются значения температуры: 1 – 36,2°, 2, 3 – 36,5°, 4, 5 – 32,6°, 6, 7 – 31,8°.

Для моделирования процесса измерений разработан алгоритм, реализующий метод анализа

измеренного и номинального значений температуры, разработана и отлажена программа с использованием системы программирования DELPHI и языка Object Pascal.

Таблица 2 - Контроль температурного гомеостаза человека

Номер датчика контролируемого участка тела человека	Места установки датчиков температуры	Способ измерения и передачи данных
1	Лоб	Датчики температуры, микропроцессорный блок, регистрация в базе данных, анализ с помощью базы знаний, беспроводный интерфейс, визуализация
2, 3	Левая и правая подмышечная впадина	
4, 5	Под коленом левой и правой ноги	
6, 7	Левая, правая ступня	

Поскольку программа написана на современном языке программирования, это соответственно потребовало минимизации конфигурации персонального компьютера и установленной на нем программной оболочки [4].

Так как программа занимает относительно мало места и не требовательна к системным ресурсам, то для её нормального функционирования достаточно даже оболочки Windows 3.1. Единственный параметр, который необходимо учитывать пользователю, это опция, работающая с внутренними таймерами программного обеспечения. При использовании персональных компьютеров с 300 МГц процессором и объемом оперативной памяти менее 32 Кбайт, необходимо учитывать несоответствие значения, вводимого в опцию "период опроса" с действительной частотой обработки. Для процессоров с частотой ниже указанной, будет наблюдаться некоторое замедление их работы. Это связано с тем, что цикл обработки данных и визуального отображения, относительно длительный и требует значительных арифметических и логических вычислений. Программа состоит из одного файла, который имеет расширение .exe. При запуске файла открывается диалоговое окно, разрешением 800x600 пикселей. Размеры окна фиксированы и изменению не подлежат, поэтому для нормальной работы системы требуются монитор и видеокарта, способные поддерживать необходимое разрешение. Окно размещается в центре экрана поверх остальных окон.

Визуально, распределение температуры передается с помощью цветовой палитры разрядность, которой составляет 16 бит, что в определённой степени накладывает ограничения на персональный компьютер. Разработанное программное обеспечение позволяет создавать и просматривать соответствующие файлы. При запуске программы активизируется окно, вид которого показан на рис.1.

Диалоговое окно разделено на две части, из которых левая часть отображает распределение температуры, а правая часть определяет режим визуализации.

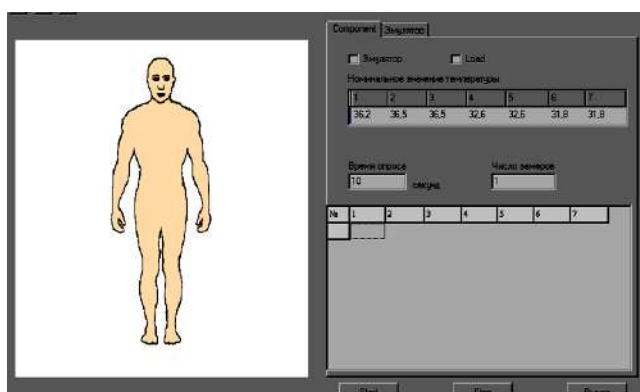


Рис. 1 – Диалоговое окно программы

Область, отображающая распределение температуры, имеет белый фон, в центре которого располагается силуэт тела человека. При запуске одного из режимов работы на эту область накладывается координатная сетка, которая способствует более наглядному восприятию отображаемой информации. При запуске правая часть окна не активна. Так как программа моделирует процесс измерения температурного поля, то основным режимом является непосредственно сам процесс эмуляции. Возможен также режим воспроизведения ранее созданного файла или новых данных в реальном времени.

За эти два режима отвечают объекты "Эмулятор" и "Load" (рис. 2). В исходном состоянии отключены оба режима. Выбрать (отметить галочкой) можно только один режим.

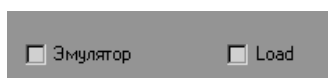


Рис. 2 – Задание режима работы

Рассмотрим режим эмуляции.

При активации этого режима, становятся доступными объект, отвечающий за число опросов датчиков и элементы на вкладке "Эмулятор" (рис.3).

Вкладка "Эмулятор" позволяет непосредственно изменять параметры температуры в разных точках. Изменения возможны как в сторону

увеличения, так и в сторону уменьшения температуры. Изначально движки установлены на номинальных значениях. Изменение параметров осуществляется одновременно для групп точек 2–3, 4–5, 6–7, а для точки 1 отдельно. Максимально возможное отклонение от нормы составляет $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Цена деления движков соответствует 1°C .

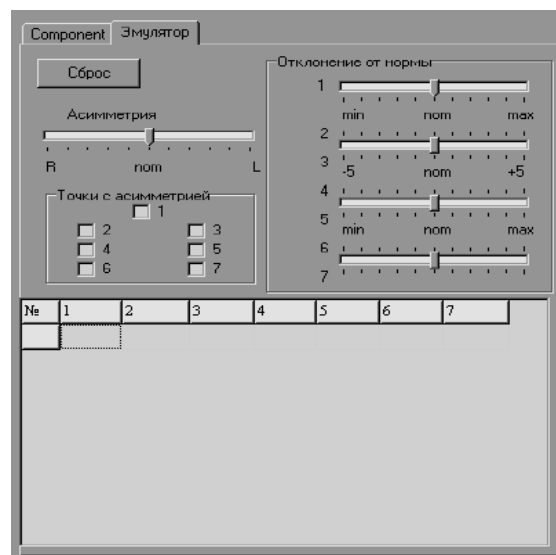


Рис. 3 – Выбор отклонений на вкладке "Эмулятор"

Практически возможна асимметрия между парами точек. Моделирование таких отклонений осуществляется с помощью движка "Асимметрия". Отклонения от нормы лежат также в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Поставив отметку (галочку) на объекте с нужным номером, можно наблюдать отклонения в данной точке. Количество точек с отклонениями может быть различным. При этом необходимо учитывать реально возможные отклонения от нормы для исключения неточностей, значительных с точки зрения медицины. На вкладке расположена кнопка, позволяющая установить все движки в номинальное положение. Установка движков в номинальное положение происходит также при смене режимов работы программы [5].

Изменение параметра в режиме "Время опроса" позволяет контролировать интервалы между опросами датчиков. На этой же вкладке отображается таблица номинальных значений температуры для семи точек – оптимальные параметры температуры тела человека.

После установки отклонений, числа опросов и интервала между опросами можно запускать программу нажатием кнопки "Start". При необходимости процесс можно остановить кнопкой "Stop".

Очистка таблицы результатов осуществляется кнопкой расположенной в левом верхнем углу окна или через меню путем выбора пункта "Создать".

Программа позволяет сохранять результаты в виде текстовых файлов. При сохранении файлы получают специальное расширение .tem. Такое расширение используется только данной программой, что позволяет легко контролировать файлы и исключить возможность ошибки при открытии и сохранении файлов. По своей структуре файл представляет собой обычный текстовый файл, что позволяет просматривать его с помощью текстовых редакторов. Открытие и сохранение файлов можно выполнить как из меню, так и воспользовавшись иконками в левом верхнем углу окна [4].

Блок-схема алгоритма работы режима эмуляции показана на рис. 4.



Рис. 4 – Блок-схема алгоритма работы режима эмуляции

Рассмотрим теперь режим "Load".

Этот режим позволяет просматривать динамику изменения температуры, как созданного массива значений, так и открытого файла. Для этого необходимо активировать опцию "Load". При этом все изменения на вкладке "Эмулятор" будут утеряны, а сами объекты станут недоступными. Нажатием кнопки "Start" осуществляется запуск процесса.

Остановка процесса осуществляется нажатием кнопки "Stop".

Алгоритм работы данного режима показан на рис. 5.

Кроме программного создания массива данных и загрузки его из файла существует возможность ручного ввода значений. Переход на следующую ячейку таблицы осуществляется нажатием клавиши "Tab". После достижения конца строки таблицы и очередного нажатия клавиши "Tab" программой формируется новая пустая строка. Добавить строку можно и через меню, но при условии, что последняя строка в таблице уже заполнена. Таким образом, число строк в таблице неограничено. После внесения данных, также можно воспользоваться режимом "Load". Перед запуском необходимо установить параметр "Частота опроса".



Рис. 5 – Блок-схема алгоритма работы режима "Load"

Программа обладает также ещё одним полезным свойством. В случае, когда необходимо просмотреть значения в какой-то момент времени, существует функция, которая моделирует такой

процесс. Для этого необходимо в массиве значений выделить ту строку, параметры которой требуется проанализировать. Для выделения указатель мыши наводится на ячейку с номером нужной строки, и нажимается левая кнопка мыши. Эта функция доступна в любом режиме работы [6-7].

В процессе работы на экране отображаются значения температуры, как измеряемые, так и нормальные, которые постоянны и окрашены в зеленый цвет. Зеленый цвет, плавно переходящий в красный, свидетельствует о повышении температуры в данной части тела человека. Переход зеленого цвета в синий свидетельствует о переохлаждении.

Пример работы программы показан на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что температура головы поднялась и составляет 37,3° C, а температура ног снизилась до 31,6°С, что свидетельствует о переутомлении. Легко устранить данную асимметрию температурного поля холодным компрессом по методу Кнейпа, но выбор "холодной" температуры следует определять с учетом индивидуального состояния.

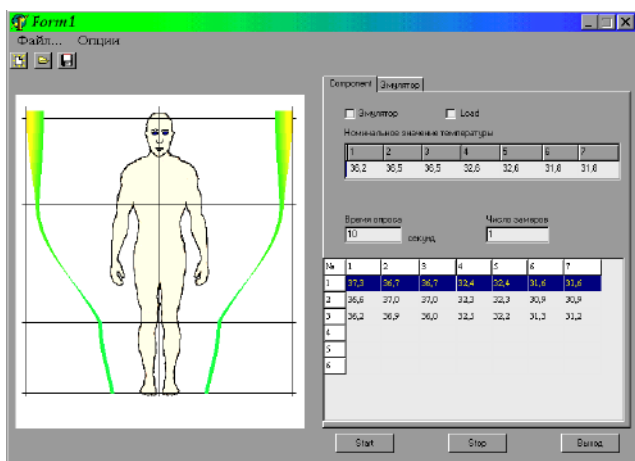


Рис. 6 – Диаграмма распределения температуры при переутомлении

Из рис. 7 очевидно наличие незначительной асимметрии температурного поля: температура головы и тела находятся приблизительно в норме, а температура ступней снизилась до 30,5 градусов, что свидетельствует об охлаждении ног. Это требует принятия соответствующих несложных, но необходимых мер.

При этом резиновая или электрическая грелки не рекомендуются.

В процессе измерений может наблюдаться асимметрия распределения температуры, как показано на рис. 8.

Из рис. 8 очевидно наличие асимметрии процесса распределения – понижение температуры левой стороны, возможный диагноз: – недостаточное кровоснабжение сосудов [8].

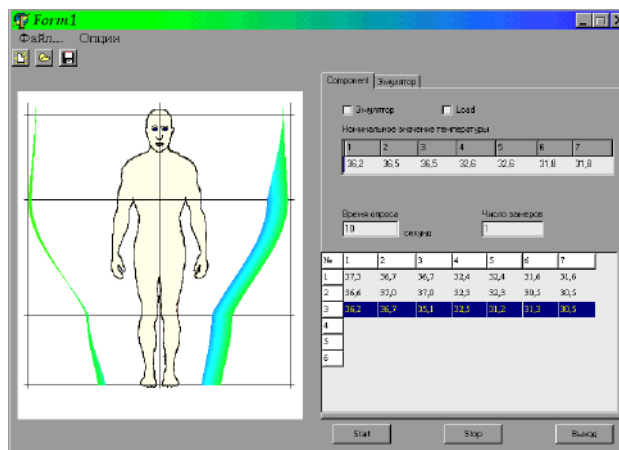


Рис. 7 – Диаграмма распределения температуры при охлаждении ног

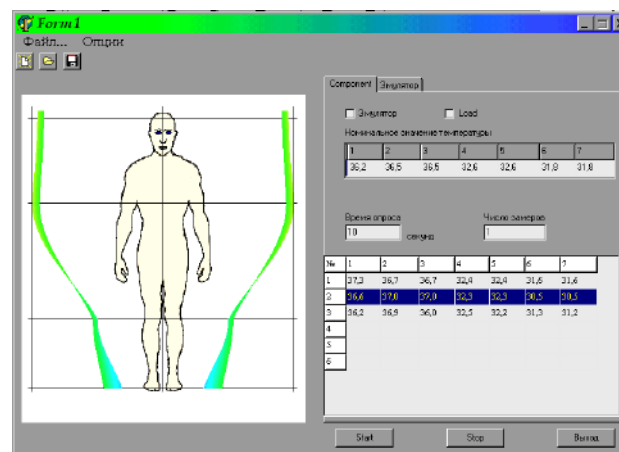


Рис. 8 – Диаграмма распределения температуры при значительной асимметрии

Таким образом, обнаружив отклонение распределения температуры на отдельных участках тела человека, можно судить о его состоянии и наблюдать эти изменения при получении лечебных препаратов или при проведении неспецифических методов лечения.

Выводы

1. Отображение температурного поля человека позволяет установить предварительный диагноз состояния организма при наличии асимметрии.

2. Используя помощь эксперта (или базы знаний) при определении болезней по их первым признакам, несложно обеспечить лечение болезней в домашних условиях или оказать первую доврачебную помощь, путем восстановления

распределения температуры по всей поверхности организма.

3. О нормальном состоянии процесса жизнедеятельности можно судить по отсутствию асимметрии в отображении температурного поля и по невыходу параметров в контрольных точках за известные пределы норм.

Список литературы

1. **Ахмедов, Р.** Терморегуляция человека и животных в условиях повышенной температуры: научное издание / **Р. Ахмедов.** – Ташкент: Институт физиологии АН УзССР, 1997. – 120 с.
2. **Рыжиков, Г. В.** Системный анализ механизмов терморегуляции организма / **Г. В. Рыжиков, Г. К. Раков** // *Физиология человека.* – 1991, Т.7. – №2. – С. 251–258.
3. **Суворов, Г. А.** Прогнозирование теплового состояния человека при воздействии комплекса факторов / **Г. А. Суворов, Р. Ф. Афанасьева, А. Г. Антонов** // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2007. – №2. – С. 1–8.
4. **Чусов, Ю. Н.** Исследование механизмов терморегуляции / **Ю. Н. Чусов** // *Физиология человека.* – 1999, Т.5. – №5. – С.827–833.
5. **Федоров, Е.Е.** Разработка метода биометрической идентификации человека / **Е. Е. Федоров** // *Наукові праці ДонНТУ.* – 2013. – № 2. – С. 270–278.
6. **Sessler, D. I.** Temperature monitoring. Anesthesia / **D. I. Sessler.**: Ed. by R.D. Miller. – 4th ed. – New York: Churchill Livingstone, 2009. – P. 1363 – 1382.
7. **Cork, R. C.** Precision and accuracy of intraoperative temperature monitoring / **R. C. Cork, R. W. Vaughan, L. S. Humphrey** // *Anesth. Analg.* – 2014. – 62. – P. 211 – 214.
8. **Ларина, Е. Ю.** Методология построения системы, реализующей поддержку принятия решений для восстановления процесса жизнедеятельности / **Е. Ю. Ларина, В. Ю. Ларин, Г. Н. Розоринов, Н. И. Чичикало** // *Зв'язок.* – 2016. – №4. – С. 20 – 25.
9. **Ларин, В. Ю.** Концепции профессионального проектирования приборов и систем: учебник: в 2-х книгах. Книга 1. / **В. Ю. Ларин, Е. Ю. Ларина, Я. А. Савицкая, Г. Н. Розоринов, Е. Е. Федоров, Н. И. Чичикало.** – К.: Кафедра, 2016. – 468 с.

10. **Барабаш, О.** Модели анализа и прогнозирования показателей характеристик распределенных вычислительных систем / **В. Мухин, Г. Луцкий, О. Барабаш, Я. Корнага, В. Стешин** // *Международный обзор компьютеров и программного обеспечения (IRECOS).* – 2015. – Vol. 10. – № 12. – С. 1216 – 1224.

Bibliography (transliterated)

1. **Akhmedov, R.** Thermoregulation of humans and animals in high-temperature conditions: scientific edition, Tashkent: Institute of Physiology of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR, 1997, 120 p.
2. **Ryzhikov, G. V., Rakov, G. K.** System analysis of the mechanisms of body thermoregulation. *Physiology of man*, 1991, 7, №2, 251-258.
3. **Suvorov, G. A., Afanasyeva, R. F., Antonov, A. G.** Prediction of the human thermal state under the action of a complex of factors. *Labor Medicine and Industrial Ecology*, 2007, 2, 1-8.
4. **Chusov, Yu. N.** Investigation of the mechanisms of thermoregulation. *Physiology of man*, 1999, 5, 5, 827-833.
5. **Fedorov, E. E.** Development of the method of biometric identification of a person. *Naukovi praci DonNTU*, 2013, 2, 270-278.
6. **Sessler, D. I.** Temperature monitoring. Anesthesia. Ed. by R.D. Miller, 4th ed, New York: Churchill Livingstone, 2009, P. 1363 - 1382.
7. **Cork, R. C., Vaughan, R. W., Humphrey, L. S.** Precision and accuracy of intraoperative temperature monitoring. *Anesth. Analg*, 2014, 62, 211 - 214.
8. **Larina, E. Yu., Larin, V. Yu., Rozorinov, G. N., Chichikalo, N. I.** Methodology for constructing a system that implements decision support for restoring the process of life activity. *Zv'azok*, 2016, 4, 20 - 25.
9. **Larin, V. Yu., Larina, E. Yu., Savitskaya, Ya. A., Rozorinov, G. N., Fedorov, E. E., Chichikalo, N. I.** Concepts of professional design of devices and systems: a textbook: in 2 books. Book 1. K.: Department, 2016, 468 p.
10. **Barabash, O., Mukhin, V., Lutsky, G., Kornaga, J., Steshin, V.** Models of analysis and forecasting of indicators of characteristics of distributed computing systems. // *International Review of Computers and Software (IRECOS)*, 2015, 10, 12, P. 1216 -1224.

Сведения об авторах (About authors)

Розоринов Георгий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», профессор кафедры звукотехники и регистрации информации; г. Киев, Украина; e-mail: grozoryn@gmail.com.

Rozorinov H. N.– Professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Professor of the Department of sound engineering and information recording; Kiev, Ukraine; e-mail: grozoryn@gmail.com.

Чичикало Нина Ивановна, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», профессор кафедры звукотехники и регистрации информации; г. Киев, Украина; trush.viti@gmail.com.

Chichikalo N. I.– Professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Professor of the Department of sound engineering and information recording; Kiev, Ukraine; trush.viti@gmail.com.

Ларина Екатерина Юрьевна, к. т. н., ст. преп. кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"; г. Киев, Украина; trush.viti@gmail.com.

Larina E. Yu. - assistant professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"; Kiev, Ukraine; trush.viti@gmail.com.

Труш Марія Сергеевна – старший преподаватель, Государственный университет телекоммуникаций, Киев, trush.viti@gmail.com.

Trush M. S. - senior lecturer, State University of Telecommunications, Kiev, trush.viti@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Розоринов, Г. Н. Моделирование процесса визуализации гомеостаза человека / **Г. Н. Розоринов, Н. И. Чичикало, Е. Ю. Ларина, М. С. Труш** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 134-140. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.19.

Please cite this article as:

Rozorinov, H. N., Chichikalo, N. I., Larina, E. Yu., Trush, M. S. Visualization process simulation of man homeostasis. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 134-140, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.19.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Розорінов, Г. М. Моделювання процесу візуалізації гомеостазу людини / **Г. М. Розорінов, Н. І. Чичикало, Е. Ю. Ларіна, М. С. Труш** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 134-140. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.19.

АНОТАЦІЯ Показано, що нормальному стану людини відповідає розподіл температури по його тілу, при якому температура в контрольних точках не виходить за межі встановлених норм. Будь-які відхилення від цих норм свідчать про необхідність ухвалення рішень по усуненню причин цих відхилень. Відображення температурного поля людини дозволяє встановити попередній діагноз стану організму. Використовуючи знання експерта при визначенні захворювань по їх перших ознаках, нескладно забезпечити лікування в домашніх умовах або надати першу долікарську допомогу, шляхом відновлення нормального розподілу температури по поверхні тіла людини. Про нормальний стан процесу життєдіяльності людини можна судити по відсутності асиметрії у відображенні його температурного поля.

Ключові слова: гомеостаз; візуалізація; самодіагностика; долікарська допомога; комп'ютерне моделювання.

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 004.052.001.57

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОРФОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТІВ ХІМІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

О. С. САВЕЛЬЄВА¹, О. В. ТОРОПЕНКО¹, А. В. ТОРОПЕНКО^{1*}

¹ кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: alla.androsyk@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянута можливість застосування інформаційної структурної технології визначення показника структурної відмовостійкості для підвищення ефективності планування технічного обслуговування і ремонтів технічних об'єктів. Технологія базується на побудові морфологічної моделі об'єкта та дозволяє отримувати значення величини ймовірності безвідмовної роботи системи при структурній подоби її моделі нейронподібній мережі. Запропоновано механічним аналогом повторного навчання мережі вважати ремонт технічних об'єктів.

Ключові слова: відмовостійкість; надійність технічних систем; організація ремонтів; моделювання

APPLICATION OF THE INFORMATION MORPHOLOGICAL MODEL FOR PLANNING OF REHABILITATION OF CHEMICAL EQUIPMENT

O. SAVELEVA¹, O. TOROPENKO¹, A. TOROPENKO¹

¹ Department of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT For systems with loaded backup, the design process involves a large number of discrete selection operations among various types of components based on their reliability or weight in the overall fault tolerance of the system. To calculate and design objects of chemical engineering, the calculation of reliability requires a sufficient amount of initial data. These data can be obtained from directories, based on the results of long and costly tests. Very often these data are extremely difficult to obtain or they simply are not available. However, the lack of such information or the inability to obtain it can not serve as a reason for refusal to carry out an assessment of the reliability of the object at any stage of its life cycle. One of the possible ways of obtaining information for determining the optimal method of the corresponding structural scheme is the use in the design and development of the design of chemical equipment information structural technology, which allows you to make a certain assessment of the probability of trouble-free operation of complex systems with loaded backup and predict the state of the system in the process of its degradation on the basis construction of information morphological model of complex object. The aim of the work is to increase the effectiveness of the design and operation of technical objects through the effective organization of repair works using the information morphological model. The technology is based on the construction of the morphological model of the object and allows obtaining the value of the probability value of the fail-safe operation of the system under the structural similarity of its model of the neural network. The mechanical analogue of re-training of the network is considered as the repair of technical objects.

Keywords: fault tolerance; reliability of technical systems; organization of repairs; modeling

Вступ

Об'єкти хімічного машинобудування, як правило, можна віднести до складних технічних об'єктів, розрахунок надійності яких на всіх етапах їх життєвого циклу є процедурою встановлення значень відповідних показників з використанням методів, що базуються на їх визначенні за довідниковими даними про надійність елементів об'єкта, даними про надійність об'єктів-аналогів, даними про властивості матеріалів та іншої інформації, яку може отримати спеціаліст на момент розрахунку [1, 2].

Недостатня надійність об'єкта призводить до величезних витрат на його ремонт, простою машин, припинення постачання населення електроенергією, водою, газом, транспортними засобами, невиконання відповідальних завдань, іноді до аварій, пов'язаних з великими економічними втратами, руйнуванням великих об'єктів і людськими жертвами [3, 4]. Чим

менше надійність машин, тим більші партії їх доводиться виготовляти, що призводить до перевитрат металу, зростання виробничих потужностей, завищення витрат на ремонт і експлуатацію.

Розрахунок надійності технічного об'єкта має передувати аналіз умов його експлуатації і конструкції. Під час аналізу складного технічного об'єкта встановлюються елементи (складальні одиниці, деталі), відмова яких призводить до відмови об'єкта, і взаємозв'язок між елементами, які відмовляють; виявляють фактори, що призводять до руйнування елементів об'єкта, встановлюють відповідний їм характер прояви руйнування (поступовий або раптовий) та можливість спостереження за руйнуванням (або його проявом) [2, 5]. Наявність останньої обставини дає можливість попереджати відмови шляхом своєчасного проведення ремонту (технічного обслуговування) і є

основою при визначенні системи планово-попереджувальних ремонтів і технічного обслуговування [2, 6].

Мета роботи

Метою роботи є підвищення ефективності процесів проектування та експлуатації технічних об'єктів шляхом ефективної організації проведення ремонтних робіт з застосуванням інформаційної морфологічної моделі.

Викладення основного матеріалу

При створенні працездатних і високонадійних хімічних об'єктів має бути забезпечена надійність проектних рішень; конструкційна, експлуатаційна надійність; надійність автоматизованих систем управління технологічними процесами та надійність технологічної топології [7]. Для досягнення цієї мети на кожній стадії застосовуються відповідні методи для забезпечення та підвищення надійності. Зокрема, на стадії проектування має бути виконана розробка високонадійних елементів та вузлів, вибрані раціональні конструктивні і технологічні схеми, оптимальні режими та номенклатура нормованих показників надійності. Розрахунки здійснюються з використанням науково обґрунтованих методик розрахунку надійності і прогнозування ресурсу з урахуванням всіх можливих умов експлуатації, внутрішніх процесів і зовнішніх впливів [1, 7].

Для підвищення надійності об'єктів хімічного машинобудування, в першу чергу, необхідно проаналізувати можливість підвищення надійності окремих елементів, причому ефект буде тим значніше, чим складніше система і чим більше в ній елементів. Однак найчастіше більш надійні елементи мають великі габарити і масу, більш складну власну структуру та високу вартість. Крім того, здійснення деяких методів підвищення надійності елементів часто вимагає проведення складних конструктивних, технологічних, експлуатаційних та організаційних заходів, тому в кожному конкретному випадку необхідно співвіднести корисний ефект від підвищення надійності елемента з витратами на її здійснення.

Одним із основних засобів забезпечення необхідного рівня надійності є резервування. В хімічному машинобудуванні надійність невідновлюваних резервованих елементів підвищують за рахунок: загального і окремого резервування з постійно включеним резервом; загального і окремого резервування способом заміщення; ковзного резервування. Однак, використання останнього способу забезпечення необхідної надійності можливе лише при наявності спеціальних діагностичних пристроїв, які забезпечать можливість оперативно визначити несправний елемент і підключити замість нього резервний [2, 8].

Кожен із елементів, які входять до складу виробу, може резервуватися будь-яким із способів. Правильний вибір структури моделі складної системи забезпечує не тільки оптимальний підбір обладнання, але й дозволить в подальшому мінімізувати витрати, наприклад, на купівлю обладнання, проведення ремонтів чи гарантувати відмовостійкість системи на протязі необхідного проміжку часу.

Для систем з навантаженим резервуванням процес проектування пов'язаний з великою кількістю дискретних операцій вибору серед різних типів компонентів на основі їх надійності чи ваги в загальній відмовостійкості системи [10].

Резервування дозволяє створювати об'єкти, надійність яких вища, ніж надійність елементів, що їх складають, однак можливості застосування резервування обмежені через збільшення маси і виробничої площі системи, а, також, і через підвищення вартості одиниці продукту в порівнянні з нерезервованими.

Це призводить до задачі вибору оптимального способу резервування і оптимального числа резервних елементів для таких систем, що мають мережеву структуру і є *NP*-складною задачею [1, 2].

За умови визначення надійності системи:

$$\prod_{i=1}^s R_i(x_i | k_i) \geq R \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \geq k_i, \quad \forall i$$

де R_i – надійність i -ї підсистеми; R – обмеження на величину надійності;

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}), \quad n_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}; \quad x_{ij} - \text{кількість } j\text{-их компонентів, використаних в } i\text{-тій підсистемі, } x_{ij} \in (0, 1, 2, \dots), k_i - \text{кількість паралельно з'єднаних компонентів для кожної підсистеми } n_i; m_i - \text{кількість функціонально однакових компонентів для кожної підсистеми } i, \text{ якщо верхня межа для } n \text{ не обмежена, то кількість } N \text{ можливих структурних конфігурацій також не обмежена.}$$

Якщо ж таку межу встановлюють (n_{max}), то в результаті з'являється можливість встановити загальну кількість варіантів конфігурацій (елементного складу) системи, розглядаючи вибір елементного складу компонентів для кожної підсистеми як задачу про розміщення. Загалом, кількість унікальних варіантів побудови системи складе:

$$N = \prod_{i=1}^s \left[\binom{m_i + n_{max}}{m_i} - \binom{m_i + k_i - 1}{m_i} \right]. \quad (2)$$

Наприклад, для $s = 6$, $m_i = 10$ і $n_{max} = 8$ можливо

понад $6,9 \cdot 10^{27}$ різних варіантів побудови системи. Тому методи прямого перебору варіантів можуть виявитися занадто тривалими в часі [9].

Для об'єктів хімічного машинобудування забезпечення виконання певних заходів для отримання необхідної інформації, які дозволять провести розрахунки визначених показників надійності, дуже часто є вкрай складним і вартісним завданням. Однак відсутність такої інформації або неможливість одержання не може служити причиною для відмови від проведення оцінювання надійності об'єкту на будь-якому етапі його життєвого циклу [10, 11].

Забезпечення спеціаліста необхідними відомостями є процесом доволі трудомістким, як і процес накопичення відповідних статистичних даних, оскільки структура досліджуваного об'єкта може виявитися складною, номенклатура виробів, з яких він складається, на різних етапах його життєвого циклу, може змінюватися (ремонт, реінжиніринг), а для вирішення питань, пов'язаних з визначенням показників надійності необхідна відповідна математична, програмна та інформаційна підтримка [3, 10]. Одним із можливих шляхів отримання інформації для визначення оптимального методу резервування та вбору відповідної структурної схеми є використання в процесі проектування та розробки конструкції хімічного обладнання інформаційної структурної технології, яка дозволяє здійснити оцінку ймовірності безвідмовної роботи складних систем з навантаженим резервуванням та прогнозувати стан системи в процесі її деградації на основі побудови інформаційної морфологічної моделі складного об'єкту (рис. 1) [10 – 12].

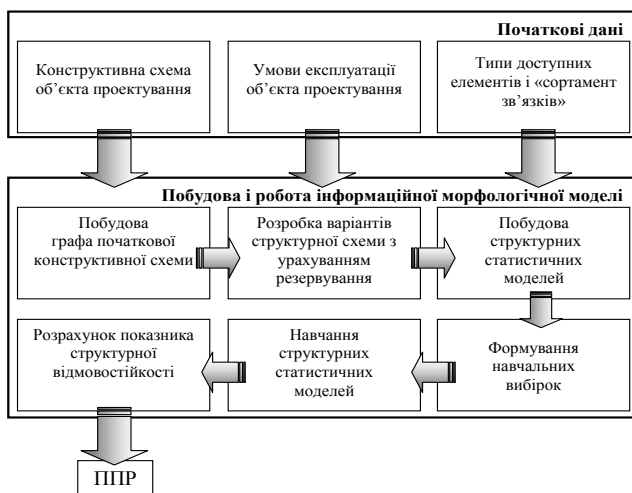


Рис. 1 – Схема визначення показника структурної відмовостійкості за допомогою інформаційної морфологічної моделі

Запропонована інформаційна структурна технологія дозволяє отримувати значення величини ймовірності безвідмовної роботи системи при

структурній подібності її моделі нейроподібній мережі. Перевагою використання нейронних мереж є їх достатня ефективність моделювання для випадків нелінійної і статистично значимої взаємодії. Недоліком – необхідність навчання, а також приблизна оцінка ймовірності безвідмовної роботи системи [13, 14].

Інформаційна технологія, яка забезпечує його визначення за допомогою морфологічної моделі виглядає наступним чином. На початку розглядається конструктивна схема об'єкта та пропонуються варіанти її структурної моделі з урахуванням умов експлуатації і можливими відмовами, зв'язками між окремими елементами системи та видами резервування [15]. Для кожного з варіантів будується інформаційна морфологічна модель і розраховується показник структурної відмовостійкості. Тобто з'являється можливість здійснювати порівняння структур складних об'єктів на основі величини K_{CB} . Відмови, які відбуваються в реальних технічних об'єктах, при відтворенні їх на морфологічній моделі тотожні «пошкодженню» структури моделі – вилученню елементів та зв'язків між ними. Кількість вилучених елементів корелюється з працездатністю системи і обмежується наперед заданим її рівнем [5].

Нехай, наприклад, схема об'єкта представлена у вигляді нейроподібної трьохшарової мережі, яка має $N = 40$ елементів. Поступове пошкодження елементів призводить до зниження ймовірності безвідмовної роботи $P_{СИС1}$ (розпізнаванню образу) і графік такої функції має вигляд (рис. 2) [11].

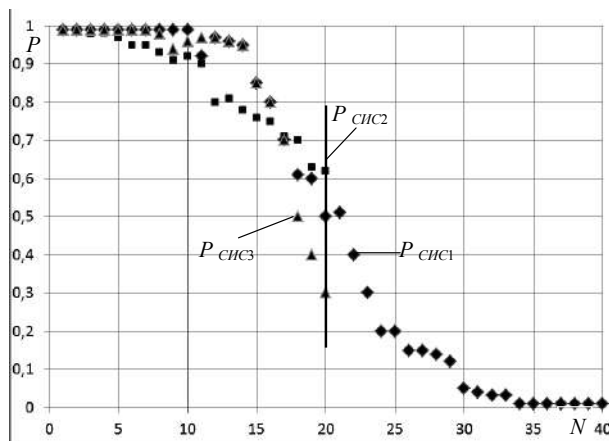


Рис. 2 – Вигляд розподілів значень ймовірності безвідмовної роботи при моделюванні поведінки технічної системи

Можна припустити, що ремонт технічного об'єкта після виходу з ладу (наприклад, 20 елементів) є тотожним до навчання морфологічної моделі вже з іншими ваговими коефіцієнтами, які будуть тотожні до змінених механічних властивостей елементів після їх ремонту або відновлення, а ймовірність безвідмовної роботи системи ($P_{СИС2}$) знову стане близькою до одиниці. Повторення цих операцій для

наступного (чергового) ремонту призведе до появи нового розподілу. Після певної кількості змін в структурі моделі повторне перенавчання не дасть напередзаданого значення надійності ($P_{СИС3}$) [16].

Загальний вигляд функцій $P_{СИС i}(t)$ для різних станів системи можна представити у вигляді

$$P_{СИС i} = f_i(n, N_{2(i-1)}); \quad 0 \leq i \leq I; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

де i – поточний номер повторного навчання; I – загальна кількість навчань; $N_{2(i-1)}$ – кількість непошкоджених елементів інформаційної морфологічної моделі після $(i - 1)$ -го повторного навчання.

Очевидно, що вид розташування точок функцій розподілу для систем з певною структурою залежить не тільки від кількості вилучених елементів і зв'язків між ними, але і від кількості тих елементів, що залишилися неушкодженими після чергової ітерації повторного навчання. Задаючи необхідну та економічно доцільну глибину відновлення при обмеженнях на сумарні витрати на експлуатацію і ремонт можливо вирішувати задачу оптимізації ремонтних робіт та встановлювати час початку їх проведення.

Обговорення результатів

Відмовостійкість технічних об'єктів визначена як інтегральний показник, який залежить від двох параметрів: моменту початку виходу з ладу окремих елементів і тривалості нестійкого стану працездатності об'єкта (вздовж осі кількості пошкоджень).

Жорстке прив'язування структури моделі до структури модельованого технічного об'єкта залишає можливість відновлення структури пошкодженої моделі тільки при відповідному топологічноподібному відновленні (ремонті) технічного об'єкта.

Використання топологічноподібної до технічного об'єкта структурної морфологічної моделі, дозволяє отримувати значення показника структурної відмовостійкості і застосовувати його для визначення надійності. Однак, повторне навчання після кожного одиничного пошкодження не вирішує задачу підвищення відмовостійкості, оскільки існує ймовірність, що після наступного пошкодження система стане непрацездатною.

Розраховуючи показник структурної відмовостійкості для множини $P_{СИС i}(t)$ (рис. 2) можна підібрати такі значення моментів повторного навчання (тобто планувати ремонти), які забезпечать найбільше значення $K_{СВ}$ та підібрати, наприклад, $K_{СВ0}$ та $K_{СВ1}$, таким чином, щоб визначити мінімальне значення їх суми:

$$K_{СВ0} = \sum_{n=n_0}^{n_0^{**}} [P_{СИС0}(t) \log_2 P_{СИС0}(t) - (1 - P_{СИС0}(t)) \log_2 (1 - P_{СИС0}(t))] \quad (4)$$

$$K_{СВ1} = \sum_{n=n_0}^{n_0^{**}} [P_{СИС1}(t) \log_2 P_{СИС1}(t) - (1 - P_{СИС1}(t)) \log_2 (1 - P_{СИС1}(t))] \quad (5)$$

де $K_{СВ0}$ – показник структурної відмовостійкості об'єкта з початковою (прийнятою) структурою; $K_{СВ1}$ – показник структурної відмовостійкості ремонтваного об'єкта.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що для планування організації ремонтних робіт технічних об'єктів при структурній подібності моделі об'єкта до нейрорподібної мережі можливо застосувати інформаційну технологію визначення показника структурної відмовостійкості, яка базується на побудові та навчанні структурної морфологічної моделі. Маючи відомості щодо структури об'єкта та навантажень, які він сприймає, є можливість певним чином оцінити структурну відмовостійкість технічного об'єкта, наприклад, на стадії проектування, тобто, з'являється можливість виконати таку оцінку різних структур одного технічного об'єкта з різними способами резервування за величиною показника структурної відмовостійкості $K_{СВ}$.

Запропоновано механічним аналогом повторного навчання мережі вважати ремонт технічних об'єктів.

Визначено, що відмовостійкість є інтегральним показником, величина якого залежить від моменту початку порушення працездатності і тривалості вздовж осі кількості пошкоджень нестійкого стану технічного об'єкта. Повторне навчання моделі не вирішує задачу підвищення відмовостійкості, таким чином клас відмовостійкості при збільшенні повторних навчань повинен проходити через максимум.

Список літератури

1. Романов, В. Н. Техника анализа сложных систем / В. Н. Романов. – СПб.: СЗТУ, 2011. – 287 с.
2. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин – СПб: СПбГУ, 2007. – 326 с.
3. Котенко, Н. А. Морфологические модели надежности энергетического оборудования / Н. А. Котенко, Г. А. Оборський, О. С. Савельева // *Моделирование та інформаційні технології: зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. С. Пухова.* – 2010. – Вип. 58. – С. 70-75.

4. **Miao, Y.** Reliability Evaluation and Improvement Approach of Chemical Production Man-Machine-Environment System / **Y. Miao, R. Kang, X. Chen** // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – 274 (1). – doi: 10.1088/1757-899X/274/1/012004.
5. **Савельева, О. С.** Критерии отказоустойчивости технических систем / **О. С. Савельева** // *Тр. Одесс. политехн. ун-та*. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 12-15.
6. **Харев, В. Г.** Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий диагностики и ремонта на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. Комплексные системы мониторинга [Электронный ресурс]. URL: <http://www.safeprom.ru/articles/detail.php?ID=6843>
7. **Кочкаров, А. А.** Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты / **А. А. Кочкаров, Г. Г. Малинецкий** // *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*. – 2005. – 32 с.
8. **Ghasemi, A.** Evaluating the reliability function and the mean residual life for equipment with unobservable states / **A. Ghasemi, S. Yacout, M.-S. Ouali** // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2010. – 59 (1). – pp. 45-54. – doi: 10.1109/TR.2009.2034947.
9. **Khandelwal, A.** Application of reliability analysis: a technical survey / **A. Khandelwal** // *Int J Sci Eng Res*. – 2011. – 2 (4). – P. 1-8.
10. **Liang, X.** Exact reliability formula for consecutive-k-Out-of-n repairable systems / **X. Liang, Y. Xiong, Z. Li** // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2010. – 59 (2). – P. 313-318. – doi: 10.1109/TR.2010.2046790.
11. **Савельева, О. С.** Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР / **О. С. Савельева** // *Праці Одеськ. политехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб.* – 2011. – Вып. 2 (36). – С. 174-178.
12. **Meeker, W. Q.** Reliability: The other dimension of quality / **W. Q. Meeker, L. A. Escobar** // *Quality Technology & Quantitative Management*. – 2004. – 1 (1) – P. 1-25.
13. **Пурич, Д. А.** Учет связности при диагностике надежности сетевых структур / **Д. А. Пурич** // *Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XX семинара*. – 2012. – С. 8-10.
14. **Савельева, О. С.** Морфологические модели отказоустойчивости сложных технических систем / **О. С. Савельева, О. Е. Плачинда, Д. А. Пурич** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. – 2011. – 3/2 (51). – С. 39-42.
15. **Ram, M.** Stochastic behaviour analysis of a Markov model under multi-state failures / **M. Ram, M. Manglik** // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2014. – Vol. 5(4). – P. 686-699. – doi: 10.1007/s13198-014-0234-5.
16. **Становский, А. Л.** Исследование корреляционной связи между отказами топологически подобных технических и интеллектуальных систем / **А. Л. Становский, С. Н. Красножон, О. Е. Плачинда** // *Тр. Одесс. политехн. ун-та*. – 2005. – Спецвыпуск. – С. 88-91.

Bibliography (transliterated)

1. **Romanov, V. N.** Tehnika analiza slozhnyh system. SPb.: SZTU, 2011, 287.
2. **Rjabinin, I. A.** Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh system. SPb: SPbGU, 2007, 326.
3. **Kotenko, N. A., Obors'kij, G. A., Savel'eva, O. S.** Morfologicheskie modeli nadezhnosti jenergeticheskogo oborudovanija. *Modeljvannja ta informacijni tehnologii: zb. nauk. prac' Institutu problem modeljvannja v energetici im. G. S. Puhova*, 2010, **58**, 70-75.
4. **Miao, Y., Kang, R., Chen, X.** Reliability Evaluation and Improvement Approach of Chemical Production Man-Machine-Environment System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, **274** (1), doi: 10.1088/1757-899X/274/1/012004.
5. **Savel'eva, O. S.** Kriterii otkazoustojchivosti tehniceskikh system. *Tr. Odess. politehn. un-ta.*, 2008, **1** (29), 12-15.
6. **Harebov, V. G.** *Razrabotka i vnedrenie resursoberegajushhij tehnologii diagnostiki i remonta na neftepererabatyvajushhij i neftehimicheskij proizvodstvah. Kompleksnye sistemy monitoring.* Available at: <http://www.safeprom.ru/articles/detail.php?ID=6843>
7. **Kochkarov, A. A., Malineckij, G. G.** Obespechenie stojkosti slozhnyh sistem. Strukturnye aspekty. *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*, 2005, 32.
8. **Ghasemi, A., Yacout, S., Ouali, M.-S.** Evaluating the reliability function and the mean residual life for equipment with unobservable states. *IEEE Transactions on Reliability*, 2010, **59** (1), 45-54, doi: 10.1109/TR.2009.2034947.
9. **Khandelwal, A.** Application of reliability analysis: a technical survey. *Int J Sci Eng Res*, 2011, **2** (4), 1-8.
10. **Liang, X., Xiong, Y., Li, Z.** Exact reliability formula for consecutive-k-Out-of-n repairable systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 2010, **59** (2), 313-318, doi: 10.1109/TR.2010.2046790.
11. **Savel'eva, O. S.** Jekspress-model' nadezhnosti slozhnyh sistem v SAPR. *Praci Odes'k. politehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb.*, 2011, **2** (36), 174-178.
12. **Meeker, W.Q., Escobar, L.A.** Reliability: The other dimension of quality. *Quality Technology & Quantitative Management*, 2004, **1** (1), pp. 1 - 25.
13. **Purich, D. A.** Uchet svjaznosti pri diagnostike nadezhnosti setevyh struktur. *Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. HH seminaru*, 2012, 8-10.
14. **Savel'eva, O. S., Plachinda, O. E., Purich, D. A.** Morfologicheskie modeli otkazoustojchivosti slozhnyh tehniceskij system. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologii. Informacionnye tehnologii*, 2011, **3/2** (51), 39 – 42.
15. **Ram, M., Manglik, M.** Stochastic behaviour analysis of a Markov model under multi-state failures. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2014, **5**(4), 686–699, doi: 10.1007/s13198-014-0234-5.
16. **Stanovskij, A. L., Krasnozhon, S. N., Plachinda, O. E.** Issledovanie korreljacionnoj svjazi mezhdju otkazami topologicheskij podobnyh tehniceskij i intelektual'nyh system. *Tr. Odess. politehn. un-ta.*, 2005, Specvypusk, 88 – 91.

Сведения об авторах (About authors)

Савельева Оксана Степанівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: okssave@gmail.com.

Oksana Saveleva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; okssave@gmail.com.

Торопенко Олексій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.

Oleksii Toropenko – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alexey.toropenko@geomoras.net.

Торопенко Алла Володимирівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Alla Toropenko – Docent of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alla.androsyk@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Савельєва, О. С. Застосування інформаційної морфологічної моделі для планування ремонтів хімічного обладнання / **О. С. Савельєва, О. В. Торопенко, А. В. Торопенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 141-146. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

Please cite this article as:

Saveleva, O., Toropenko, O., Toropenko, A. Application of the information morphological model for planning of rehabilitation of chemical equipment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 141–146, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Савельева, О. С. Применение информационной морфологической модели для планирования ремонта химического оборудования / **О. С. Савельева, А. В. Торопенко, А. В. Торопенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 141-146. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

АННОТАЦИЯ Рассмотрена возможность применения информационной структурной технологии определения показателя структурной отказоустойчивости для повышения эффективности планирования технического обслуживания и ремонтов технических объектов. Технология базируется на построении морфологической модели объекта и позволяет получать значения величины вероятности безотказной работы системы при структурном подобию ее модели нейроразобной сети. Предложено механическим аналогом повторного обучения сети считать ремонт технических объектов.

Ключевые слова: отказоустойчивость; надежность технических систем; организация ремонтов; моделирование

Поступила (received) 27.02.2018

УДК 65.012.3: 316.422

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.21

УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ В ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ІГОР

I. I. СТАНОВСЬКА^{1*}, С. В. КОШУЛЯН², О. В. ТОРОПЕНКО², О. І. ДАДЕРКО³

¹ кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

² кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

³ кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: stanovska@opu.ua

АНОТАЦІЯ Показано, що транспортування великогабаритних вантажів є проектом, в якому команда останнього постійно стикається із інтелектуальними ризиками протидії оточуючого середовища у вигляді субпідрядників (шляховиків, електриків, автоінспекції, тощо) виконанню окремих етапів проекту. Управління цими ризиками містить різні форми співпраці із субпідрядниками, – від об'єднання (SCRUM-технології) до конкурентної гри із «супротивником». Запропоновано адаптивну комплексну структуру технології проектної діяльності з перевезення великогабаритного багажу, яка передбачає на початку кожного етапу виявлення форми співпраці із субпідрядником та гнучку технологію роботи із ним.

Ключові слова: великогабаритні вантажі; інтелектуальні ризики; SCRUM-технології; конкурентна гра; адаптивна комплексна структура.

INTELLECTUAL RISK MANAGEMENT IN PROJECTS OF TRANSPORTATION OF LARGE VEHICLES BY THE GAME THEORY

I. I. STANOVSKA^{1*}, S. KOSHULYAN², O. TOROPENKO², O. DADERKO³

¹ Department of Mathematics and Systems Modeling, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

² Department of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

³ Department of Computer Intelligent Systems and Networks, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT It has been shown that the transport of large-sized cargoes is a project in which the latter team constantly faces the intellectual risks of counteracting the environment in the form of subcontractors (roadmakers, electricians, road inspectors, etc.) for the implementation of individual stages of the project. Managing these risks involves various forms of cooperation with subcontractors, from the merger (SCRUM-technology) to the game with the "opponent". The adaptive complex structure of the project activity on transportation of large-sized luggage is offered, which provides at the beginning of each stage the identification of the form of cooperation with the subcontractor and the flexible technology of work with it. The aim of the work is to reduce the time and cost of implementing large baggage transportation projects by managing the intellectual risks of counteraction from subcontractors of the project through the development and implementation of an adaptive integrated structure of the project activity technology, which foresees, at the beginning of each phase of the project, the identification of the form of cooperation with the next subcontractors and the flexible working technology with them. To achieve this goal, the following tasks were set and solved: analyzed problems of transportation of large-sized cargoes and revealed design features of such activity; Estimated intellectual risks of counteraction to project activity from "subcontractors" of the project; proposed adaptive complex structure of technology project activity, which combines SCRUM technology and game; the industrial tests of the results of the research with a positive technical and economic effect have been carried out. The results of the work were used in the system of support for the adoption of design decisions in the context of intellectual risks "SOLINTR". The system "SOLINTR" was involved in the PEO "ECHO" when planning and equipping the project of transportation of large-sized cargo at a distance of 235 km with a positive technical and economic effect.

Keywords: large-sized cargoes; intellectual risks; SCRUM-technology; competitive game; adaptive complex structure.

Вступ

Перевезення спеціального вантажу – один з найскладніших видів вантажоперевезень. Особливість спеціальних вантажів (важка дорожня техніка; великогабаритні бочки; комбайни; нафто-газове обладнання; верстати виробничого призначення; труби; негабаритні ємності; складні архітектурні

композиції, тощо) полягає в тому, що за своїми технічними характеристиками вони не можуть перевозитися звичайним автотранспортом і по дорогах загального користування; це може бути промислове, важковагове обладнання та техніка, складні, великогабаритні та негабаритні конструкції, труби та ін. (рис. 1).



Рис. 1 – Великогабаритний вантаж на автомобільній платформі (фото с сайту компанії DSV)

Для перевезення спеціальних вантажів розробляється спеціальний маршрут [1], вибирається спеціальний транспорт на проектується спеціальне обладнання [2, 3]. Розглянемо таку діяльність в якості проектною, оскільки вона, як правило, унікальна, обмежена в часі та ресурсах, виконується окремою командою, має чітко окреслену мету і в процесі виконання протидіє внутрішнім та зовнішнім ризикам, які на цей проект очікують [4].

При реалізації подібного проекту в деяких випадках необхідно піднімати лінії електропередач або навіть змінювати ландшафт, що не завжди «подобається» відповідальним за це особам. Труднощі такого перевезення полягають також в тому, що для проекту повинен бути розроблений дуже точний план, оскільки від кожного ризику залежить обсяг збитків і результат перевезення.

Таке протистояння ризиків призводить до відмінностей планової та фактичної тривалості робіт. Затримки виконання проекту одним з учасників призводить, в свою чергу, до штрафу або відсутності нагороди у іншого учасника проекту. Це призводить до несправедливого розподілу штрафів та нагород і, як наслідок, до відсутності мотивації до скорочення термінів виконання проекту [5].

Дуже велика міра ризиків, які супроводжують такий проект визначається також значними витратами на їхню компенсацію [6]. Існують три типові стратегії реагування на появу ризиків, здатних негативно вплинути на досягнення цілей проекту: ухилення, передача і зниження. Четверта стратегія – прийняття, може використовуватися як для негативних, так і для позитивних ризиків (сприятливих можливостей). Кожна з цих стратегій реагування на ризики здійснює різний і унікальний вплив на стан ризику. Обрані стратегії повинні відповідати ймовірності настання ризику та його впливу на загальні цілі проекту.

В підсумку маємо такі властивості управління проектами у цих умовах: наявність кількох учасників, невизначеність поведінки учасників, конфлікт інтересів учасників, взаємозв'язок поведінки (наявність відомих усім учасникам правил поведінки), раціональність рішень, що приймаються [7]. Такі особливості при наявності злагоди між учасниками

восходять до аутсорсингу у вигляді SCRUM-технологій управління проектами [8], а при відсутності такої – до теорії ігор [9].

Мета роботи

Метою роботи є зниження термінів та витрат на реалізацію проектів перевезення великогабаритного багажу шляхом управління інтелектуальними ризиками протидії від субпідрядників проекту за рахунок розробки та впровадження адаптивної комплексної структури технології проектною діяльності, яка передбачає на початку кожного етапу проекту виявлення форми співпраці із черговими субпідрядниками та гнучку технологію роботи із ними.

Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені і вирішені наступні задачі: проаналізовані проблеми транспортування великогабаритних вантажів і виявлені проектні ознаки такої діяльності; оцінені інтелектуальні ризики протидії проектною діяльністю від «субпідрядників» проекту; запропонована адаптивна комплексна структура технології проектною діяльності, яка поєднує SCRUM-технологію та конкурентну гру; здійснені виробничі випробування результатів дослідження із позитивним техніко-економічним ефектом.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо зовнішні ризики, тобто такі, які породжує турбулентне оточуюче середовище. Усі зазначені вище протистояння відносяться саме до таких ризиків, адже субпідрядники діють за межами проекту.

В найпростішому випадку усі ризики мають рівну ймовірність виникнення (рис. 2, а). Така гіпотетична ситуація відповідає рівню «повний хаос» і не зустрічається у випадках, коли ризики виникають як протидія з боку одухотворених об'єктів. На рис. 2, б наведений випадок, коли оточуюче середовище вже структуроване, ймовірність виникнення ризиків різна, але їхня поява все ще не персоналізована.

Нарешті, рис. 2, в містить ознаки інтелекту: рішення про ризикову дію на проект приймає людина (або штучний інтелект), менеджер проекту змушений управляти такими ризиками за допомогою теорії ігор.

Застосування теорії ігор в управлінні проектами дозволяє достовірно прогнозувати найбільш ймовірний результат подій та зменшує час, який витрачається на такий прогноз [5]. При цьому математична теорія ігор дозволяє включити до розгляду такі аспекти управління проектами, як знання [10, 11], конфлікти [12], прийняття рішень [13], терміни [14 – 16] та ризики [17].

Таким чином, маємо, як мінімум, двох учасників проекту: організація, яка здійснює проект переміщення вантажу, та інфраструктура на шляху такого переміщення, яка, м'яко кажучи, в цьому

переміщенні зацікавлена. До цього слід додати, що фактично така інфраструктура, як правило, складається з окремих «учасників», а взаємодія з нею розпадається на кілька попарних взаємодій із зовсім різними інтересами, виконавцями та іншими можливостями та бажаннями.

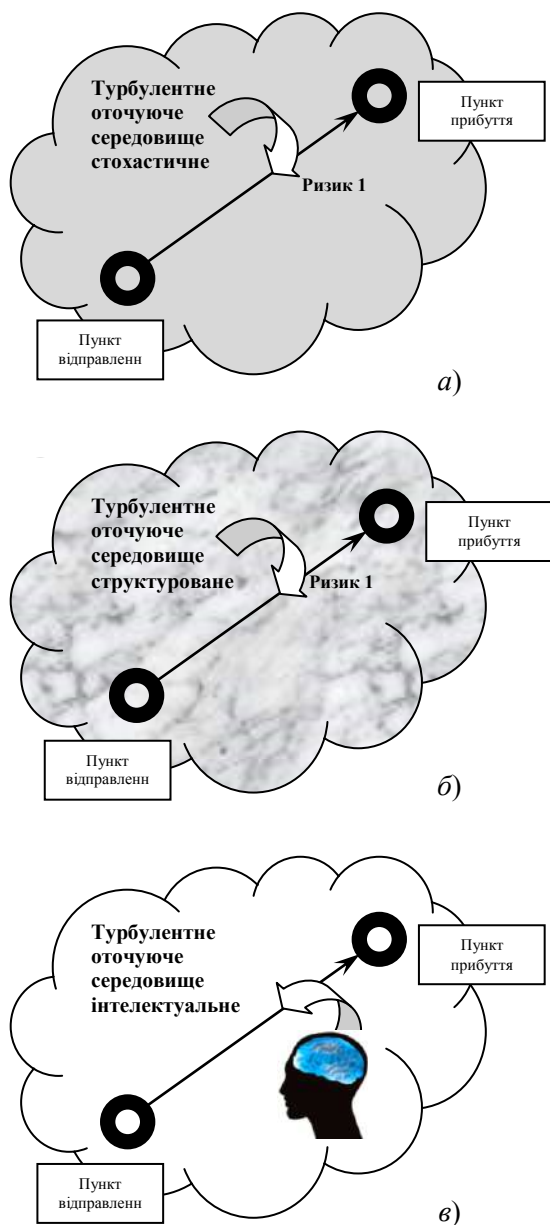


Рис. 2 – Схема взаємодії проекту перевезення великогабаритного вантажу із ризиками: а – стохастичними; б – структурованими; в – інтелектуальними

Наприклад, менеджер проекту «Перевезення великогабаритного вантажу» в процесі управління ризиками цього проекту може послідовно розв’язувати такі суміжні задачі: оренда та використання спеціального транспорту, блокування та перебудову дорожнього руху на шляху перевезення,

тимчасовий демонтаж електричних мереж, перебудова мостів та шляхопроводів, тощо.

Ролі реальних інтелектуальних партнерів-супротивники, без яких жодну з цих проблем розв’язати неможливо, можуть бути інтерпретовані в проектному менеджменті як «друг», «байдужий учасник» або «супротивник». Тому перед початком конкретного поточного аутсорсингу [18] необхідно спочатку ідентифікувати, до якої з цих ролей відноситься тимчасовий партнер, а потім, залежно від результату, запропонувати йому місце в черговому спринті Скраму або «викликати на конкурентну гру».

В результаті для прикладу з перевезення спеціальних вантажів отримуємо адаптивну комплексну систему управління проектом, яка передбачає наявність центрального ядра (ЦЯ) – проектного менеджменту – та периферійних субпідрядників, до яких послідовно звертається ядро і заключає із ними різні умови відношень (рис. 3).

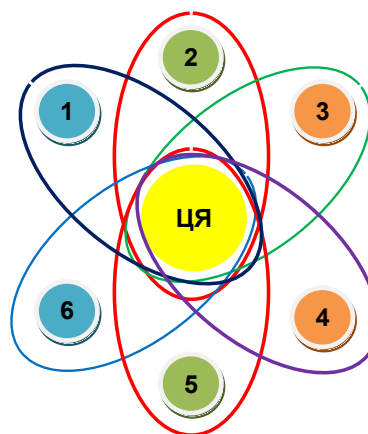


Рис. 3 – Схема адаптивної системи управління проектом перевезення великогабаритного багажу: 1 – забезпечення спеціального транспорту (SCRUM); 2 – навантаження (SCRUM); 3 – забезпечення дорожнього руху (гра); 4 – забезпечення електричних мереж (гра); 5 – підготовка мостів та тунелів (гра); 6 – розвантаження (SCRUM)

Результати роботи були використані в системі підтримки прийняття проектних рішень в умовах інтелектуальних ризиків «SOLINTR» (*The adoption of project solutions support in the fight against intellectual risks*) (рис. 4).

Система передбачає, як і в SCRUM-технологіях управління проектами, розбиття життєвого циклу проекту на окремі спринти. Відмінність змісту кожного спринту визначається конкретним субпідрядником, якого на цьому етапі передбачається задіяти.

Далі підключається інтелектуальна система (наприклад, нейронна мережа), яка розпізнає образ субпідрядника: «друг» або «супротивник». В залежності від результатів розпізнавання виконуються аутсорсинг частини проекту в рамках

поточного спринту SCRUM-технології або здійснюється виклик «супротивника» на конкурентну гру.

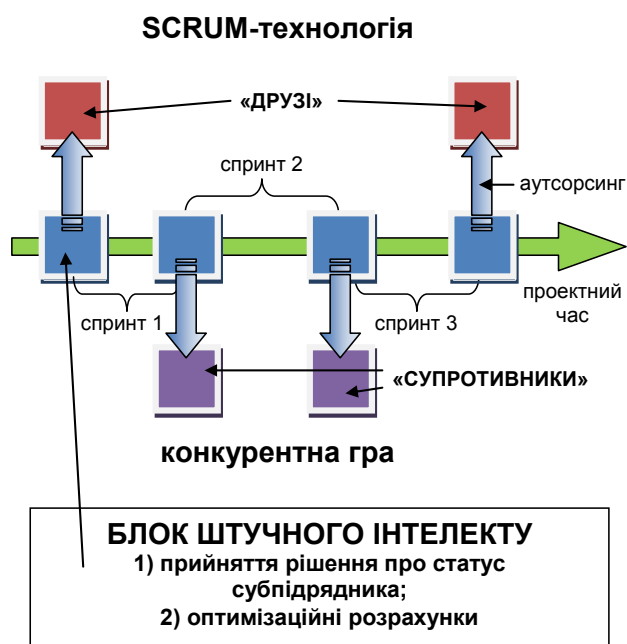


Рис. 4 – Схема системи підтримки прийняття проектних рішень в умовах інтелектуальних ризиків «SOLINTR»

Система «SOLINTR» була задіяна в ПМП «ЕХО» (м. Біляївка Одеської обл.) при плануванні та оснащенні проекту перевезення великогабаритного вантажу на відстань 235 км із позитивним техніко-економічним ефектом.

Обговорення результатів

В роботі в якості об'єкту дослідження розглядається процес виконання проекту або програми транспортування великогабаритних вантажів.

В деяких випадках цей процес стикається із протидією з боку різних інтелектуальних організацій-субпідрядників (наприклад, шляховиків, електриків, автоінспекції, тощо), з якими доводиться або домовлятися і, навіть, тимчасово залучати їх до команди проекту, або вступати із ними в конкуруючу за час, ресурси та кошти гру.

У цих організацій різні цілі і кожна ціль має вартість. Інтелектуальність інфраструктури визначається тим, що вона розбита на підсистеми, кожна з яких приймає рішення за допомогою людини.

Цілі гравців, як правило, конкуруючі, наприклад, першому гравцю потрібно перевезти вантаж через міст, а другий «не хоче» реконструювати міст, перекривати дорожній рух, витратити гроші на відповідні повідомлення, тощо.

Результати роботи підтверджують можливість

ефективного використання для управління проектами перевезення великогабаритного вантажу гібридної комбінованої системи, яка на кожному етапі проекту виявляє кризи, що впливають від позитивної або негативної дії субпідрядників.

Для протидії цим кризам система створює тимчасові групи виконавців, діючих або в рамках SCRUM-технології управління, або згідно із правилами конкурентної гри.

Все це дозволяє пришвидшити виконання проекту в цілому, а також заощадити значні кошти усім учасникам проектної діяльності на виконанні кожного з етапів останнього.

Висновки

Проаналізовані проблеми транспортування великогабаритних вантажів крізь об'єкти із розвинутою інфраструктурою (міста, магістральні шляхи, тощо) і виявлені проектні ознаки такої діяльності: унікальність кожного процесу, наявність цілі, обмеження в часі та ресурсах, команда проекту, тощо.

Інтелектуальні ризики протидії проектній діяльності впливають із різних інтересів деяких субпідрядників, участь в проекті для яких є вимушеною (наприклад, адміністративно) та збитковою.

Запропонована адаптивна комплексна структура технології проектної діяльності, яка, в залежності від інтересу субпідрядника, змушує менеджмент проекту поєднуватися із ним у SCRUM-команду або починати із ним конкурентну гру із втратами.

Результати роботи були використані в системі підтримки прийняття проектних рішень в умовах інтелектуальних ризиків «SOLINTR».

Система була задіяна в ПМП «ЕХО» при плануванні, оснащенні та реалізації проекту перевезення великогабаритного вантажу – дорожньої техніки – на відстань 235 км із позитивним техніко-економічним ефектом.

Список літератури

1. Особенности перевозок негабаритных грузов. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.packer3d.ru/node/60>.
2. Савельєва, О. С. Інформаційні технології оптимізації конструкції та технології виготовлення гумометалевих виробів / О. С. Савельєва, І. І. Становська, О. Ю. Лебедєва, А. В. Торopenко // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии.* – 2016. – № 2/2 (80). – С. 28-33. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65456.
3. Saveleva, O. Optimization of uniformly stressed structures of cylindrical tanks in CAD / O. Saveleva, I. Stanovska, Yu. Khomyak, A. Toropenko, Ie. Naumenko // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии.* – 2016. – № 6/7 (84). – С. 10-16. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.85451.

4. Савельєва, О. С. Управління програмою супроводження систем аварійного захисту АЕС / О. С. Савельєва, І. І. Становська, Т. В. Бібік, К. І. Березовська // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления*. – 2016. – № 2/3 (80). – С. 49-56. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65641.
5. Гришина, Е. Перспективы развития теории игр в управлении проектами [Электронный ресурс] / Е. Гришина. М.: Высшая школа экономики, 2013. URL: [https://pmconf.hse.ru/data/2014/06/22/1310547696/Гришина а%20Е.%20](https://pmconf.hse.ru/data/2014/06/22/1310547696/Гришина%20Е.%20). – 8.01.2018
6. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®) . – 5-Е изд. – USA/США: *Project management institute*. – 2013. – 586 с.
7. Aliahmadi, A. A new intelligence expert decision making using game theory and fuzzy AHP to risk management in design, construction, and operation of tunnel projects / A. Aliahmadi // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2011. – № 53(5–8). – P. 789-798.
8. Bandyopadhyay, S. Knowledge sharing and cooperation in outsourcing projects. A game theoretic analysis / S. Bandyopadhyay, P. Pathak // *Journal Decision Support Systems*. – 2007. – 43(2). – P. 349-358.
9. Петросян, Л. А. Теория игр / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. В. Шевкопляс. – СПб: БХВ-Петербург. – 2012. – 432 с.
10. Li, Y. Knowledge sharing in communities of practice: A game theoretic analysis / Y. Li, J. Li // *European Journal of Operational Research*. – 2010. – P. 1052-1064.
11. Sharma, R. Knowledge dilemmas within organizations: Resolutions from game theory / R. Sharma, S. Bhattacharya // *Knowledge-Based Systems*. – 2013. – № 45. – P. 100-113.
12. Barough, A. Application of Game Theory Approach in Solving the Construction Project Conflicts / A. Barough, M. Shoubi, M. Skardi // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. – 2012. – № 58. – P. 1586-1593.
13. Castillo, L. Decision-making in the oil and gas projects based on game theory: Conceptual process design / L. Castillo, C. A. Dorao // *Energy conversion and management*. – 2013. – v. 66 – P. 48-55.
14. Bergantiños, G. NTU PERT games / G. Bergantiños, E. Sánchez // *Journal Operations Research Letters*. – 2002. – 30(2). – P. 130-140.
15. Castro, J. A project game for PERT networks / J. Castro, et al. // *Operations Research Letters*. – 2007. – 35(6). – P. 791-798.
16. Estevez-Fernandez, A. A game theoretical approach to sharing penalties and rewards in projects / A. Estevez-Fernandez // *Tinbergen Institute Discussion Paper*. – 2012. – P. 1-32.
17. Huafeng, X. The game theory analysis of risk share for PPP project based on shapley value / X. Huafeng, L. Qihong // *The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering* – 2010. – P. 1-11.
18. Aubert, B. A. A framework for information technology outsourcing risk management / B. A. Aubert // *The Data Base for Advances in Information Systems*. – 2006. – vol. 13 (2). – P. 122-127.
19. <http://www.packer3d.ru/node/60>.
20. Savel'eva, O. S., Stanov's'ka, I. I., Lebedeva, O. Ju., Toropenko, A. V. Informacijni tehnologii optimizacii konstrukcii ta tehnologii vigothovlennja gumometalnih virobiv. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Informacionnye tehnologii*, 2016, 2/2 (80), 28-33.
21. Saveleva, O., Stanovska, I., Khomyak, Yu., Toropenko, A., Naumenko, Ie. The software of an equalstress hull structures CAD. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Informacionnye tehnologii*, 2016, 6/7 (84), 10-16.
22. Saveleva, O. S., Stanovska, I. I., Bibik, T. V., Berezov's'ka, K. I. Upravlinnja programuju suprovodzhennja sistem avarijnogo zahistu AES. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Processy upravlenija*, 2016, 2/3 (80), 49-56.
23. Grishina E. Perspektivy razvitiya teorii igr v upravlenii proektami. M.: Vysshaja shkola jekonomiki, 2013. Available at: <https://pmconf.hse.ru/data/2014/06/22/1310547696/Grishina%20E.%20>. – 8.01.2018.
24. Rukovodstvo k svodu znaniy po upravleniju proektami (Rukovodstvo PMBOK®) . – 5-Е изд. – USA/SShA: *Project management institute*, 2013, 586.
25. Aliahmadi, A. A new intelligence expert decision making using game theory and fuzzy AHP to risk management in design, construction, and operation of tunnel projects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 53(5–8), 789-798.
26. Bandyopadhyay, S., Pathak, P. Knowledge sharing and cooperation in outsourcing projects. A game theoretic analysis. *Journal Decision Support Systems*, 2007, 43(2), 349-358.
27. Petrosjan, L. A., Zenkevich, N. A., Shevkoptyas, E. V. Teorija igr. SPb: BHV-Peterburg, 2012, 432.
28. Li, Y., Li, J. Knowledge sharing in communities of practice: A game theoretic analysis. *European Journal of Operational Research*, 2010, 1052-1064.
29. Sharma, R., Bhattacharya, S. Knowledge dilemmas within organizations: Resolutions from game theory. *Knowledge-Based Systems*, 2013, 45, 100-113.
30. Barough, A., Shoubi, M., Skardi, M. Application of Game Theory Approach in Solving the Construction Project Conflicts. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 58, 1586-1593.
31. Castillo, L., Dorao, C. A. Decision-making in the oil and gas projects based on game theory: Conceptual process design. *Energy conversion and management*, 2013, 66, 48-55.
32. Bergantiños, G., Sánchez, E. NTU PERT games // *Journal Operations Research Letters*, 2002, 30(2), 130-140.
33. Castro, J. et al. A project game for PERT networks // *Operations Research Letters*, 2007, 35(6), 791-798.
34. Estevez-Fernandez, A. A game theoretical approach to sharing penalties and rewards in projects. *Tinbergen Institute Discussion Paper*, 2012, 1-32
35. Huafeng, X., Qihong, L. The game theory analysis of risk share for PPP project based on shapley value. *The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, 2010, 1-11.
36. Aubert, B. A. A framework for information technology outsourcing risk management. *The Data Base for Advances in Information Systems*, 2006, 13(2), 122-127.

Bibliography (transliterated)

1. Osobennosti perevozok negabaritnyh gruzov. Available et:

Відомості про авторів (About authors)

Становська Іраїда Іванівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; м. Одеса, Україна; e-mail: stanovska@opu.ua.

Iraida Stanovska – Candidate of Technical Sciences, Docent of Mathematics and Modeling Systems Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: stanovska@opu.ua.

Кошулян Сергій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: sergkoshul1990@rambler.ru.

Sergiy Koshulyan – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; sergkoshul1990@rambler.ru.

Торопенко Олексій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.

Oleksii Toropenko – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alexey.toropenko@geomoras.net.

Дадерко Олеся Ігорівна – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: jqutel@gmail.com.

Olesya Daderko – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; jqutel@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Становская, И. И. Управление интеллектуальными рисками в проектах транспортировки крупногабаритных грузов с помощью теории игр / **И. И. Становская, С. В. Кошулян, А. В. Торопенко, О. И. Дадерко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 147-152. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.21.

Please cite this article as:

Stanovska, I., Koshulyan, S., Toropenko, O., Daderko, O. Intellectual risk management in projects of transportation of large vehicles by the game theory. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 147-152, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.21.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Становська, І. І. Управління інтелектуальними ризиками в проектах транспортування великогабаритних вантажів за допомогою теорії ігор / **І. І. Становська, С. В. Кошулян, О. В. Торопенко, О. І. Дадерко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 147-152. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.21.

АННОТАЦІЯ Показано, що транспортування крупногабаритних грузов является проектом, в котором команда последнего постоянно сталкивается с интеллектуальными рисками противодействия окружающей среды в виде субподрядчиков (дорожников, электриков, автоинспекции и т.д.) выполнению отдельных этапов проекта. Управление этими рисками содержит различные формы сотрудничества с субподрядчиками – от объединения (SCRUM-технологии) до конкурентной игры с «противником». Предложено адаптивную комплексную структуру технологии проектной деятельности по перевозке крупногабаритного груза, которая предусматривает в начале каждого этапа выявление формы сотрудничества с субподрядчиком и гибкую технологию работы с ним.

Ключевые слова: крупногабаритные грузы; интеллектуальные риски; SCRUM-технологии; конкурентная игра; адаптивная комплексная структура.

Поступила (received) 26.02.2018

УДК 504: 004.6

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.22

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ

Ю. Л. ТИХОНОВ^{1*}, В. А. ЛАХНО²

¹кафедра ІТС, ЛНУ ім. Тараса Шевченка, Старобільськ, УКРАЇНА

²кафедра організації комплексного захисту інформації, Європейський університет, Київ, УКРАЇНА

*e-mail: t2003i17@meta.ua

АНОТАЦІЯ У даній роботі пропонується онтологізований опис об'єктів, що потребують планування заходів. Це дозволяє згрупувати і об'єднати всі необхідні дані в одному документі для вирішення різних завдань, зокрема для планування оперативних дій. Підхід відрізняється застосуванням КО, що забезпечують систематизацію концептів, врахування їх взаємозв'язку та дає можливість створення інструментарію планування дій. Подібний підхід можна використовувати в різних галузях. В роботі наведені приклади застосування для планування заходів щодо захисту даних та планування випуску електронних курсів.

Ключові слова: онтологізований опис; прогнозування; ондограф; екологічний паспорт; моніторинг; база знань.

ONTOLOGICAL APPROACH TO OPERATIONAL PLANNING

U. TIKHONOV¹, V. LAKHNO²

¹Department of ITS, LNU. Taras Shevchenko, Starobelsk, UKRAINE

²Department of Integrated Information Securit, European University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Planning is a relatively independent subsystem, which covers a set of special tools, rules, structural bodies, information flows and processes aimed at the preparation and implementation of plans. The purpose of the planning process is to try to take into account, whenever possible, all internal and external factors that provide favorable conditions for the normal functioning of the objects. There is a number of planning techniques that determine the content, form, structure and procedure for developing a plan. However, there is no toolkit based on systematized and structured description of objects and events. One of the successful approaches to describing such models is an ontological one, where in the formalized form the knowledge of the subject field is presented. The ontological aspects of the description include a range of issues ranging from structuring information and characteristics to the linkages of objects and activities. Among the features of the ontological description, we note the presence of levels of concepts and explicit indication of categories of higher order. In this paper, an ontology description of objects requiring action planning is proposed. This allows you to group and combine all the necessary data in one document to solve various tasks, in particular for planning operational actions. The approach is different in applying KO, which ensures the systematization of concepts, taking into account their interconnections, and gives the opportunity for creating tools for action planning. A similar approach can be used in various fields. The examples of application for planning data protection measures and planning of the issuance of electronic courses are given in the work.

Key words: ontology description; forecasting; ontograph; monitoring; knowledge base.

Вступ

Планування являє собою відносно самостійну підсистему, яка охоплює сукупність спеціальних інструментів, правил, структурних органів, інформаційних потоків і процесів, спрямованих на підготовку і виконання планів. Призначення процесу планування полягає в намаганні завчасно враховувати по можливості всі внутрішні та зовнішні чинники, що забезпечують сприятливі умови для нормального функціонування об'єктів. Планування як процес передбачає розробку комплексу заходів, які визначають послідовність кроків у досягненні конкретних цілей з урахуванням можливостей найефективнішого використання ресурсів. Методика планування характеризує зміст, форму, структуру і порядок розробки плану [1].

До завдань планування як до процесу практичної діяльності належать в числі інших визначення потреби ресурсів, планування обсягів і структури необхідних ресурсів і термінів їх надходження [2].

Щоб отримати найкращі результати, планування потребує широкого й водночас ефективного

збору інформації, розроблення й вивчення заходів. Планування може допомогти підходити максимально виважено до всіх питань, що належать до компетенції тієї чи іншої організації [3,4].

Існує ряд методик планування які визначають зміст, форму, структуру і порядок розробки плану [1]. Однак відсутній інструментарій який спирається на систематизований і структурований опис об'єктів та заходів.

Мета роботи

Розглянути підходи на основі онтології до формалізації опису об'єктів, які потребують оперативного планування заходів, та опису цих заходів, що дозволяє систематизувати і структурувати всі необхідні дані для вирішення різних завдань, зокрема для створення інструментарію планування дій.

Основна частина

1. Онтологізований опис об'єктів та заходів.

База знань, що описує об'єкти які потребують планування дій повинна включати зв'язки з заходами. Одним з успішних підходів для опису таких моделей є онтологічний, де в БЗ у формалізованому вигляді

представлені знання предметної галузі (ПдГ)[5-12]. У онтологічних БЗ враховуються такі вимоги [12]:

1. Комп'ютерна онтологія забезпечує ефективну машинну обробку знань

2. На відміну від звичайного суб'єктивного підходу до розробки БЗ, онтологічний підхід передбачає строгу структурування термінів і понять.

3. Необхідне використання засобів підтримки автоматизованої побудови онтології ПдГ.

До онтологічних аспектів опису відноситься коло питань, починаючи від структуризації відомостей і характеристик до зв'язків об'єктів і заходів. Серед особливостей онтологічного опису відзначимо наявність рівнів концептів і явні зазначення категорій вищого порядку (рис.1.) [13,14].

Відповідно до цього представимо узагальнений онтологізований опис об'єктів об'єктів, які потребують оперативного планування заходів, та опису цих заходів (рис. 2.).

Концепти фрагменту онтографу "об'єкти", які визначають проблему зв'язуються з тими концептами фрагменту онтографу "Заходи", які можуть її вирішити.

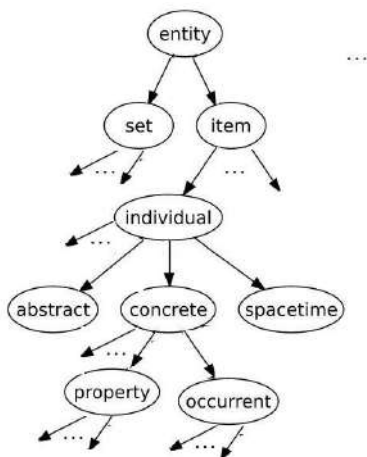


Рис. 1 – Структура загальної формальної онтології.

1. entity - об'єкт що описується;
2. item - окремі об'єкти;
3. set - безліч об'єктів;
4. individual - індивідуальне суще (individual entity - клас об'єкти, які не є безліччю, але які можуть бути реалізовані в якості множин);
5. abstract - абстрактне поняття;
6. concrete - конкретне поняття;
7. space time - пов'язані тримерні частини простору, часові інтервали;
8. property - властивості об'єкту;
9. occurent – реалізованість

Зацікавленість суспільства у вирішенні конкретної проблеми відображаємо в опису концепту "актуальність" який є пов'язаний з концептом що визначає проблему. Цей показник відповідає ступеню "зрілості" проблеми (наскільки явно визначена, наскільки вона потрібна суспільству, наскільки суспільство готове за неї платити). Це може бути фінансування в певний період або пріоритет

вирішення то що. Конкретні дані в опису онтології (в описі концепту "актуальність").

Кожен концепт онтографу заходів, які відповідають проблемам, являє собою технічні, наукові або економічні можливості вирішення цих проблем. Ціна вирішення конкретної проблеми відображаємо в опису концепту "ціна" який є пов'язаний з концептом що розв'язує проблему.

Розглянемо детальніше планування заходів. Ці заходи як правило дорогі і трудомісткі. Всі одночасно проводити безглуздо. Необхідний план розробки та впровадження (ранжирування по черговості проведення, зокрема - яке впроваджувати першим).

З комп'ютерної онтології (онтологізованого опису) в автоматизованому режимі вибираються концепти, які позначають відповідні заходи. Аналізується опис концепту "ціна", що є пов'язаний з концептом що визначає проблему. Ранжирування проводиться відповідно фрагменту алгоритму рис.3. З використанням графічного інтерфейсу експерт коригує ранжирування заходів і визначає, який ввести першим.

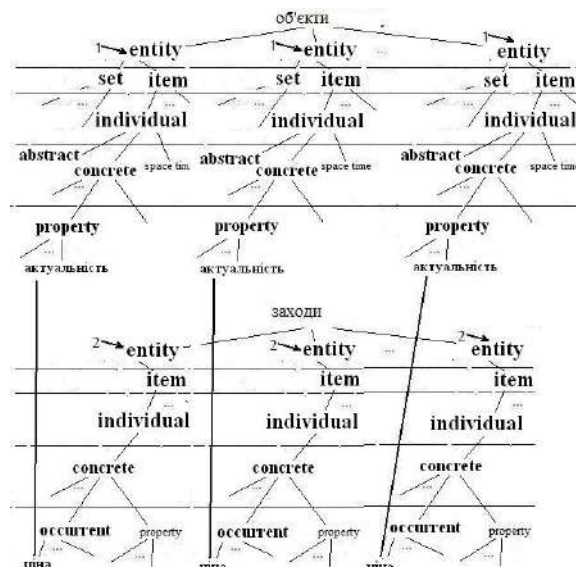


Рис. 2 – Зв'язки об'єктів і заходів.

1. Концепти які потребують захисту.
2. Заходи щодо забезпечення безпеки

Зв'язки об'єктів та заходів безпеки здійснюється через концепти "актуальність" та "ціна".

Комп'ютерні онтології (КО) дають можливість вирішувати певне коло завдань:

– Аналіз стану об'єктів з метою вироблення рекомендацій щодо та запобігання аварійним ситуаціям.

– Аналіз статичної та динамічної інформації про об'єкти з метою вироблення рекомендацій для проведення планового технічного обслуговування і (або) екстреного ремонту.

– Вироблення рекомендацій щодо оптимізації процесів технічного обслуговування.

Використання онтологічного опису об'єктів та заходів дозволяє враховувати зв'язки проблем і відповідних їм заходів, що має забезпечити підвищення ефективності рекомендацій та планування заходів. За допомогою такого опису завдання планування заходів може бути виражена у такій спосіб (рис. 3).

У блоці 1 вибрано концепт який потребує планування заходів.

У блоці 2 шукається наступний захід пов'язаний з обраним.

У блоці 3 ситуація коли концепт не знайдений означає, що перелік заходів з даної проблеми вичерпаний.

У блоках 4, 5 виводиться діалог та вікно для введення додаткових концептів - заходів.

У блоці 7 ситуація коли опис не знайдений потребує модифікації онтології, про що виводиться повідомлення в блоці 9.

У блоці 8 зберігається концепт-захід та величина його ціни для подальшого ранжування.

У блоці 10 проводиться ранжування концептів - заходів по різниці "фінансування з обраної проблеми" - "ціна заходу".

Як приклад розглядається планування деяких заходів безпеки даних.

Діяльність із забезпечення безпеки здійснюється за допомогою різних способів, засобів і прийомів, які у сукупності й складають методи. Метод передбачає певну послідовність дій на підставі конкретного плану. Методи можуть значно змінюватися і варіюватися в залежності від типу діяльності, в якій вони використовуються, а також сфери застосування.

Важливими методами аналізу стану забезпечення інформаційної безпеки є методи описи і класифікації. Для здійснення ефективного захисту слід описати та класифікувати різні види загроз та небезпек, ризиків та викликів і відповідно сформулювати систему заходів.

Вибір методів аналізу стану забезпечення інформаційної безпеки залежить від конкретного рівня і сфери організації захисту. В залежності від загрози уможливується завдання щодо диференціації як різних рівнів загроз, так і різних рівнів захисту.

Природа є значним чинником формування об'єктів захисту, це не означає, що вона їх повністю детермінує. З роз витком індустріального, а в наш час і постіндустріального суспільства утворення цінностей дедалі більше віддаляється від природних компонентів і переноситься у площину соціокультурних та інтелектуально-інформаційних. Нині існування держави-нації залежить не тільки від спроможності протистояти традиційним військовим загрозам, а ще від готовності знаходити адекватні відповіді (створюючи для цього відповідні сили та засоби) на нові загрози та виклики економічного, технологічного, екологічного, демографічного й

інформаційного характеру. Необхідний захист усіх сфер життєдіяльності – економічної, зовнішньополітичної, воєнної, соціальної, інформаційної, екологічної тощо. Цей захист здійснюється на державному рівні відповідними установами [15].

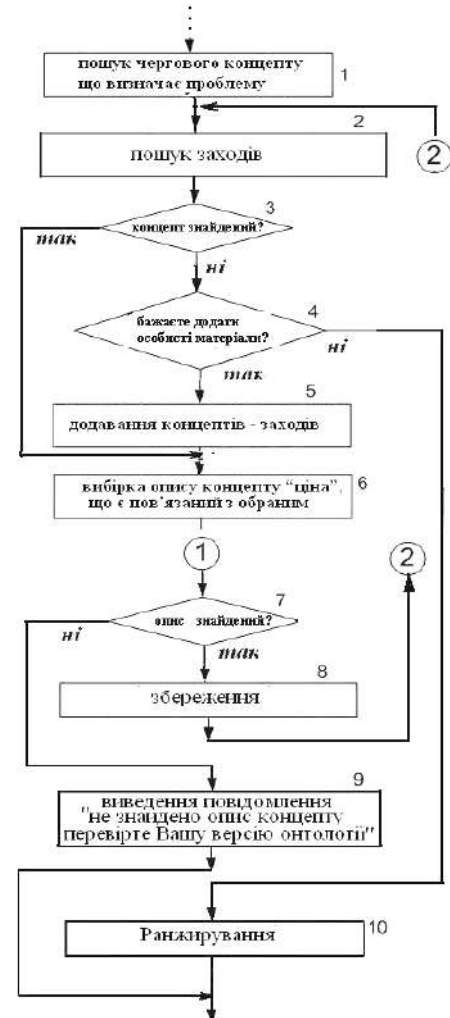


Рис.3 – Фрагмент алгоритму що відноситься до ранжування заходів по черговому концепту

Вибір методів аналізу стану забезпечення інформаційної безпеки залежить від конкретного рівня і сфери організації захисту. В залежності від загрози уможливується завдання щодо диференціації як різних рівнів загроз, так і різних рівнів захисту. Що стосується сфери інформаційної безпеки, то у ній зазвичай виділяють фізичний, програмно-технічний, управлінський, технологічний, рівень користувача, мережений, процедурний [16].

Відповідно, частина онтографу опису матиме вигляд (рис.4.).

Мета моніторингу полягає в отриманні об'єктивної інформації про стан і розробці заходів щодо безпеки. Концепти фрагменту онтографу, які визначають проблему зв'язуються з тими концептами фрагменту онтографу "Заходи ...", які можуть її вирішити (рис.5).

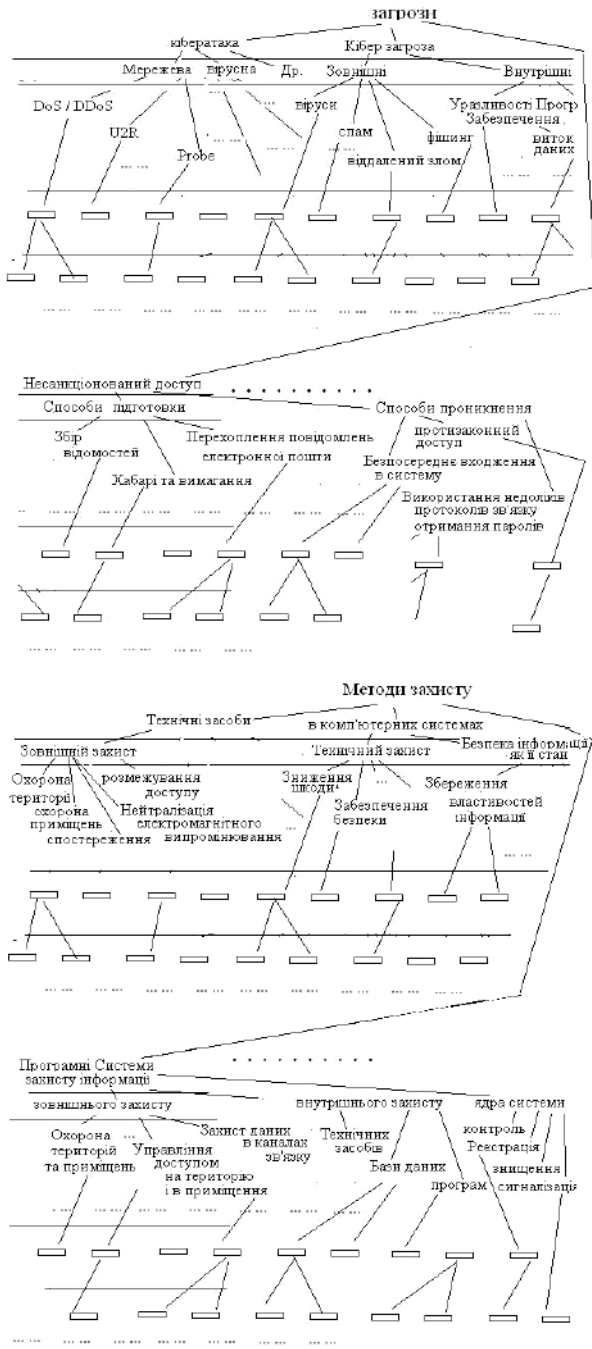


Рис. 4 – Фрагменти онтологій “Загрози” та “Заходи безпеки”

На рисунку такі зв'язки з'єднують поняття "віддалений злом", "виток даних", "перехоплення повідомлень електронної пошти", тощо з концептами "нейтралізація...", "зниження шкоди", "Збереження властивостей...", "захист даних в каналах...", "реєстрація", тощо.

Використання алгоритму планування заходів (рис. 3.) у даному прикладі допоможе підвищити ефективність рекомендацій та планування заходів щодо безпеки даних.

Як інший приклад наведемо планування випуску електронних курсів (ЕК) на основі моделі

прогнозування, що використовує онтографи "Соціальні аспекти регіону" і "Спеціальність Інформатика" (рис.6).

У фрагменті онтографу "Соціальні аспекти регіону" кожне поняття є областю громадської діяльності і відповідну їй потребу. Поняття включені в цей онтограф: "Медицина" (лікарні, реєстратура, система автоматизованого обліку хворих ...), "Освіта" (ВНЗ, кафедри, електронна освіта, школи, ...), "Відпочинок" (кінотеатри, театри, готелі ...), "Торгівля" (магазини, система безготівкового розрахунку, склади, оптові бази ...) ...

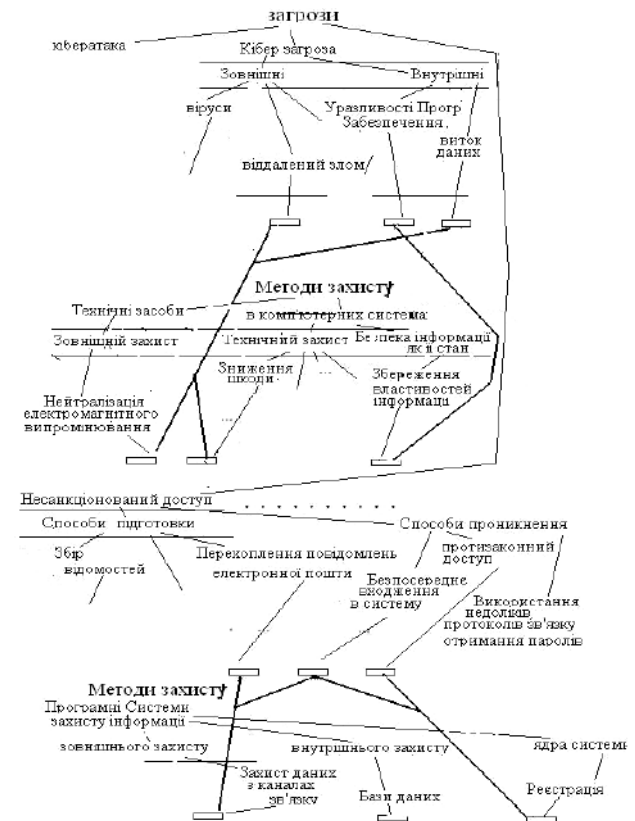


Рис. 5 – Фрагмент опису зв'язку понять онтологій “Загрози” та “Методи захисту”

У фрагменті онтографу "Спеціальність Інформатика" кожне поняття є дисципліною та складові її поняття, вивчення яких у ВНЗ може допомогти фахівцеві обслужити потреби з першого онтографу. Поняття включені в цей онтограф: "Математика" (диференціальні рівняння, алгебра ...), "Фізика" (механіка, електрика,...), "Інформатика" (БД, мережі, Java, АСУ і проектування ...), "англ.мова" (синтаксис, розмовна,).

Поняття онтографу "Соціальні аспекти регіону" (потреби суспільства) зв'язуються з тими поняттями 2-го онтографу, які можуть допомогти фахівцеві обслужити відповідні потреби. На рис. 4 такі зв'язки з'єднують поняття "система автоматизованого обліку хворих", "електронна освіта", "готелі", "склади" з поняттям БД. На рисунку 5 видно, що від концепту БД виходить більше зв'язків ніж з концепту алгебра.



Рис. 6 – Фрагмент опису зв'язку понять онтологій “Соціальні аспекти ...” та “Спеціальність Інформатика”

Використання алгоритму планування заходів (рис. 3.) у даному прикладі допоможе підвищити ефективність рекомендацій та планування випуску електронних курсів для забезпечення потреб регіону у фахівцях.

Висновки

Запропонований онтологічний підхід до опису зв'язків об'єктів, які потребують оперативного планування заходів, та опису цих заходів. Підхід відрізняється застосуванням КО, що забезпечують систематизацію концептів, врахування їх взаємозв'язку та дає можливість згрупувати і об'єднати всі необхідні дані для вирішення різних завдань, зокрема для створення інструментарію планування дій. Подібний підхід можна використовувати в різних галузях. В роботі наведені приклади застосування для планування заходів щодо захисту даних та планування випуску електронних курсів.

Список літератури

1. Шимко, О. В. Планування діяльності підприємства: навч. Посібник / О. В. Шимко, В. С. Рижиков, С. М. Грибова.-К.: Центр навчальної літератури, 2006.-296с.
2. Мінцберг, Г. Зліт і падіння стратегічного планування / Г. Мінцберг. – К.: Вид-во Олексія Капусти, 2008. - 412с.

3. Nuntawong, C. A Semantic Similarity Assessment Tool for Computer Science Subjects Using Extended Wu & Palmer's Algorithm and Ontology / C. Nuntawong, S. N. Chakkril, M. Brückner // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2015. – Vol. 339. – p. 989–996. – doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_118.
4. Lisi, F. A. Nonmonotonic onto-relational learning / F. A. Lisi, F. Esposito // *Chapter Inductive Logic Programming*. Lecture Notes in Computer Science, Springer. – 2009. – Vol. 5989. – p. 88–95. – doi: 10.1007/978-3-540-85928-4_15.
5. Šváb-Zamazal, O. Detection and Transformation of Ontology Patterns. / O. Šváb-Zamazal, V. Svátek, F. Scharffe, J. David // *Chapter Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. Communications in Computer and Information Science. – 2011. – Vol. 128. – p. 210–223. – doi:10.1007/978-3-642-19032-2_16.
6. Moon, B. M. Applied Concept mapping: Capturing, analyzing, and organizing knowledge [Электронный ресурс] / B. M. Moon, R. R. Hoffman, J. D. Novak, J. J. Cañas. – 2011. URL: http://planet.uwc.ac.za/nisl/ESS/ESS132/documents/ESS132_concept_map.pdf.
7. Starr, R. R. Concept maps as the first step in an ontology construction method / R. R. Starr, J. M. P. Oliveira // *Information Systems*. –2013. – vol. 38, № 5. – p.771-783. – doi: 10.1016/j.is.2012.05.010.
8. Эдоус, М. Методы принятия решений / М. Эдоус, Р. Стэнфорд. – М. : Изд-во ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
9. Nuntawong, C. A Semantic Similarity Assessment Tool for Computer Science Subjects Using Extended Wu & Palmer's Algorithm and Ontology / C. Nuntawong, S. N. Chakkril, M. Brückner // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2015. – Vol. 339. – p. 989–996. – doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_118.
10. Nuntawong, C. A Semantic Similarity Assessment Tool for Computer Science Subjects Using Extended Wu & Palmer's Algorithm and Ontology / C. Nuntawong, S. N. Chakkril, M. Brückner // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2015. – Vol. 339. – p. 989–996. – doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_118.
11. Šváb-Zamazal, O. Detection and Transformation of Ontology Patterns. / O. Šváb-Zamazal, V. Svátek, F. Scharffe, J. David // *Chapter Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. Communications in Computer and Information Science. – 2011. – Vol. 128. – p. 210–223. – doi:10.1007/978-3-642-19032-2_16.
12. Starr, R. R. Concept maps as the first step in an ontology construction method / R. R. Starr, J. M. P. Oliveira // *Information Systems*. –2013. – vol. 38, № 5. – p.771-783. – doi: 10.1016/j.is.2012.05.010.
13. Палагин, А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / А. В. Палагин, С. Л. Кривый, Н. Г. Петренко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012.– 323 с.
14. Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari A: WonderWeb Deliverable D18: Ontology Library (final). Tech rep, Laboratory for Applied Ontology – ISTC-CNR, Trento, Italy. 2003.
15. Poli, R. The Basic Problem of the Theory of Levels of Reality / R. Poli // *Axiomathes*. – 2001. – 12 (3–4). – P. 261-283. – doi: 10.1023/A:1015845217681.
16. Киселев, В. Д. Современные проблемы защиты в системах ее передачи и обработки / В. Д. Киселев, О. В. Есиков, А. С. Кислицын. – М.: Солид, 2000. – 200 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Shimko, O. V., Ryzhikov, V. S., Gribkova, S. M.** Planuvannya diyalnosti pidpriemstva [Planning of enterprise activity]: Posibnik. - K.: Centr navchalnoj Literaturi, 2006. – 296 p.
2. **Mintzberg, G.** Zlit and the fall of strategic planning [Rise and fall of strategic planning].- K.: View of Oleksiy Kapustov, 2008. – 412 p.
3. **Nuntawong, C., Chakkrit, S. N., Brückner, M.** A Semantic Similarity Assessment Tool for Computer Science Subjects Using Extended Wu & Palmer's Algorithm and Ontology. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2015, **339**, 989–996. – doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_118.
4. **Lisi, F. A., Esposito, F.** Nonmonotonic onto-relational learning. *Chapter Inductive Logic Programming*. Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2009, **5989**, 88–95. – doi: 10.1007/978-3-540-85928-4_15.
5. **Šváb-Zamazal, O., Svátek, V., Scharffe, F., David, J.** Detection and Transformation of Ontology Patterns. *Chapter Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. Communications in Computer and Information Science*, 2011, **128**, 210–223. – doi: 10.1007/978-3-642-19032-2_16.
6. **Moon B. M., Hoffman R. R., Novak J. D., Cañas J. J.** Applied Concept mapping: Capturing, analyzing, and organizing knowledge. 2011. Available at: http://planet.uwc.ac.za/nisl/ESS/ESS132/documents/ESS132_concept_map.pdf
7. **Starr, R. R., Oliveira, J. M. P.** Concept maps as the first step in an ontology construction method. *Information Systems*, 2013, **38**, № 5, 771-783. – doi: 10.1016/j.is.2012.05.010.
8. **Edous, M., Stenford, R.** Metodi prinyatiya resheniu [Methods of decision making]. – M.: UNITI, 1997, 590 c.
9. **Nuntawong, C., Chakkrit, S. N., Brückner, M.** A Semantic Similarity Assessment Tool for Computer Science Subjects Using Extended Wu & Palmer's Algorithm and Ontology. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2015, **339**, 989–996. – doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_118
10. **Lisi, F. A., Esposito, F.** Nonmonotonic onto-relational learning. *Chapter Inductive Logic Programming*. Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2009, **5989**, 88–95. – doi: 10.1007/978-3-540-85928-4_15
11. **Šváb-Zamazal, O., Svátek, V., Scharffe, F., David, J.** Detection and Transformation of Ontology Patterns. *Chapter Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management. Communications in Computer and Information Science*, 2011, **128**, 210–223. – doi: 10.1007/978-3-642-19032-2_16
12. **Starr, R. R., Oliveira, J. M. P.** Concept maps as the first step in an ontology construction method. *Information Systems*, 2013, **38**, № 5, 771-783. – doi: 10.1016/j.is.2012.05.010.
13. **Palagin, A. V., Kryvyi, S. L., Petrenko, N. G.** Ontological methods and means of processing subject knowledge [Ontological methods and means of processing subject knowledge]. Lugansk: VNU Publishing House. V. Dal, 2012. – 323p.
14. **Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari, A.** WonderWeb Deliverable D18: Ontology Library (final). Tech rep, Laboratory for Applied Ontology – ISTC-CNR, Trento, Italy. 2003.
15. **Polì, R.** The Basic Problem of the Theory of Levels of Reality. *Axiomathes*, 2001, **12** (3–4), 261-283. – doi: 10.1023/A:1015845217681.
16. **Kiselev, V. D., Yesikov, O. V., Kislicin, A. S.** Sovremennye problemi zashiti v sistemah ee peredachi i obrabotki [Modern problems of protection in its transmission and processing systems]. – M.: Solid, 2000. – 200 c.

Відомості про авторів (About authors)

Тихонов Юрій Леонідович – кандидат технічних наук, PH.D, доцент, ЛНУ ім. Тараса Шевченка, доцент кафедри ІТС, Старобільськ, Україна; e-mail: t2003i17@meta.ua.

Yuriy Tikhonov – Ph. D., Docent, LNU them. Taras Shevchenko, Associate Professor, ITS Department, Starobelsk, Ukraine; e-mail: t2003i17@meta.ua.

Ляхно Валерій Анатолійович – доктор технічних наук, Європейський університет, професор, завідувач кафедри організації комплексного захисту інформації, м. Київ, Україна; e-mail: lva964@gmail.com.

Valeriy Lakhno – Doctor of Technical Sciences, European University, professor, Head of the Department of Integrated Information Security, Kyiv, Ukraine; e-mail: lva964@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Тихонов, Ю. Л. Онтологічний підхід до оперативного планування / **Ю. Л. Тихонов, В. А. Ляхно** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 153-158. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.22.

Please cite this article as:

Tikhonov, Y., Lakhno, V. Ontological approach to operational planning. *Bulletin of NTU KhPI "Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 153-158, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.22.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Тихонов, Ю. Л. Онтологический подход к оперативному планированию / **Ю. Л. Тихонов, В. А. Ляхно** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 153-158. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.22.

АННОТАЦІЯ В даній роботі пропонується онтологізоване описання об'єктів, що потребують планування заходів. Це дозволяє сгрупувати та об'єднати всі необхідні дані в одному документі для рішення різних завдань, в тому числі для планування оперативних дій.

Ключові слова: онтологізоване описання; прогнозування; онтограф; екологічний паспорт; моніторинг; база знань.

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 389.14

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПЛАНА МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Р. С. ТОМАШЕВСКИЙ

кафедра промышленной и биомедицинской электроники, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА
E-mail: romiocat.khpi@gmail.com

АННОТАЦИЯ В работе проведено исследование влияния параметров плана на количество ожидаемой информации базовых моделей медико-биологических экспериментов. Приведены базовые модели планирования медико-биологических экспериментов, полученные на основе классической информационной теории. С использованием разложения Тейлора получены модели, позволяющие независимо оценивать влияние абсолютного и относительного изменения каждого из параметров плана на общее информационное содержание эксперимента. По результатам исследований получены количественные и качественные оценки каждого из параметров плана на количество ожидаемой информации для параметрической, компонент дисперсий и регрессионной моделей планирования эксперимента.

Ключевые слова: медико-биологический эксперимент; планирование эксперимента; параметрическая модель; регрессионная модель; модель компонент дисперсий; уровень значимости; параметр нецентральности; информационный анализ.

THE RESEARCH OF THE INFORMATION VALUE OF PARAMETERS OF THE PLAN OF THE MEDICAL-BIOLOGICAL EXPERIMENT

R. S. TOMASHEVSKIY

Department of Industrial and Biomedical Electronics, NTU "KhPI", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In the work the influence of plan parameters on the amount of expected information of basic models of medical and biological experiments was carried out. The necessity and formalization of the task of investigating the informational significance of the experimental parameters taking into account the statistical properties of biological objects was substantiated. The basic models of planning medical and biological experiments, obtained on the basis of the classical information theory, were given. With the use of the Taylor expansion, models have been obtained that make it possible independently to estimate the influence of the absolute and relative changes of each plan parameter on the general information content of the experiment. Based on the results of the research, quantitative and qualitative estimates of each of the plan parameters for the amount of expected information for the parametric, variance components and regression models of the experiment planning were obtained. As a result of the work, the information theory of measurements was developed for the planning of medical and biological measurement experiments, in which a functional relationship between the parameters of the experimental design and the expected amount of information was disclosed. A mathematical model of the effect of changes in the experimental plan parameters on changes in the expected amount of information has been developed, which made it possible to rank the parameters of the plan according to the degree of diminishing their influence on the amount of experimental information. Such a ranking makes it possible to correlate the values of the plan parameters with conditions of significant limitations on the volume of measurement results. The possibility of an optimal choice of an experiment design model (parametric or random model) is shown, using the expected amount of information as an objective function and an a priori known quantitative effects of factorial influence.

Key words: medicobiologic experiment; experiment planning; parametric model; regression model; model of variance components; significance level; noncentrality parameter; information analysis.

Введение

Проблема максимально представительного информационного обеспечения медико-биологического эксперимента, связана не только с повышением информационного содержания используемых измерительных сигналов, но и с разработкой статистически адекватных методов планирования подобных экспериментов, последующего анализа их результатов с учетом уровня априорной неопределенности вероятностных свойств биомедицинских информационных сигналов. Такая неопределенность превращает любой исследуемый биологический объект в объект диффузный (со сложно описываемой структурой и неопределенной организацией функционирования). Более того для таких объектов характерна усложненная динамика

изменения свойств на коротких интервалах времени, что эквивалентно усложнению модели многофакторного влияния на поведение объекта. Фактически активный мониторинг в условиях динамической неоднородности биологического объекта может быть рассмотрен как априори неполный эксперимент с ограничениями как на полноту первичной информации, так и на время наблюдения. К таким исследованиям могут быть отнесены: биохемиллюминисцентный анализ плазмы крови, активируемая колориметрия мочи, миография и электрокардиография под нагрузкой, электроэнцефалографические и кожногальванические исследования реакции на стимулирующие факторы (стресс-тесты) [1-3].

Планирование любых биомедицинских измерительных экспериментов всегда ограничено

использованием простейших моделей описательной статистики и параметрического одно- и двухфакторного статистического анализа [4-6]. При этом, учитывается только нормативно заданная вероятность ошибочных решений первого рода (уровень значимости), что накладывает, в свою очередь, ограничения на качество получаемой вторичной информации (в форме контрольно-диагностических решений) [4, 7-11].

Планирование медико-биологического эксперимента – это сложная многовариантная и многокритериальная задача, результативность которой зависит от выбора условий, обязательных к выполнению и обеспечивающих максимальную эффективность эксперимента, количественно оцениваемую в рамках заданных статистических требований [6, 9, 12-16]. Любой измерительный эксперимент с биологическими объектами проводится в условиях неустраимой неопределенности свойств таких объектов, поскольку большинство этих свойств определяются динамикой случайных процессов внутренних биохимических или биофизических изменений. Контроль и управление такими процессами практически невозможны, что переводит планирование подобных исследований на более сложный и высокий уровень, учитывающий факторную неоднородность [4, 15, 16].

Цель работы

Исследование информационной значимости параметров плана основных моделей медико-биологического эксперимента с учетом неопределенности вероятностных свойств биомедицинских информационных сигналов.

Базовые модели планирования медико-биологических экспериментов

В работе был проведен информационный анализ базовых моделей планирования медицинских измерительных экспериментов, используемых в медицинских исследованиях, и установлены закономерности между параметрами плана и количеством получаемой контрольно-

диагностической информации [7,9,17]. Проведенные исследования были направлены на решения двух базовых задач:

– разработка математических моделей количественного информационного содержания контрольно-диагностических решений для сравнительного анализа эффективности нормативных методов планирования биомедицинских экспериментов;

– разработка критерия эффективности планирования БМИ экспериментов на основе целевой функции, отражающей информационное содержание принимаемых решений.

В качестве объектов исследования были выбраны планы и математические модели односторонней классификации результатов БМИ эксперимента: параметрическая и случайная модели дисперсионного анализа одномерных измерений, регрессионная и ковариационная модели анализа двумерных измерений, параметрическая диагностическая модель дискриминантного анализа многомерных измерений [4, 9,14,18,19].

Использование классической информационной теории измерений позволило в работах [21, 22] определить информационное содержание любой из исследуемых моделей планирования эксперимента в виде разности исходной и остаточной энтропий для используемых критериальных *F*-статистик, как случайных величин с центральным и нецентральным *F*-распределениями Фишера [20]. Число степеней свободы этих статистик связано с параметрами исследуемых планов экспериментов. Показана возможность определения количества получаемой контрольно-диагностической информации по дисперсиям этих *F*-статистик с учетом рисков принимаемых решений, причем последние могут быть заданы на этапе планирования. Обеспечивая максимизацию получаемой информации. В таблице 1 представлены математические модели расчета контрольной и диагностической информации (в зависимости от выбора плана эксперимента) для базовых моделей планирования научных измерительных экспериментов.

Таблица 1 – Математические модели расчета контрольной и диагностической информации

Модель плана эксперимента	Информационное содержание <i>I</i> моделей, бит
Параметрическая модель. План эксперимента (<i>N, k, n, α</i>)	$I_{нар} = \frac{1}{2} \ln \left\{ 1 + \frac{1 + (1 + \lambda)^2 + (1 + \lambda) \left[\frac{k}{k-1} (n-1) - \frac{2}{k-1} \right]}{(N-k-4) \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \left[F_{xp} \left(\frac{N-k-2}{N-k} \right) - 1 \right]^2} \right\} \quad (1)$
Модель компонент дисперсий (случайная). План эксперимента (<i>N, k, n, α, β</i>)	$I_{свч} = \frac{1}{2} \ln \left\{ 1 + \frac{2(N-3)(N-k-2)^2(k-1) \left[\frac{2}{\lambda^2} + \frac{2}{\lambda(k-1)} + \frac{1}{(k-2)^2} \right]}{(N-k-4) \cdot (N-k)^2 [\alpha(1-\alpha) + \beta(1-\beta)]} \right\} \quad (2)$
Регрессионная модель. План эксперимента (<i>N, m, n, p, Δy, α</i>)	$I = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n \log \left\{ 1 + \frac{(y_{max} - y_{min})^2}{12 \left[\delta_{\beta}^2 (t_i - \bar{t})^2 + \delta_{\epsilon}^2 (p+1)^{-1} \right]} \cdot \left(\frac{N}{p+1} \right) \right\} \quad (3)$

В представленных моделях в качестве базовых параметров планов представлены: N – общее число всех измерений, k – количество групп измерений, n – число внутригрупповых измерений, α и β – риски принимаемых решений; λ – параметр нецентральности критериальной статистики, где Δy – диапазон измерений ($\Delta y = y_{max} - y_{min}$), q_0 и q_1 – априорные вероятности диагностируемых состояний; p – степень полинома регрессии; δ_{β}^2 – остаточная дисперсия регрессионной модели, δ_{ϵ}^2 – дисперсия случайных погрешностей измерения, t_i – отсчет времени, \bar{t} – матожидание временного отсчета.

Выбор математической модели информационного влияния

Будем рассматривать любое из уравнений (1), (2), (3), определяющих зависимость количества ожидаемой экспериментальной информации от параметров плана эксперимента как общую функцию вида:

$$I = F(Q_1; Q_2; \dots; Q_L) \quad (4)$$

в которой I – количество ожидаемой информации а Q_j – параметр плана контроля

$$j = \overline{1, L}. \quad (5)$$

При любом виде зависимости функции I от аргументов $Q_1 \dots Q_L$ можно воспользоваться методом разложением функции I в ряд Тейлора в окрестностях некоторой рабочей точки, определяемой средними значениями \hat{Q} параметров плана эксперимента. Обозначим как \hat{I} количество информации, вычисленной по этим средним значениям параметров плана. Тогда связь между приращением δ_I количества информации и приращениями параметров $\delta_1 \dots \delta_L$ определяется уравнением

$$\hat{I} - \delta_I = F[(\hat{Q}_1 - \delta_1), (\hat{Q}_2 - \delta_2), \dots, (\hat{Q}_L - \delta_L)], \quad (6)$$

где $\delta_I = \hat{I} - I$ отклонение количества информации от среднего значения \hat{I} , обусловленное неопределенностью условий, обеспечивающих статистическую однородность эксперимента. Такая однородность зависит от методически правильного учета априори неопределенных свойств объекта исследования. Если отклонение δ_I рассматривать как усреднение всех возможных априори задаваемых отклонений от нормативного среднего значения, причем усреднение проводится по множеству независимых экспериментов, то данное отклонение можно считать случайной величиной.

$$\frac{\delta_j}{Q_j} \ll 1 \quad (7)$$

В связи с этим уравнения (6) можно разложить в L – мерный ряд Тейлора по степеням случайных отклонений $\delta_1 \dots \delta_L$ параметров плана эксперимента. [18]

$$\hat{I} - \delta_I = F(\hat{Q}_1; \hat{Q}_2; \dots; \hat{Q}_L) - \sum_{i=1}^L \left(\frac{\partial F}{\partial Q_i} \right) \delta_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^L \left(\frac{\partial^2 F}{\partial Q_i \cdot \partial Q_j} \right) \delta_i \delta_j. \quad (8)$$

Рассматривая отклонения параметров плана эксперимента как случайные величины, определим дисперсию отклонения ΔI как σ_I^2 следующим уравнением

$$\sigma_I^2 = \sum_{j=1}^L \left(\frac{\partial F}{\partial Q_j} \right)^2 \sigma_{\hat{Q}_j}^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^L \left(\frac{\partial F}{\partial Q_i} \right) \left(\frac{\partial F}{\partial Q_j} \right) \rho_{ij} \sigma_{\hat{Q}_i} \sigma_{\hat{Q}_j}, \quad (9)$$

где ρ_{ij} – коэффициент корреляции между отклонениями δ_i и δ_j

Производные $\partial F / \partial Q_j = K_j$, $j = \overline{1, L}$ можно рассматривать как коэффициенты влияния, характеризующих степень влияния изменения параметра Q_j плана на изменение количества ожидаемой информации I .

Окончательное выражение для математической модели информационного влияния параметров Q_j на функцию I будет иметь вид

$$\sigma_I^2 = \sqrt{(K_j \cdot \sigma_{\hat{Q}_j})^2 + A_{\epsilon}}, \quad (10)$$

где A_{ϵ} – остаточный член ряда Тейлора.

Так как остаточный член A_{ϵ} зависит от коэффициентов взаимной парной корреляции ρ_{ij} между параметрами плана контроля, то при независимом выборе последних эти коэффициенты автоматически обращаются в ноль, что обеспечивает условие $A_{\epsilon} = 0$. Тогда:

$$\sigma_I = \sqrt{\sum_{j=1}^L \left(\frac{\partial F}{\partial \hat{Q}_j} \cdot \sigma_{\hat{Q}_j} \right)^2}, \quad (11)$$

что исключает влияние остаточного члена на величину дисперсии σ_I^2 .

Переходя от дисперсий к абсолютным случайным отклонениям $(\Delta_I, \Delta_j, j = \overline{1, L})$ (например к среднеквадратичным отклонениям $(\Delta_I = \sigma_I, \Delta_j = \sigma_j)$) а затем к относительным отклонениям.

$$\begin{cases} \gamma_I = \frac{\Delta I}{I} \\ \gamma_j = \frac{\Delta_j}{Q_j} \end{cases} \quad (12)$$

Получим общие выражения для абсолютных и относительных изменений ожидаемого количества экспериментальной информации, зависящих от абсолютных или относительных изменений параметров плана контроля

$$\Delta_I = \sqrt{\sum_{j=1}^L (K_j \cdot \Delta_j)^2}, \quad (13)$$

$$\gamma_I = \sqrt{\sum_{j=1}^L \left(\frac{1}{I} \cdot K_j \cdot \Delta_j\right)^2}. \quad (14)$$

Использование последних выражений может быть проведено одновременно для всех параметров плана контроля $(\Delta_j \neq 0 \text{ для всех } j = \overline{1, L})$ или конкретно для выделенного параметра $\Delta_K (\Delta_K \neq 0, \Delta_j = 0, j \neq K)$.

Результаты исследования

Анализ выражений (1-3) позволяет оценить качественное и количественное влияние параметров плана эксперимента на ожидаемое количество информации. Было проведено исследование моделей с упрощенными, с точки зрения аддитивности вычислительных процедур, параметрами.

Результаты исследования при трех (10%, 20%, 30%) относительных изменениях значений параметров плана приведены на рисунках 1 и 2.

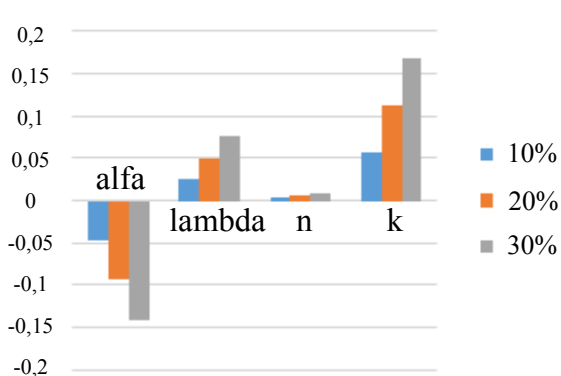


Рис.1 – Относительное влияние параметров плана на информационное содержание параметрической модели $(n = 100; k = 10; \alpha = 0,05; \lambda = 1)$

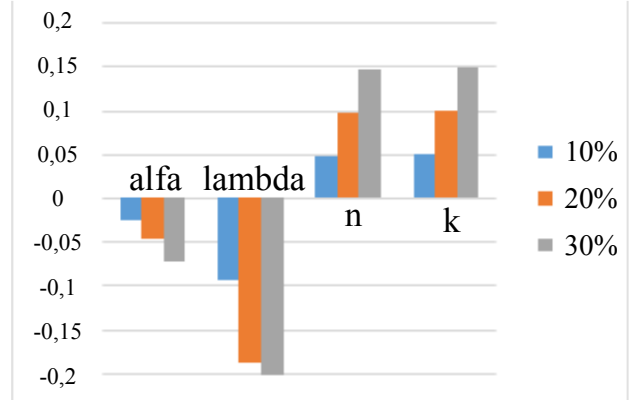


Рис. 2 – Относительное влияние параметров плана на информационное содержание модели компонент дисперсий (случайной) $(n = 100; k = 10; \alpha = 0,05; \lambda = 1)$

По результатам исследования параметрического влияния на дискретные модели планирования можно сделать следующие выводы:

а) Повышение количества информации для параметрической модели обеспечивается с ростом k, λ и n в порядке степени влияния, а для α – уменьшается.

б) Повышение количества информации для случайной модели можно обеспечить если увеличивать число групп k и уменьшать риски α и β , что полностью соответствует выводам классического дисперсионного анализа.

в) Кроме того, увеличение количества информации соответствует уменьшению параметра нецентральности λ , что указывает на большую эффективность использования случайной модели, по сравнению с параметрической, при слабых изменениях уровней влияющего фактора.

Последний вывод позволяет рассматривать любую задачу планирования эксперимента в условиях априорной неопределенности эффектов факторного влияния как задачу, включающую элемент оптимизации по параметру нецентральности λ . Целевая функция оптимизации может быть представлена модулем разности количества информации, получаемой по двум планам эксперимента.

Графическую интерпретацию зависимости $I=f(\lambda)$ для параметрической и случайной модели имеет смысл преобразовать в целевую функцию Ψ выбора плана эксперимента:

$$\Psi = |I^{(1)} - I^{(2)}|. \quad (15)$$

На рис. 3 представлена зависимость целевой функции от параметра нецентральности λ . Нулевое значение целевой функции позволяет разделить числовую ось для параметра λ на две части: левая соответствует условию применения в эксперименте случайной модели факторного влияния, а правая – условию применения параметрической.

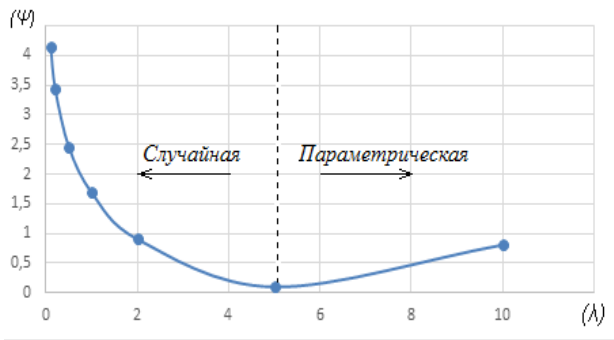


Рис. 3 – Типичная зависимость целевой функции выбора модели плана эксперимента для результатов численного моделирования информационных моделей

Рисунок отражает общую закономерность изменения предлагаемой целевой функции Ψ (15) для локального примера математического моделирования. Для конкретных условий факторного влияния такая модель всегда позволит получить глобальный экстремум целевой функции ($\Psi=0$) при использовании фиксированных значений планов эксперимента.

Проведем исследование параметрического влияния регрессионной модели планирования. Упростим, без потери базовых свойств правую часть выражения (3), считая что $\Delta y = y_{\max} - y_{\min}$

$$I = \frac{1}{2} \cdot (m+1) \cdot n \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\Delta_y^2 \Delta G}{12 \cdot [\sigma_\beta^2 (t_i - \bar{t}) \cdot (p+1) + \sigma_\epsilon^2]} \right\}. \quad (16)$$

Обозначим коэффициенты влияния $K_j, j = \overline{1,4}$ соответственно через K определим эти коэффициенты по выражению:

$$K_m = \frac{\partial I}{\partial m}; \quad K_G = \frac{\partial I}{\partial G}; \quad K_p = \frac{\partial I}{\partial p}. \quad (17)$$

$$\Delta I = \sqrt{(K_m \cdot \Delta_m)^2 + (K_n \cdot \Delta_n)^2 + (K_G \cdot \Delta_G)^2 + (K_p \cdot \Delta_p)^2} \quad (18)$$

Для простоты анализа пронормируем относительные изменения параметров плана Q_j и функциональных переменных, отвечающих за метрологическое обеспечение результатов измерения:

$$а) \gamma_j = \frac{\Delta_j}{Q_j} = h;$$

$$б) \Delta y = \sigma_\beta^2 (t_i - \bar{t}) = \sigma_\epsilon^2 = const = 1.$$

Такое упрощение не изменяет качественное содержание информационного анализа, который может быть проведен по уравнению

$$\gamma_I = h \sqrt{K_m^2 + K_n^2 + K_G^2 + K_p^2}. \quad (19)$$

Исследуем влияние изменений параметров плана эксперимента на получаемое количество информации, задавая их одинаковое относительное изменение $h=0.2$ для объема общего числа измерений $N = G \cdot (m+1) \cdot n$:

Рассчитаем приращения ΔI_j информации, обусловленное изменением параметра Q_j для всех $j = \overline{1,4}$, используя уравнение

$$\Delta I_j = K_j * \Delta_j. \quad (20)$$

Уравнение (20) определяет слагаемые подкоренного выражения правой части уравнения (18), если ($\Delta_1 = \Delta_m, \Delta_2 = \Delta_n, \Delta_3 = \Delta_G, \Delta_4 = \Delta_p$).

По результатам исследования модели (3) были рассчитаны коэффициенты влияния параметров плана (для трех относительных приращений значений параметров плана 10%, 20%, и 30%) и информационный вклад параметров плана эксперимента. Результаты приведены на рисунке 4.

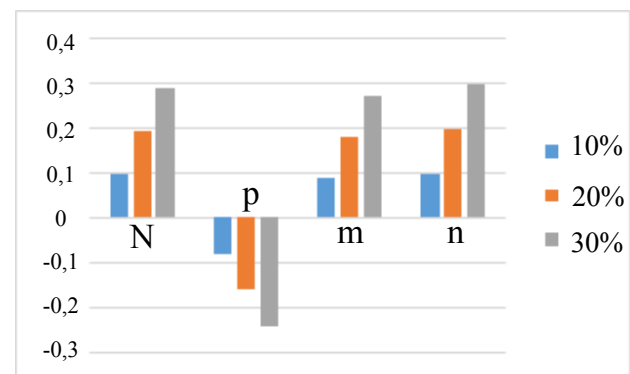


Рис. 4 – Относительное влияние параметров плана на информационное содержание модели ($n=100; m=10; p=10; N=10$)

По результатам исследования параметрического влияния на регрессионную модель планирования можно сделать следующий вывод: повышение количества информации для регрессионной модели обеспечивается с ростом n, N и m в порядке степени влияния, а для p – уменьшается.

Выводы

Получила развитие информационная теория измерений для задач планирования медико-биологических измерительных экспериментов, в которых раскрыта функциональная связь между параметрами плана эксперимента и ожидаемым количеством информации (1,2,3). Главным преимуществом получения этой информации является возможность использования априорных сведений, относительно математических моделей факторного

влияния (прогрессирующее, скачкообразное детерминированное, скачкообразное случайное, количественное, качественное), с учетом задаваемых рисков статистических решений (тестирование на значимость, альтернативное тестирование).

Впервые разработана математическая модель влияния изменений параметров плана эксперимента на изменения ожидаемого количества информации, что позволило проводить ранжирование параметров плана по степени уменьшения их влияния на количество экспериментальной информации. Такое ранжирование дает возможность коррекции значений параметров плана в условиях существенных ограничений на объемы результатов измерения.

Впервые показана возможность оптимального выбора модели плана эксперимента (параметрическая или случайная модель) с использованием в качестве целевой функции оптимизации ожидаемого количества информации и априори известных количественных эффектов факторного влияния.

Список литературы

1. **Shalaby, R.** Amplifier design for EMG recording from stimulation electrodes during functional electrical stimulation leg cycling ergometry / **R. Shalaby, T. Schauer, W. Liedecke and J. Raisch** // *Biomed Tech.* – 2011. – 56. – P. 23–33.
2. Новый способ диагностики состояния клеток человека с помощью электрохимических биосенсоров / **В.Н. Ослопов, Ю.В. Ослопова, Д.В. Сайфуллина, Т.И. Абдуллин и др.** // *Вестник современной клинической медицины* – 2012. – 5, вып. 3ю – С.12 – 15.
3. **Wach, C.** Effects of 10 Hz and 20 Hz transcranial alternating current stimulation (tACS) on motor functions and motor cortical excitability / **C. Wach, V. Krause, V. Moliadze et al.** // *Behav Brain Res.* – 2013. – 241. – 1-6.
4. **Hastie, T.** Generalized additive models for medical research / **T. Hastie, R. Tibshirani.** - Stat Methods Med Res, 1995. - pp. 187-196.
5. **Strode, P.** Using BioInteractive Resources to Teach. Mathematics and Statistics in Biology / **P. Strode, A. Brokaw.** - 2015. - 39 p.
6. **Гланц, С.** Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. / **С. Гланц.** – М., Практика, 1998. – 459 с.
7. **Шеламова, М. А.** Статистический анализ медико-биологических данных с использованием программы Excel: учеб. метод. пособие / **М. А. Шеламова, Н. И. Инсарова, В. Г. Лещенко.** – Минск: БГМУ, 2010. – 96 с.
8. **Юнкеров, В. И.** Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / **В. И. Юнкеров, С. Г. Григорьев.** - СПб.: ВМЕДА, 2002. - 266 с.
9. **Платонов, А. Е.** Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерні методи / **А. Е. Платонов.** - М.: Издательство РАМН, 2000. - 52 с.
10. Методы статистической обработки медицинских данных: Методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников / **А. Г. Кочетов, О. В. Лянг, В. П. Масенко, И. В. Жиров и др.** – М.: РКНПК, 2012. – 42 с.
11. **Новиков, Д. А.** Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи) / **Д. А. Новиков, В. В. Новочадов.** - Волгоград, 2005. – 84 с.
12. **Amar-Sing, H. S. S.** The medical research handbook. Planning a Research project. / **H. S. S. Amar-Sing, A. B. Azman, S. Sondi.** - Kuala Lumpur, 2008.
13. **Tsanas, A.** A methodology for the analysis of medical data / **A. Tsanas, M. A. Little, P. E. McSharry.** - Handbook of Systems and Complexity in Health, Springer, New York, 2013. - pp. 113-125.
14. **Simera, I.** Introduction to medical research: Essential skills / **I. Simera** // *Khoury, Genet Med.* – 2007. – 9 (10). – 665-674.
15. **Rockville, R.** Methods Guide for Medical Test Reviews. / **R. Rockville.** - Agency for Healthcare Research and Quality, 2010.- 168 p.
16. **Donnelly-Jr, R. A.** Statistics / **Robert A. Donnelly-Jr.** trans. From Eng N.A. Voronin. - Moscow: Astrel: AST, 2007. - XIV, 367.
17. **Rencher, A. C.** Linear models in statistics / **A. C. Rencher, G. B. Schaalje.** Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: - 2nd ed. – 1934.
18. **Korolyuk, V. S.** A Guide to Probability Theory and Mathematical Statistics / **V. S. Korolyuk, N. I. Portenko, A. V. Skorokhod, A. F. Turbine.** - Moscow: Nauka Home edition of physics and mathematics, 1985. - 640 p.
19. **Eisenhart, C.** Biometrics the assumptions underlying the analysis of variance / **C. Eisenhart.** - University of Wisconsin and the National Bureau of Standards, 1947. – 21 p.
20. **Shannon, K.** Works on the theory of information and cybernetics. / [Foreign Literature Publishing House. Translation from English, edited by **R.L. Dobrushina, O.B. Lupanov** with a foreword by **A.N. Kolmogorov**]. - Moscow, 1963. - 829 p.
21. **Щапов, П. Ф.** Информационный анализ регрессионной модели факторного планирования медико-биологического эксперимента / **П. Ф. Щапов, Р. С. Томашевский, Е. В. Зольтман** // *Украинский метрологический журнал.* – 2017. – с. 58-62.
22. **Томашевский, Р. С.** Информационный анализ моделей планирования медико-биологического эксперимента при контроле дискретных изменений уровней влияющего фактора / **Р. С. Томашевский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – No. 53 (1274). – С. 45-52. – doi:10.20998/2413- 4295.2017.53.07.

Bibliography (transliterated)

1. **Shalaby, R., Schauer, T., Liedecke, W. and Raisch J.** Amplifier design for EMG recording from stimulation electrodes during functional electrical stimulation leg cycling ergometry. *Biomed Tech*, 2011, **56**, 23–33.
2. **Osloпов, V. N., Osloповa, Yu. V., Sayfullina, D. V., Abdullin, T. I. et al.** Novyyiy sposob diagnostiki sostoyaniya kletok cheloveka s pomoschyu elektrohimicheskikh biosensorov. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny* 2012, **5**, 3, 12 – 15.
3. **Wach, C., Krause, V., Moliadze, V., Paulus, et. al.** Effects of 10 Hz and 20 Hz transcranial alternating current stimulation (tACS) on motor functions and motor cortical excitability. *Behav Brain Res*, 2013, **241**, 1-6.
4. **Hastie, T., Tibshirani, R.** Generalized additive models for medical research. - Stat Methods Med Res, 1995. - 187-196.
5. **Strode, P., Brokaw, A.** Using BioInteractive Resources to Teach. Mathematics and Statistics in Biology, 2015, 39 p.

6. **Glants, S.** Mediko-biologicheskaya statistika. Per. s angl. – M., Praktika, 1998. – 459 s.
7. **Shelamova, M. A., Insarova, N. I., Leschenko, V. G.** Statisticheskiy analiz mediko-biologicheskikh dannykh s ispolzovaniem programmy Excel: ucheb. metod. posobie. – Minsk: BGMU, 2010. – 96 s.
8. **Yunkerov, V. I., Grigorev, S. G.** Matematiko-statisticheskaya obra-botak dannih meditsinskih issledovaniy. - Spb.: VMedA, 2002. - 266 s.
9. **Platonov, A. E.** Statisticheskiy analiz v meditsine i biologii: zadachi, terminologiya, logika, komp'yuterni metody. - M.: Izdatelstvo RAMN, 2000. - 52 s.
10. **Kochetov, A. G., Lyang, O. V., Masenko, V. P., Zhirov, I. V. et al.** Metody statisticheskoy obrabotki meditsinskih dannykh: Metodicheskie rekomendatsii dlya ordinatorov i aspirantov meditsinskih uchebnykh zavedeniy, nauchnykh rabot-nikov.– M.: RKNPK, 2012. – 42 s.
11. **Novikov, D. A., Novochadov, V. V.** Statisticheskie metody v mediko-biologicheskom eksperimente (tipovyye sluchai). - Volgograd, 2005. – 84 s.
12. **Amar-Sing, H. S. S., Azman, A. B., Sonni, S.** The medical research handbook. Planning a Research project. - Kuala Lumpur, 2008.
13. **Tsanis, A., Little, M. A., McSharry, P. E.** A methodology for the analysis of medical data. - Handbook of Systems and Complexity in Health, Springer, New York, 2013, 113-125.
14. **Simera, I.** Introduction to medical research: Essential skills. *Khoury, Genet Med*, 2007, **9** (10), 665-674.
15. **Rockville, R.** Methods Guide for Medical Test Reviews. - Agency for Healthcare Research and Quality, 2010. - 168 p.
16. **Donnelly-Jr, R. A.** Statistics. trans. From Eng N.A. Voronin. - Moscow: Astrel: AST, 2007. - XIV, 367.
17. **Rencher, A. C., Schaalje, G. B.** Linear models in statistics. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: - 2nd ed. – 1934.
18. **Korolyuk, V. S., Portenko, N. I., Skorokhod, A. V., Turbine, A. F.** A Guide to Probability Theory and Mathematical Statistics. - Moscow: Nauka Home edition of physics and mathematics, 1985. - 640 p.
19. **Eisenhart, C.** Biometrics vol. 3 №1. the assumptions underlying the analysis of variance. - University of Wisconsin and the National Bureau of Standards, 1947. – 21 p.
20. **Shannon, K.** Works on the theory of information and cybernetics. Foreign Literature Publishing House. Translation from English, edited by R.L. Dobrushina, O.B. Lupanov with a foreword by A.N. Kolmogorov. - Moscow, 1963. - 829 p.
21. **Schapov, P. F., Tomashevskiy, R. S., Zoltman, E. V.** Informatsionnyy analiz regression-noy modeli faktornogo planirovaniya mediko-biologicheskogo eksperimenta. *Ukrainskiy metrologicheskii zhurnal*, 2017, 58-62.
22. **Tomashevskiy, R. S.** Informatsionnyy analiz mo-deley planirovaniya mediko-biologicheskogo eksperimenta pri kontrole diskretnykh izmeneniy urovney vliyayushchego faktora. *Vestnik NTU «HPI», Se-riya: Novyye resheniya v sovremennykh tekhnologiyah.* – Harkov: NTU «HPI», 2017, **53** (1274), 45-52. – doi:10.20998/2413- 4295.2017.53.07.

Сведения об авторах (About authors)

Томашевский Роман Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники г. Харьков, Украина; e-mail: romiocat.khpi@gmail.com.

Roman Tomashevsky - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Associate Professor of the Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkov, Ukraine; e-mail: romiocat.khpi@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Томашевский, Р. С. Исследование информационной значимости параметров плана медико-биологического эксперимента / **Р. С. Томашевский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 159-165. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.23.

Please cite this article as:

Tomashevsky, R. S. Research of the information significance of the parameters of the medical-biological experiment plan. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 159-165, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.23.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Томашевський, Р. С. Дослідження інформаційної значущості параметрів плану медико-біологічного експерименту / **Р. С. Томашівський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 9 (1285). – С. 159-165. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.23.

АНОТАЦІЯ У роботі проведено дослідження впливу параметрів плану на кількість очікуваної інформації базових моделей медико-біологічних експериментів. Наведено базові моделі планування медико-біологічних експериментів, отримані на основі класичної інформаційної теорії. З використанням розкладання Тейлора отримані моделі, що дозволяють незалежно оцінювати вплив абсолютної і відносної зміни кожного з параметрів плану на загальний інформаційний зміст експерименту. За результатами досліджень отримано кількісні та якісні оцінки кожного з параметрів плану на кількість очікуваної інформації для параметричної, компонент дисперсії і регресійної моделі планування експерименту.

Ключові слова: Медико-біологічний експеримент; планування експерименту; параметрична модель; регресійна модель; модель компонент дисперсії; рівень значущості; параметр нецентральності; інформаційний аналіз.

Поступила (received) 02.03.2018

УДК 621.391.7

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.24

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ СПОТВОРЕНЬ ВЕКТОРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВНАСЛІДОК ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

Г. М. ЮДИНА*

Кафедра менеджменту та безпеки інформаційних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА

*e-mail: ann.m.yudina@gmail.com

АНОТАЦІЯ Аналіз існуючих методів вбудовування цифрових водяних знаків (ЦВЗ) показує, що для більшості з них, актуальною є проблема погіршення якості зображення в яке вбудовується ЦВЗ. При відображенні реальних об'єктів в масштабі (архітектурних споруд, географічних карт тощо), ця проблема є особливо актуальною, адже значна зміна координат точок може суттєво погіршити якість інформації про існуючі об'єкти чи вплинути на їх створення. Виходячи з цього в роботі проаналізовані переваги та недоліки існуючих методів вбудовування ЦВЗ в векторні зображення та оптимізується один з відомих методів за рахунок зменшення спотворення зображення-контейнера.

Ключові слова: цифрові водяні знаки; зображення-контейнер; якість зображення; векторні зображення.

DECREASING THE SPOTLIGHTS LEVEL OF VECTOR IMAGES AFTER INSTALLATION DIGITAL WATERMARKS

A. YUDINA

Department of Management and Security of Information Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, UKRAINE

ABSTRACT Today, steganographic methods are widely used to solve the following tasks: protecting confidential (official) information from unauthorized access; protection of copyright in intellectual property. The most widely used are methods of concealing information used as an image container, in particular a vector. This is due to the following reasons: relatively large amount of digital representation of images; lack of restrictions imposed by real-time requirements; the presence in most real images of areas of textures that have a noise structure and correspond to the embedding of information; the necessity of protecting photographs, pictures, videos from illegal copying and distribution.

In the world there is an incredible number of projects, including advertising, design, website design and presentations, architectural design drawings, geographic maps, etc. The risk associated with the use of images from the Internet is enormous. However, given the high degree of anonymity, the ease of dissemination of information, a significant audience, there is a problem of copyright protection of electronic documents.

For their protection, steganographic methods of embedding digital watermarks are used. An analysis of existing methods shows that for most of them, the problem of impairment of image quality in the embedded DVB is relevant. When displaying real objects on a scale (architectural structures, geographic maps, etc.), this problem is especially relevant, since a significant change in the coordinates of the points can significantly impair the quality of information about existing objects or affect their creation. Therefore, the method optimizes the method of embedding the central digital output vector in the vector image, by reducing the distortion of the image-container.

Keywords: digital watermarks; container image; image quality; vector images.

Вступ

Проведений аналіз показав, що для захисту авторського права векторних зображень перспективними є методи, які не потребують для витягування ЦВЗ оригіналу зображення чи самого ЦВЗ, і при цьому аналіз показав, що ті методи, які використовують математичні перетворення, мають більші можливості при вбудовуванні ЦВЗ у векторні зображення щодо зменшення рівня спотворень і вирішення поставленої задачі [1-4].

В роботі наведені такі основні перетворення, серед яких найбільшого використання отримали частотні. Частотні перетворення дозволяють виділяти в зображенні значущі та менш значущі компоненти, в які можна вбудовувати біти ЦВЗ без значного погіршення якості зображення. При використанні

частотних перетворень для векторних зображень, що є набором координат точок, зображення представляються у вигляді коефіцієнтів, що відображають значення частоти зустрічаємості цих координат. В цьому випадку біти ЦВЗ вбудовуються шляхом зміни значень коефіцієнтів, після чого зображення перетворюється у векторний формат [5]. Зміна коефіцієнтів призводить до різного впливу на значення координат точок. Крім того, зміна одного коефіцієнта може впливати на розміщення цілої групи точок, що дозволяє розподілити спотворення на всі точки. Також вбудовування бітів ЦВЗ у область частотного перетворення дозволяє підвищити стійкість векторних зображень до деяких типів зловмисних атак, наприклад, до внесення шуму.

Виникає задача вибору певного частотного перетворення для методу відкритої стеганосистеми

вбудовування ЦВЗ у векторні зображення. До математичного перетворення взагалі можна виділити низку вимог.

1. Перетворення повинно бути повністю зворотним для заданої точності представлення даних.

2. Використання перетворення для представлення зображення в певному вигляді повинно забезпечувати кращу стійкість ЦВЗ до навмисних атак, ніж методи, що вбудовують в просторову область зображення.

3. Зміна значень, якими представлено зображення в певному вигляді за допомогою перетворення, якомога менше впливала б на значення координат точок, і відповідно на структурний зміст та точність зображення.

До основних частотних перетворень, на яких базуються існуючі методи, що вбудовують ЦВЗ в область перетворення, відносяться: дискретне перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення, перетворення Лапласа, дискретне косинус-перетворення.

Основна ідея методів, що базуються на частотних перетвореннях, полягає у використанні факту високої кореляції між сусідніми точками в межах полігонів чи поліліній, які формують векторне зображення. У цьому зв'язку ДКП показує високу ефективність в ущільненні енергії високочорельованих даних. В результаті ДКП просторовий сигнал перетворюється в постійну складову (DC-коефіцієнт), що представляє середнє зважене значення сигналу і змінні компоненти (AC-коефіцієнти), які представляють гармоніки сигналу. Для високочорельованих даних, чим вища частота, тим менша амплітуда коефіцієнта в плані статистичної характеристики. Зміна одного з високочастотних коефіцієнтів вплине на усі точки вибраного блоку, що дозволить в деякій мірі зберегти кореляцію між ними. ДКП також дає додаткову перевагу щодо можливості аналізу блоків зображення на придатність до вбудовування з точки зору мінімального впливу на значення координат точок зображення. Виходячи з цього, оберемо ДКП як базове перетворення для вирішення поставленої задачі – зменшення впливу вбудованого ЦВЗ на якість зображення.

Мета роботи

Метою роботи є вдосконалення стеганографічного методу вбудовування ЦВЗ в векторні зображення, за рахунок збільшення кількості коефіцієнтів дискретно-косинусного перетворення.

Виклад основного матеріалу

У роботі [6-9] запропоновано метод вбудовування ЦВЗ у двовимірні векторні карти на базі одновимірного ДКП і дозволяє витягувати ЦВЗ без додаткової інформації.

Згідно з методом векторне зображення перетворюється в частотний вигляд за допомогою одновимірного ДКП, яке може бути представлене в такому вигляді:

$$F(u) = \frac{c(u)}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} C(x) \cos \left[\frac{\pi \cdot v \cdot (2x+1)}{2N} \right]; \quad (1)$$

в результаті чого отримують матриці 8×8 коефіцієнтів ДКП, які часто позначають $F(v)$, а $C(v)$ – позиція коефіцієнта в цьому блоці.

Кожен блок при цьому призначений для приховування одного біта даних [10]. Для проведення ДКП масив координат точок розбивається на одновимірні масиви по 8 елементів. При одновимірному ДКП зміна одного коефіцієнта впливає на всі коефіцієнти та розподіляється на всі 8 значень координат точок. Для зменшення сумарної похибки відхилення координат точок від оригіналу можна використати перетворення для більших масивів точок. Тоді результатом буде зміна більшої кількості змінених значень координат, проте з меншими відхиленнями відносно оригіналу, що приведе до менших спотворень зображення.

Особливістю одновимірного ДКП є те, що базисом для нього є 8 векторів, кожен з яких формується із 8 значень функції косинуса. Виходячи з цього, збільшення кількості точок будемо розглядати не для одновимірного ДКП, а для ДКП іншого виміру.

В зв'язку з цим пропонуємо використання двовимірного ДКП для забезпечення меншого впливу ЦВЗ на якість зображення. ДКП візьмемо розміром 8×8 . Двовимірне ДКП для матриці розміром 8×8 , по суті, являє собою 8 одновимірних ДКП, які проводяться спочатку для рядків матриць, а потім для її стовпців. При використанні двовимірного ДКП зміна коефіцієнта розподіляється на 64 елементи, а не на 8, як при одновимірному, що забезпечить менший вплив вбудованого ЦВЗ на значення координат точок, а відповідно і на якість зображення.

Аналіз методу [11-13] показує, що на якість зображення при вбудовуванні ЦВЗ також впливає і те, яким чином змінюються коефіцієнти ДКП.

При цьому виникає проблема того, що можливі випадки, коли зміна коефіцієнта таким чином може призвести до суттєвих змін координат точок. Суть проблеми полягає в тому, що більшість реальних зображень характеризуються більшими значеннями низькочастотних (НЧ) та середньочастотних (СЧ) коефіцієнтів, ніж високочастотних (ВЧ). Тому можливі випадки, коли цей коефіцієнт буде збільшений на значення, більше за власне. Це, в свою чергу, приведе до значного погіршення якості векторного зображення, що недопустимо для деяких видів карт.

Враховуючи це, зміну значень необхідно здійснювати таким чином, щоб вплив ЦВЗ на якість зображення був мінімальним при забезпеченні чіткого

розпізнавання бітів ЦВЗ. Для цього пропонується використовувати не один, а декілька коефіцієнтів для порівняння, та такі умови вбудовування бітів ЦВЗ, що дозволять змінювати коефіцієнт на невелике значення порівняно з його власним.

Розглянемо векторне зображення (рис.1) у вигляді одновимірного масиву V , в якому елементами є точки векторного зображення V_l , де $l = 1..N$, N – кількість точок в масиві. $V_l = (X_l, Y_l)$, де X_l, Y_l – значення координат точки V_l векторного зображення. Далі сформуємо матриці розміром 8×8 (тобто розмірність матриці $n=8$) з кожних 64 координат точок масиву V , та позначимо їх як $C_i(x,y)$, де $i = 1..t$, t – кількість сформованих матриць, x, y – позиції координат в цій матриці.

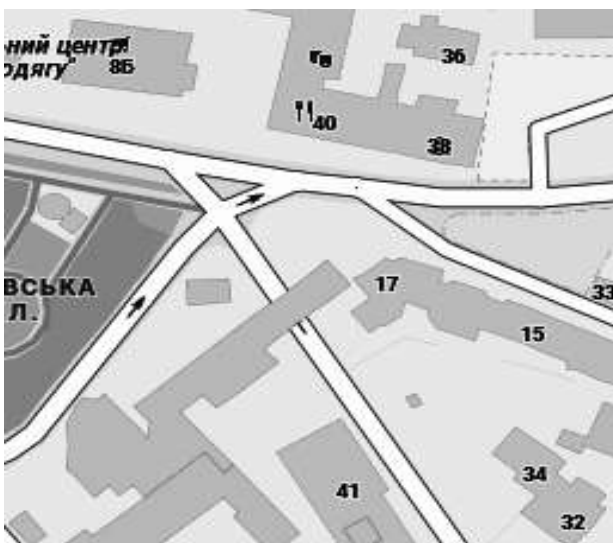


Рис. 1 – Фрагмент векторної карти

Для кожної матриці $C_i(x,y)$ проведемо пряме двовимірне ДКП, в результаті чого отримаємо матриці коефіцієнтів $F(u,v)$, де u,v – позиції цих коефіцієнтів в матриці. ДКП в загальному вигляді для i -ї матриці $F(u,v)$ може бути представлено аналогічним чином як і в (1):

$$F(u,v) = \frac{c(u) \cdot c(v)}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(x,y) \cdot \cos[z_1] \cdot \cos[z_2] \quad (2)$$

де $z_1 = \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N}$ та $z_2 = \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N}$ – аргументи

дискретно-косинусного перетворення, $c(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}$,

якщо $u = 0$, і $c(u) = 1$ якщо $u \geq 1$, та $c(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, якщо

$v = 0$, і $c(v) = 1$ якщо $v \geq 1$

В кожній матриці низькочастотні коефіцієнти будуть розміщуватись у верхньому лівому куті, високочастотні коефіцієнти – в нижньому правому, а

середньочастотні компоненти – по діагоналі матриці (рис.2).

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	630	-67	-1	15	5	0	0	1
1	153	-27	-38	24	-5	1	2	-7
2	63	-18	-3	9	0	-1	-1	-1
3	27	-8	-11	11	-6	1	-1	6
4	13	-9	0	6	0	1	-1	0
5	14	-5	-1	7	0	1	-1	0
6	6	-7	-1	1	-1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0	-1

■ низькочастотні коефіцієнти
■ середньочастотні коефіцієнти
□ високочастотні коефіцієнти

Рис. 2 – Матриця коефіцієнтів ДКП

Для вбудовування одного біта ЦВЗ будемо змінювати значення одного ВЧ-коефіцієнта. Далі визначимо, як саме змінювати цей коефіцієнт, щоб при витягуванні ЦВЗ можна було чітко розпізнати вбудований біт та забезпечити мінімальний вплив ЦВЗ на значення координати точки.

Для цього скористаємось підходом, запропонованим у роботі [14]. Суть цього підходу полягає в тому, що для вбудовування бітів ЦВЗ одному коефіцієнту присвоюють середньоарифметичне значення декількох інших коефіцієнтів. Оскільки значення в межах блоку зображення 8×8 високочастотні, такий підхід забезпечує незначну зміну коефіцієнта, що дозволяє зменшити спотворення зображення. Для нашого методу, окрім коефіцієнта $F_i(u_1, v_1)$, який будемо змінювати, виберемо ще два додаткових коефіцієнти $F_i(u_2, v_2)$ та $F_i(u_3, v_3)$.

Вибір позицій коефіцієнтів матриці векторного зображення для приховування ЦВЗ можна проводити одразу або за допомогою частини секретного стегоключа k . Наприклад, можна псевдовипадково згенерувати три позиції (u_1, v_1) , (u_2, v_2) та (u_3, v_3) для відповідних коефіцієнтів.

Оскільки матриця коефіцієнтів формується з векторів по 8 елементів, суміжні елементи в матриці, розміщені по вертикалі, не є сусідніми в масиві координат точок зображення. Тому ймовірно, що вони можуть належати різним об'єктам. А це, в свою чергу, може призвести до сильних змін координати точок. Тому пропонується обирати коефіцієнти з одного горизонтального рядка матриці.

Представимо ЦВЗ у вигляді масиву бітів m розміром q . Кожен біт ЦВЗ $m_j, j = 1..q$, будемо

вбудовувати послідовно по одному в кожену матрицю $F_i(u, v)$, $i = 1 \dots t$. Зрозуміло, що при цьому кількість бітів ЦВЗ q не повинна перевищувати кількість матриць t . Вбудовування бітів ЦВЗ m_j будемо здійснювати таким чином. Якщо біт $m_j = 0$, то перевіряємо умову:

$$F_i(u_j, v_j) < \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n}, \quad (3)$$

Якщо умова (3) виконується, значення коефіцієнта $F_i(u_j, v_j)$ залишимо без змін, тобто у матриці $F'_i(u, v)$ з вбудованим бітом ЦВЗ коефіцієнт $F'_i(u_j, v_j)$ буде дорівнювати значенню коефіцієнта $F_i(u_j, v_j)$. У разі невиконання умови (3), отримаємо значення $F'_i(u_j, v_j)$ як значення максимального коефіцієнта серед тих що залишились, $F_i(u_2, v_2)$ та $F_i(u_3, v_3)$ та $F_i(u_4, v_4)$ зменшене на значення P , тобто:

$$F'_i(u_j, v_j) = \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} - P,$$

Параметр P використовується для забезпечення чіткої ідентифікації бітів ЦВЗ при витягуванні. З одного боку, значення параметра P має бути мінімальним, щоб якомога менше змінити значення коефіцієнта та вплинути на координати точок. З іншого боку, значення параметра P має бути достатнім для того, щоб дати змогу відновити біти ЦВЗ.

Якщо при вбудовуванні біт ЦВЗ $m_j = 1$, то перевіряємо виконання умови (3). В разі виконання умови (3) коефіцієнт $F'_i(u_j, v_j)$ буде дорівнювати значенню коефіцієнта $F_i(u_j, v_j)$. В разі, якщо значення коефіцієнта $F'_i(u_j, v_j)$ не відповідає умові (3), значення коефіцієнта $F'_i(u_j, v_j)$ визначаємо як відношення максимального значення коефіцієнта ДКП до кількості обраних коефіцієнтів n :

$$F'_i(u_j, v_j) = \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} + P,$$

Після зміни коефіцієнтів проведемо обернене дискретне косинус - перетворення над матрицями змінених коефіцієнтів $F'(u, v)$ для перетворення векторного зображення з частотного представлення в просторове. В результаті ми отримаємо матриці $S(x, y)$ із значеннями координат точок векторного зображення. Обернене ДКП для i -ї матриці $F'_i(u, v)$ можна представити в такому вигляді:

$$S(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} c(u) \cdot c(v) F'(u, v) \cdot \cos[z_1] \cdot \cos[z_2];$$

де $z_1 = \frac{\pi \cdot u \cdot (2x+1)}{2N}$ та $z_2 = \frac{\pi \cdot v \cdot (2y+1)}{2N}$ – аргументи

дискретно-косинусного перетворення.

Далі з отриманих матриць $S(x, y)$ сформуємо одновимірний масив точок векторного зображення V' .

Для забезпечення стійкості цього методу до стеганографічних атак потрібно використовувати секретний стеганоключ k . Цей ключ може бути визначено як позиції коефіцієнтів для вбудовування бітів ЦВЗ в межах кожної матриці. Також як ключ можна використовувати певні номери матриць коефіцієнтів ДКП. Крім того, стеганоключем може бути значення певного елемента V_l масиву координат точок векторного зображення або його позиція l в масиві, який буде визначати координату першої точки при формуванні матриць для вбудовування ЦВЗ.

Для виявлення ЦВЗ не потрібна наявність оригіналу зображення чи самого ЦВЗ, окрім секретного стеганоключа k .

При витягуванні ЦВЗ слід враховувати, що значення координат точок або їх кількість векторного зображення може відрізнятись від оригіналу зображення, оскільки воно може бути зміненим внаслідок зловмисних спотворень. Враховуючи це, масив точок векторного зображення з вбудованим ЦВЗ позначимо як V' , l' – кількість координат точок в цьому масиві. Аналогічним чином позначимо й інші змінні, які відповідають зміненому після вбудовування ЦВЗ векторному зображенню.

Витягування ЦВЗ з векторного зображення буде проводитись таким чином. Спочатку з масиву точок векторного зображення V' сформуємо матриці $C'_i(x, y)$ розміром 8×8 , де $i' = 1 \dots t'$, t' – кількість сформованих матриць.

Далі над матрицями $C'(x, y)$ проведемо пряме двовимірне ДКП згідно з формулою (2), після чого отримаємо матриці коефіцієнтів ДКП $F'_i(u, v)$, $i' = 1 \dots t'$, з вбудованим ЦВЗ.

Після вибору позицій трьох ВЧ-коефіцієнтів $F'_i(u'_1, v'_1)$, $F'_i(u'_2, v'_2)$ та $F'_i(u'_3, v'_3)$ $F'_i(u'_4, v'_4)$ перевіримо виконання умови, що є оберненою до (3) та при вбудовуванні ЦВЗ визначимо відповідне значення біта ЦВЗ m'_j :

$$\begin{cases} \text{при } m'_j = 0 & \text{якщо } F'_i(u'_j, v'_j) < \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} \\ \text{при } m'_j = 1 & \text{якщо } F'_i(u'_j, v'_j) > \frac{\max(F_i(u_2, v_2), F_i(u_3, v_3), F_i(u_4, v_4))}{n} \end{cases}$$

Далі перетворюємо витягнуті біти m'_j , $j' = 1 \dots q'$ у формат представлення ЦВЗ.

Результати порівняння показників якості вбудовування ЦВЗ в векторне зображення для двовимірного ДКП (МДДКП) та запропонованого методу (ЗМ) при $P=0.00003$ приведений до табл. 1

Таблиця 1 – Оцінювання показників якості зображення-контейнера внаслідок вбудовування ЦВЗ

Параметри оцінювання	МДДКП Y	МДДКП X	ЗМ Y	ЗМ X
Максимальна відмінність	0.016	0.019	0.014	0.017
Якість зображення	0.9945	0.9987	0.99975	0.9991
Нормована взаємна кореляція	0.9965	0.9903	0.99531	0.990

Отож, запропонований метод вбудовування ЦВЗ в векторні зображення краще себе зарекомендував з точки зору підвищення якості зображення, та показав меншу відмінність від оригіналу в порівнянні з застосуванням класичного двовимірного ДКП

Висновки

Отримані результати дослідження якості роботи запропонованого методу за допомогою кореляційних показників показали, що метод можна використовувати для вбудовування ЦВЗ в векторні зображення, без значного спотворення зображення-контейнера.

Список літератури

1. Карпінець, В. В. Аналіз впливу цифрових водяних знаків на якість векторних зображень / В. В. Карпінець, Ю. С. Яремчук // *Сучасний захист інформації*. – 2011. – №1. – С.72-82.
2. Михайличенко, О. В. Применение стеганографических методов сокрытия информации в неподвижных изображениях / О. В. Михайличенко, А. Г. Коробейнико, С. Ю. Каменева // *Труды международных научно-технических конференций „Интеллектуальные системы” (IEEE AIS’06) и „Интеллектуальные САПР (CAD-2006)”*. – в 3 т. М.: Физмалит, 2010. Т.2. – С. 511-515.
3. Koch, E. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling / E. Koch, J. Zhao // *IEEE Work shop on Non linear Signal and Image Processing*. – Greece. – June 20-22, 1995. – P. 123 – 132.
4. Zhou, Y. Research of Robustness Evaluation Method for GIS Vector Data Digital Watermarking Algorithm / Y. Zhou, A. Li, G. Ly // *Geoinformatics, 2010 18th International Conference on*. – 2010. – P. 55–61.
5. Яремчук, Ю. С. Дослідження стеганографічної стійкості методу вбудовування цифрових водяних знаків у векторні зображення / С. Яремчук, В. В. Карпінець // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2011. – № 3. – С. 200–205.
6. Zhengjiang, Y. Research on Testing the Robustness of Digital Watermarking Algorithm / Y. Zhengjiang, X. Zhou // *Development and Application of Computer*. – 2009. – Vol. 22(5). – P. 11–13.
7. Грибунин, В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2012.

8. Singh, P. Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and Attacks / P. Singh, R. S. Chadha // *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*. – 2013. – vol. 2, Issue 9. – P. 165 – 175.
9. Nitin, K. K. Comparison of Various Images Steganography Techniques / K. K. Nitin, V. N. Ashish // *International Journal of Computer Science and Management Research*. – 2013. – vol. 2, Issue 1. – P. 1213 – 1217.
10. Stuti, G. A Review of Comparison Techniques of Image Steganography / G. Stuti, R. Arun, K. Manpreet // *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*. – 2013. – vol. 6, Issue 1. – P. 41 – 48.
11. Sridevi, T. A Robust Watermarking Algorithm Based on Image Normalization and DC Coefficients / T. Sridevi, V. Kumar // *IJCSI International Journal of Computer Science*. – 2011. – vol. 8, Issue 5. – P. 226 – 232.
12. Li, Z. A Dynamic Multiple Watermarking Algorithm Based on DWT and HVS / Z. Li, Y. Xilan, L. Hongsong, C. Minrong // *Int. J. Communications, Network and System Sciences*. – 2012. – 5. – P. 490 – 495.
13. Jadav, Y. Comparison of LSB and Subband DCT Technique for Image Watermarking / Y. Jadav // *Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013*. – 2013. – P. 398 – 401.
14. Vovk, O. O. New Steganographic Method: Development and Comparison with the Most Relevant / O. O. Vovk, A. A. Astrahantsev // *Problems of Infocommunications. Science and Technology (IEEE)*. – Kharkiv, Ukraine, 2015. – P. 237 – 240.

Bibliography (transliterated)

1. Karpinets, V. V., Yaremchuk, Yu. E. Analiz vplivu tsifrovih vodyanih znakiv na yakist vektornih zobrazhen. *Suchasniy zahist Informatsiyi*, 2011, 1, 72–82.
2. Mihaylichenko, O. V., Korobeynikov, A. G., Kameneva, Yu. Primenenie steganograficheskikh metodov sokryitiya informatsii v nepodviznykh izobrazheniyah. *Trudy mezhduнародnykh nauchno-tehnicheskikh konferentsiy „Intellektualnyie sistemyi” (IEEE AIS’06) i „Intellektualnyie SAPR (CAD-2006)”*: v 3 t. M.: Fizmalit, 2010, 2, 511-515.
3. Koch, E., Zhao, J. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling. *IEEE Work shop on Non linear Signal and Image Processing*, Greece, June 20-22 1995, 123 – 132.
4. Zhou, Y., Li, A., Ly, G. Research of Robustness Evaluation Method for GIS Vector Data Digital Watermarking Algorithm. *Geoinformatics, 2010 18th International Conference on*, 2010, 55-61.
5. Yaremchuk, Yu. E., Karpinets, V. V. Doslidzhennya steganografichnoyi stiykosti metodu vbudovuvannya tsifrovih vodyanih znakiv u vektorni zobrazhennya. *Visnik Vnnitskogo polltehnichnogo Institutu*, 2011, 3, 200–205.
6. Zhengjiang, Y., Zhou, X. Research on Testing the Robustness of Digital Watermarking Algorithm. *Development and Application of Computer*, 2009, 22(5), 11–13.
7. Gribunin, V. G., Okov, I. N., Turintsev, I. V. Tsifrovaya steganografiya. - M.: SOLON-Press, 2012.
8. Singh, P., Chadha, R. Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and Attacks. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2013, 2, Issue 9, 165 – 175.
9. Nitin, K. K., Ashish, V. N. Comparison of Various Images Steganography Techniques. *International Journal of Computer Science and Management Research*, 2013, 2,

- Issue 1, 1213 – 1217.
10. **Stuti, G., Arun, R., Manpreet, K.** A Review of Comparison Techniques of Image Steganography. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2013, **6**, Issue 1, 41 – 48.
 11. **Sridevi, T., Kumar, V.** A Robust Watermarking Algorithm Based on Image Normalization and DC Coefficients. *IJCSI International Journal of Computer Science*, 2011, **8**, Issue 5, 226 – 232.
 12. **Li, Z., Xilan, Y., Hongsong, L., Minrong, C.** A Dynamic Multiple Watermarking Algorithm Based on DWT and HVS. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, 2012, **5**, 490 – 495.
 13. **Jadav, Y.** Comparison of LSB and Subband DCT Technique for Image Watermarking. *Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013*, 2013, 398 – 401.
 14. **Vovk, O. O., Astrahantsev, A. A.** New Steganographic Method: Development and Comparison with the Most Relevant. *Problems of Infocommunication Science and Technology (IEEE)*, Kharkiv, Ukraine, 2015, P. 237 – 240.

Відомості про автора (About authors)

Юдіна Ганна Максимівна – магістрант, Вінницький національний технічний університет, магістрант кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем; Вінниця, Україна; e-mail: ann.m.yudina@gmail.com.

Anna Yudina - magister, Vinnitsa National Technical University, magister of management and security of information Systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: ann.m.yudina@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю так:

Юдіна, Г. М. Зменшення рівня спотворень векторних зображень внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків / **Г. М. Юдіна** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 166-171. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.24.

Please cite this article as:

Yudina, A. Decreasing the spotlights level of vector images after installation digital watermarks. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 166-171, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.24.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Юдина, А. М. Уменьшение уровня искажений векторных изображений в результате встраивания цифровых водяных знаков / **А. М. Юдина** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 166-171. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.24.

АННОТАЦИЯ Анализ существующих методов встраивания цифровых водяных знаков (ЦВЗ) показывает, что для большинства из них, актуальна проблема ухудшения качества изображения в которое встраивается ЦВЗ. При отражении реальных объектов в масштабе (архитектурных сооружений, географических карт и т.д.), эта проблема особенно актуальна, ведь значительное изменение координат точек может существенно ухудшить качество информации о существующих объектах или повлиять на их создание. Исходя из этого в работе проанализированы преимущества и недостатки существующих методов встраивания ЦВЗ в векторные изображения и оптимизируется один из известных методов за счет уменьшения искажения изображения-контейнера.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки; изображение-контейнер; качество изображения; векторные изображения.

Поступила (received) 10.03.2018

УДК 637.358.

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.25

**ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ ГЕЛІВ
НА ОСНОВІ ПОЛІСАХАРИДІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ****Д. О. БІДЮК^{1*}, Д. К. ДУШЕНОК², Ф. В. ПЕРЦЕВОЙ¹, Т. І. МАРЕНКОВА¹**¹ Кафедра технології харчування, Сумський національний аграрний університет, Суми, УКРАЇНА² Кафедра технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Харків, УКРАЇНА

*email: xbach@ukr.net

АНОТАЦІЯ В статті наведено дані щодо встановлення впливу різних технологічних факторів – концентрації фуруцелларану, напівочищеного каппа-карагенану та камеді конжаку, тривалості та температури гідратації на міцність систем «фуруцелларан-камедь конжаку-вода», «напівочищений каппа-карагенан-камедь конжаку-вода». Визначено основні закономірності структуроутворення зазначених систем.

Ключові слова: каппа-карагенан; фуруцелларан; камедь конжаку; структуроутворення; міцність гелю.

**SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF OBTAINING GELS
ON THE BASIS OF POLYSACCHARIDES OF VARIOUS ORIGINS****D. BIDYUK^{1*}, D. DUSHENOK², F. PERTSEVOI¹, T. MARENKOVA¹**¹ Department of Food Technology, Sumy National Agrarian University, Sumy, UKRAINE² Department of Food Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT In the article the data on the influence of different technological factors - the concentration of fucellaran, semi-purified kappa-carrageenan and konjac gum, duration and temperature of hydration on the strength of the systems "fucellaran – konjac gum – water", "semi-purified kappa-carrageenan – konjac gum – water" are presented. The purpose of the research is to substantiate the technological parameters of obtaining gel-like structures using fucellaran, semi-purified kappa-carrageenan and konjac gum. The research objectives were to determine the dependencies of the effects of concentrations, the ratio of gelling agents, duration and temperature of dispersion on the strength of the systems under investigation. The conducted studies allowed to determine the dependence of the strength of gels on the basis of fucellaran and konjac gum, as well as semi-purified kappa-carrageenan and konjac gum on the ratio of formulation components. In the course of experimental studies synergic interaction was confirmed in the systems of «semi-purified kappa-carrageenan – konjac gum – water» and «fucellaran – konjac gum – water». It was established that the addition of konjac gum in the ratio of 30%:70% and 40%:60%, according to the composition of gels using semi-purified kappa-carrageenan and fucellaran, results in a significant increase in the strength of the studied systems compared to the control samples. The rational parameters of the hydration of the investigated mixtures are determined. It is reasonable for holding hydration (15...20) × 60s at a temperature no higher than 60°C for mixtures using semi-purified kappa-carrageenan and 40°C - using fucellaran. Determined that the combined use semi-purified kappa-carrageenan and konjac gum, fucellaran and konjac gum is promising and needs further research for the task.

Keywords: kappa-carrageenan; fucellaran; konjac gum; structure formation; gel strength.

Вступ

В умовах сучасної ринкової економіки успішний розвиток і функціонування підприємств харчової промисловості та закладів ресторанного господарства нерозривно зв'язані із розробкою інноваційних, економічно ефективних технологій та вдосконаленням вже існуючих.

На сьогодні підприємствами м'ясної промисловості широко використовуються так звані «м'ясні гранули» – гелеподібні напівфабрикати, що традиційно виготовляються на основі тваринних білків. Використання подібних напівфабрикатів зумовлено, в першу чергу, можливістю зниження собівартості готової продукції за рахунок часткової заміни м'ясної сировини. Згідно з рекомендаціями виробників, концентрація тваринних білків у «м'ясних гранулах» лежить в діапазоні 5%...15% і

залежить від марки білку та температури процесу гідратації [1, 2]. До недоліків використання тваринних білків можна віднести високі витрати сировини для отримання гелеподібних структур необхідної міцності, залежність міцності гелів від температури гідратації. В разі застосування способу холодної гідратації (t=10...15°C), перед виробниками постає питання суттєвого підвищення концентрації тваринного білку в системі, а використання способу гарячої гідратації (t=80...90°C) є трудомістким та не завжди зручним в умовах промислового виробництва.

Нами запропоновано, як ідею, використання синергетичної комбінації полісахаридів каппа-карагенану, фуруцелларану та камеді конжаку як основи для отримання «м'ясних гранул».

Використання полісахаридів є доцільним, в разі створення нових технологій виробництва харчової продукції, саме через можливості розробки напівфабрикатів

із регульованими структурно-механічними властивостями та отримання заданої структури при значно меншому їх вмісті ніж тваринні білки.

На сьогоднішній день в Україні структуроутворювачі полісахаридної природи користуються стабільно високим попитом, тому актуальним є пошук засобів зниження витрат цієї високоартісної та, здебільшого, імпортованої сировини, в тому числі – за рахунок створення нових композицій структуроутворювачів і реалізації певних синергетичних властивостей.

Карагенан – загальна назва сімейства водорозчинних, лінійних, аніонних, сульфатованих полісахаридів, що отримують шляхом екстракції з певних видів червоних морських водоростей *Rhodophyta*. Використання різних карагенанів (каппа, йота, лямбда) набуло широкого розповсюдження в технологіях багатьох харчових продуктів в якості загусників, гелеутворювачів, стабілізаторів тощо [3-7]. В країнах ЄС карагенан має статус харчової добавки з E-індексом E407. Раніше окремий E-індекс (E408) було надано і фурцелларану, але через близькість будови і властивостей цих полісахаридів, вони були об'єднані під одним E-індексом (E407) [8].

Карагенан, залежно від ступеня очистки, поділяють на «очищений карагенан» (також відомий під назвою «філіппінський натуральний»), «напівочищений карагенан» та очищений особливим способом карагенан (або «борошно карагенану») [8].

Фурцелларан є аніонним частково сульфатованим полісахаридом, який отримують шляхом екстрагування з червоної морської водорості *Furcellaria lumbricalis*. Принципова різниця між фурцеллараном та каппа-карагенаном полягає у тому, що каппа-карагенан має один сульфатний залишок складного ефіру на два залишки цукрів, а фурцелларан – один сульфатний залишок складного ефіру на три або чотири залишки цукрів [9].

Вибір каппа-карагенану та фурцелларану для їх комбінування з камеддю конжаку обумовлений тим, що зазначені полісахариди червоних морських водоростей володіють схожими функціонально-технологічними властивостями – для підвищення міцності структури їх гелів, а також температур плавлення та гелеутворення необхідним є присутність іонів K^+ [8].

Камедь конжаку, або конжак глюкоманнан – полісахарид, що отримують шляхом екстракції з рослини *Amorphophallus Jonjac K. Koch*. Він є традиційною харчовою добавкою в Японії протягом останніх 600 років. Конжак глюкоманнан складається з мономерів D-глюкози та D-манози, що чергуються у молярних співвідношеннях 2:3 або 1:1,6, що з'єднані β -(1,4) зв'язками. Молекулярна маса глюкоманнану становить $(100...120) \times 10^4$ [10].

Камедь конжаку виконує функцію загусника, а утворення гелів можливе в разі видалення ацетильних груп, в лужному або кислому середовищі, із наступним утворенням деацетильованого

конжакового глюкоманнану. В цьому випадку утворюється незворотній та термостабільний гель [8, 11]. Також є можливим утворення нативних конжакових гелів (в разі відсутності лужного або кислотного агентів) за концентрації гелеутворювача 2-5% [8].

В останній час було проведено низку досліджень стосовно вивчення впливу конжаку на функціонально-технологічні властивості систем, що містять в своєму складі різні полісахариди [8-9, 12-13].

Авторами [8-9] зазначено можливість утворення високосинергетичних гелів між каппа-карагенаном та глюкоманнанами – наприклад, камеддю ріжкового дерева та камеддю конжаку. Крім підвищення міцності гелю, подібні камеді роблять структуру гелю більш еластичною та зменшують синерезис

Авторами [12] досліджено вплив камеді конжаку на функціонально-технологічні властивості систем на основі нативного крохмалю. Жарінов А.І. та ін. зазначають, що крохмаль не проявляє виражених синергетичних взаємодій із камеддю конжаку, за вибраних умов гідратації, але є можливим утворення міцного та стабільного гелю при певних співвідношеннях цих полісахаридів. Також автори відзначають позитивний вплив наявності хлориду натрію в середовищі гідратації на міцність і еластичність гелів як індивідуального, так і комплексного складу.

Авторами [13] досліджено вплив камеді конжаку на властивості структурованих бінарних систем «камедь конжаку-ксантан» та виявлено синергізм камеді конжаку та ксантану за певного їх співвідношення. Автори також відзначають більш задовільні показники міцності гелів в разі наявності в розчинах цукрози або хлориду натрію.

На основі наведених вище аналітичних досліджень було встановлено [8], що конжаковий глюкоманнан проявляє синергетичні властивості за його сумісного використання з каппа-карагенаном, формуючи системи із суттєво більшими показниками міцності, порівняно до контрольних зразків. Каппа-карагенан, наявний на ринку харчових добавок, як було зазначено вище, відрізняється за ступенем очищення від домішок на «очищений» та «напівочищений», що також суттєво впливає на його ринкову вартість. З огляду на те, що для гелеутворювачів в технологіях виробництва «м'ясних гранул» відсутня необхідність отримання прозорих гелів, вважаємо за доцільне використовувати саме напівочищений каппа-карагенан в ході подальших досліджень, що матиме позитивний вплив на собівартість готової продукції.

В ході аналізу літературних джерел нами не було виявлено систематизованих даних стосовно визначення оптимальних співвідношень рецептурних компонентів в системах «фурцелларан – камедь конжаку – вода», а параметри структуроутворення систем «напівочищений каппа-карагенан – камедь

конжаку – вода» є наближеними. При цьому в літературі не знайдено науково обґрунтованих даних щодо визначення раціональних параметрів – температури або тривалості диспергування, за якими було б можливим оптимізувати технологічний процес та рецептурний склад зазначених систем. Отже проведення досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей отримання гелів на основі визначених комбінацій полісахаридів є актуальною задачею.

Мета роботи

Метою досліджень є обґрунтування технологічних параметрів отримання гелеподібних структур із використанням фуцелларану, напівочищеного каппа-карагенану та камеді конжаку.

Завданнями досліджень було встановлення залежностей впливу концентрацій, співвідношення гелеутворювачів, тривалості та температури диспергування на міцність досліджуваних систем.

Виклад основного матеріалу

Дослідження були проведені в Сумському національному аграрному університеті на базі наукової лабораторії «Інноваційних технологій харчової продукції» факультету харчових технологій.

Для досліджень нами було обрано фуцелларан фірми «Est-agar» (Естонія), напівочищений каппа-карагенан (Китай), камедь конжаку із вмістом глюкоманану 95,3% та ефективною в'язкістю 36600 мПа·с (Китай).

Предметами досліджень були гелі фуцелларану і його суміші з камеддю конжаку в концентраціях 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, а також гелі напівочищеного каппа-карагенану і його суміші з камеддю конжаку в концентраціях 0,6%, 0,8%, 1,0%. При отриманні сумішей «фуцелларан – камедь конжаку» та «напівочищений каппа-карагенан – камедь конжаку», основний полісахарид замінювали на камедь конжаку в кількості від 10% до 90%, по відношенню до маси полісахариду, з інтервалом у 10%.

Міцність змішаних гелів із використанням полісахаридів визначали на приладі Валента після структуроутворення розчинів протягом 24 год. за температури $5 \pm 1^\circ\text{C}$. Для отримання розчинів полісахаридів їх диспергували у питній воді протягом $(5 \dots 30) \times 60$ с за $v=16,7 \text{ c}^{-1}$ та $t=(40 \dots 80) \pm 1^\circ\text{C}$. Нижня межа температурного діапазону відповідає температурі плавлення гелів фуцелларану [14], верхня – мінімально необхідній температурі води при виготовленні м'ясних гранул [1, 2].

Для термостатування розчинів за температур $(40 \dots 80) \pm 1^\circ\text{C}$ використовували мішалку магнітну РІВА-03.4, диспергування в водній фазі здійснювали за допомогою лабораторної мішалки MLW ER10.

Дослідження міцності гелів проводили у 5-кратних повтореннях, експериментальні дані оброблювали з використанням критерію Ст'юдента, при цьому похибка експерименту не перевищувала 5,0% [15].

Обговорення результатів

У випадку виробництва гелеподібної харчової продукції на основі суміші структуроутворювачів полісахаридної природи, важливим показником, що характеризує наявність синергетичної взаємодії між ними, є міцність гелів.

Результати досліджень міцності гелів фуцелларану, напівочищеного каппа-карагенану, та сумішей «фуцелларан – камедь конжаку», «напівочищений каппа-карагенан – камедь конжаку» від концентрацій гелеутворювачів наведені на рис. 1-2.

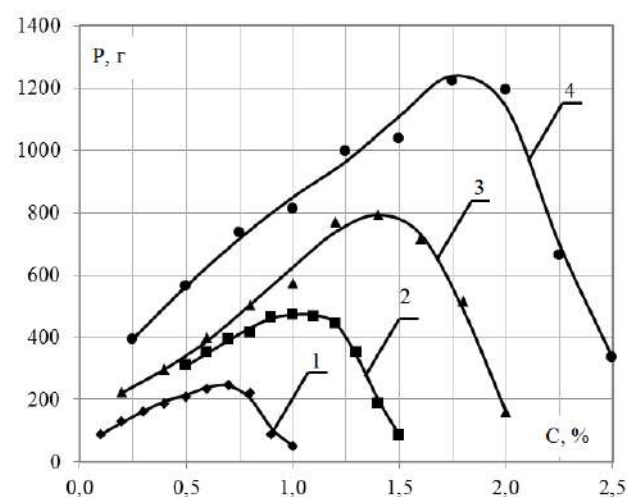


Рис. 1 – Залежність міцності структури гелів на основі фуцелларану та його сумішей з камеддю конжаку при загальному вмісті полісахаридів
1 - 1,0%, 2 - 1,5%, 3 - 2,0%, 4 - 2,5%

Аналізом експериментальних даних встановлено, що загальною тенденцією для досліджуваних зразків є набування максимальних значень міцності гелів за співвідношення фуцелларан : камедь конжаку як 70%:30% (рис. 1) та напівочищений каппа-карагенан : камедь конжаку як 60%:40% (рис. 2).

Встановлено (рис. 1), що міцність гелів збільшуються в разі заміни фуцелларану на камедь конжаку, при цьому екстремум міцності приходить на співвідношення 70%:30%.

Максимальні значення вимірюваного показника складають: для суміші «фуцелларан 1,75% – камедь конжаку 0,75%» – $1223 \pm 43,6$ г; суміші «фуцелларан 1,40% – камедь конжаку 0,60%» – $792,6 \pm 20,3$ г; суміші «фуцелларан 1,10% – камедь конжаку 0,40%» – $464,8 \pm 8,3$ г; суміші «фуцелларан 0,70% – камедь конжаку 0,30%» – $244 \pm 9,8$ г.

При використанні напівочищеного каппа-карагенану (рис. 2), тенденція до збільшення значення міцності змішаних гелів зберігається.

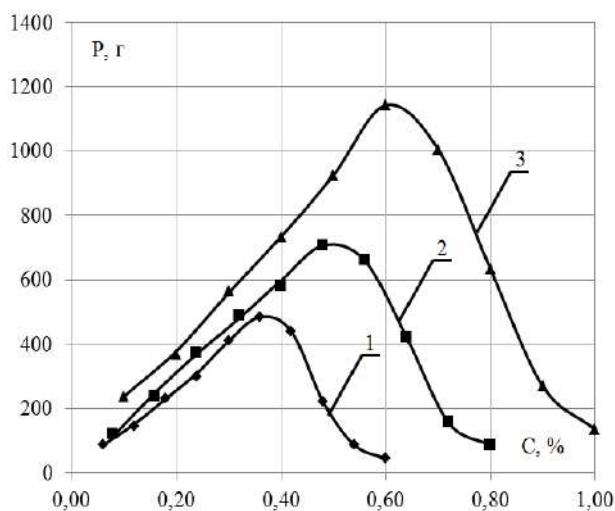


Рис. 2 – Залежність міцності структури гелів на основі напівочищеного каппа-карагенану та його сумішей з камеддю конжаку при загальному вмісті полісахаридів 1 - 0,6%, 2 - 0,8%, 3 - 1,0%

Максимальні значення вимірюваного показнику складають: для суміші «напівочищений каппа-карагенан 0,70% – камедь конжаку 0,30%» – 1142,5±46,4 г; суміші «напівочищений каппа-карагенан 0,56% – камедь конжаку 0,24%» – 706,6±16,3 г; суміші «напівочищений каппа-карагенан 0,42% – камедь конжаку 0,18%» – 484,6±18,7 г.

Було досліджено вплив температури гідратації на міцність змішаних гелів за їх оптимального співвідношення та тривалості диспергування 5×60 с (рис. 3). Встановлено, що підвищення температури гідратації має позитивний вплив на міцність досліджуваних зразків. Так, для гелів із концентрацією фуцелларану 0,70% та камеді конжаку 0,30% показник міцності збільшується з 191,4±5,4 г за температури 40±1°C до 335±4,4 г за температури 90±1°C. Для гелів із вмістом напівочищеного каппа-карагенану 0,42% та камеді конжаку 0,18% показник міцності становить 256±9,8 г за температури 40±1°C та 629,6±21,6 г за температури 90±1°C. Подібне зростання досліджуваного показнику за підвищення температури може свідчити, очевидно, про неповне розчинення полісахаридних гелеутворювачів за температур нижче 80°C.

На наступному етапі було досліджено вплив тривалості та температури гідратації на міцність гелів фуцелларану та камеді конжаку за їх раціонального співвідношення (рис. 4).

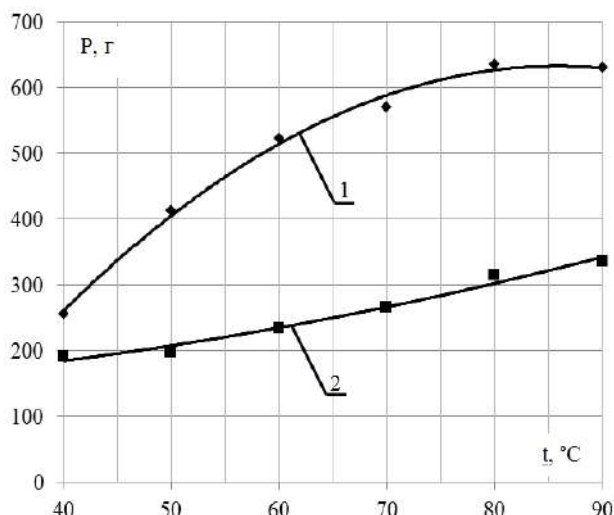


Рис. 3 – Залежність міцності структури гелів на основі сумішей напівочищеного каппа-карагенану з камеддю конжаку за їх загального вмісту 0,6% при співвідношенні полісахаридів 60%:40% (1) та фуцелларану з камеддю конжаку за їх загального вмісту 1,0% при співвідношенні полісахаридів 70%:30% (2) від температури гідратації за тривалості диспергування 5×60 с

Встановлено, що досліджені зразки набувають максимальних значень міцності в разі диспергування протягом 15×60 с, що, відносно до температур розчинів, становлять: 40±1°C – 346,8±11,9 г, 50±1°C – 339,2±5,5 г, 60±1°C – 321±7,9 г, 70±1°C – 310,8±7,6 г, 80±1°C – 293±7,4 г.

Було досліджено вплив тривалості та температури гідратації на міцність гелів напівочищеного каппа-карагенану та камеді конжаку за їх раціонального співвідношення (рис. 5).

Встановлено, що для досліджених зразків характерним є поступове збільшення значень міцності в ході диспергування протягом 30×60с, що, відносно до температур розчинів, становлять: 40±1°C – 426±13,6 г, 50±1°C – 728,3±24,1 г, 60±1°C – 836,6±25,1 г, 70±1°C – 780,8±29,3 г, 80±1°C – 737,6±24,1 г.

Спираючись на отримані дані можна зазначити, що тривалість та температура диспергування розчинів полісахаридів суттєво впливає на міцність отриманих гелеподібних систем.

Включення камеді конжаку до складу гелів фуцелларану дозволяє збільшити міцність досліджуваних систем в 1,76...4,9 раз – для змішаних гелів із вмістом структуроутворювачів 1,0%, 2,4...5,6 раз – для змішаних гелів із вмістом структуроутворювачів 1,5%, 1,4...5,0 раз – для змішаних гелів із вмістом структуроутворювачів 2,0%, 1,2...3,6 раз – для змішаних гелів із вмістом структуроутворювачів 2,5%.

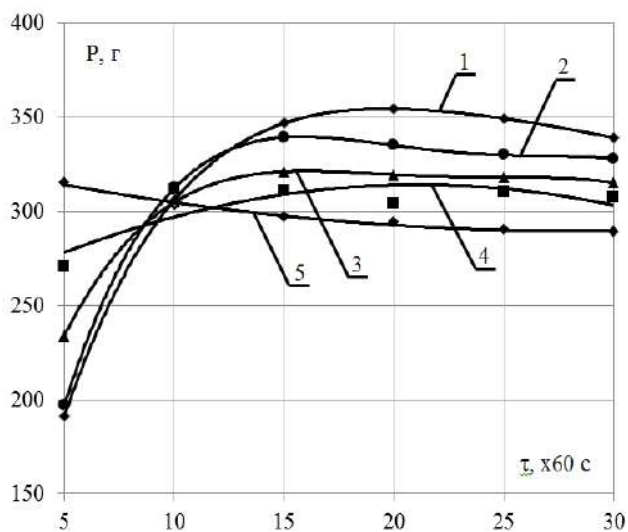


Рис. 4 – Залежність міцності структури гелів на основі сумішей фуруцелларану з камеддю конжаку за їх загального вмісту 1,0% при співвідношенні полісахаридів 70%:30% від тривалості диспергування за температури гідратації: 1 – $40\pm 1^\circ\text{C}$, 2 – $50\pm 1^\circ\text{C}$, 3 – $60\pm 1^\circ\text{C}$, 4 – $70\pm 1^\circ\text{C}$, 5 – $80\pm 1^\circ\text{C}$

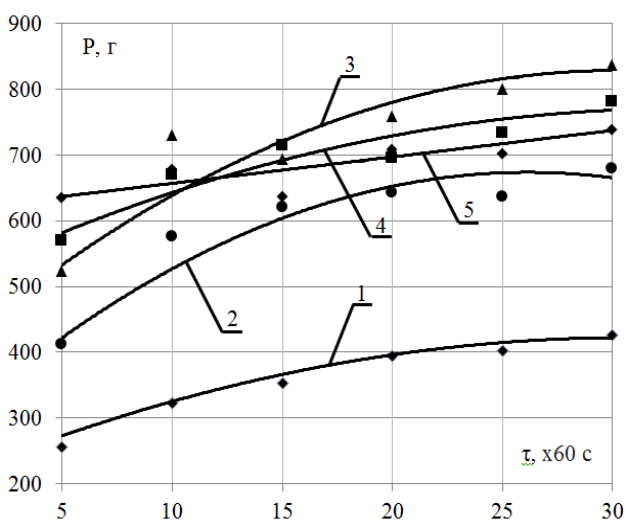


Рис. 5 – Залежність міцності структури гелів на основі сумішей напівочищеного каппа-карагенану з камеддю конжаку за їх загального вмісту 0,6% при співвідношенні полісахаридів 60%:40% від тривалості диспергування за температури гідратації: 1 – $40\pm 1^\circ\text{C}$, 2 – $50\pm 1^\circ\text{C}$, 3 – $60\pm 1^\circ\text{C}$, 4 – $70\pm 1^\circ\text{C}$, 5 – $80\pm 1^\circ\text{C}$

Включення камеді конжаку до складу розчинів напівочищеного каппа-карагенану дозволяє збільшити міцність досліджуваних систем в 2,0...11,0 раз – для гелів із вмістом структуроутворювачів 0,6%, 1,4...8,3 раз – для гелів із вмістом структуроутворювачів 0,8%, 1,8...8,5 раз – для гелів із вмістом структуроутворювачів 1,0%.

З огляду на наведені вище теоретичні передумови гелеутворення було підтверджено, що суттєве підвищення показнику міцності досліджуваних гелів відбувається за рахунок наявності синергетичної взаємодії в системах «фуруцелларан – камедь конжаку» та «напівочищений каппа-карагенан – камедь конжаку».

Висновки

Проведені дослідження дозволили встановити залежність міцності гелів «фуруцелларан – камедь конжаку» та «напівочищений каппа-карагенан – камедь конжаку» від співвідношення рецептурних компонентів.

В ході експериментальних досліджень було підтверджено синергетичну взаємодію в системах «напівочищений каппа-карагенан – камедь конжаку – вода» та «фуруцелларан – камедь конжаку – вода». Встановлено, що додавання камеді конжаку в співвідношенні 40%:60% і 30%:70% відповідно до складу гелів із використанням напівочищеного каппа-карагенану та фуруцелларану призводить до суттєвого збільшення показнику міцності досліджуваних систем, порівняно до контрольних зразків.

Визначено раціональні параметри проведення гідратації досліджених сумішей. Доцільним є проведення гідратації протягом $(15...20)\times 60$ с за температури не вище 60°C для сумішей з використанням напівочищеного каппа-карагенану та 40°C – з використанням фуруцелларану.

Можемо зазначити, що сумісне застосування напівочищеного каппа-карагенану та камеді конжаку, фуруцелларану та камеді конжаку є перспективним та потребує проведення подальших досліджень для вирішення поставлених завдань.

Список літератури

1. Scanflavour [Електронний ресурс]. URL: <http://www.scanflavour.com/>.
2. Essentia protein solutions [Електронний ресурс]. URL Режим доступу: <http://essentiaproteins.com/>.
3. Prajapati, V. D. Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its application / V. D. Prajapati, P. M. Maheriya, G. K. Jani, H. K. Solanki // *Carbohydrate Polymers*. – 2014. – № 105. – P. 97-112. – doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.067.
4. Van de Velde, F. H-1 and C-13 high resolution NMR spectroscopy of carrageenans: application in research and industry / F. Van de Velde, S. H. Knutsen, A. I. Usov, H. S. Rollema, A. S. Cerezo // *Trends in Food Science & Technology*. – 2002. – №13(3). – P. 73-92. – doi: 10.1016/S0924-2244(02)00066-3.
5. Van de Velde, F. Carrageenan: a food-grade and biocompatible support for immobilization techniques / F. Van de Velde, N. D. Lourenco, H. M. Pinheiro, M. Bakker // *Advanced Synthesis & Catalysis*. – 2002. – №344(8). – P. 815-835. – doi: 10.1002/1615-4169(200209)344:8<815::AID-ADSC815>3.0.CO;2-H.

6. **Campo, V. L.** Carrageenans: biological properties, chemical modifications and structural analysis – a review / **V. L. Campo, D. F. Kawano, D. B. Silva, I. Carvalho** // *Carbohydrate Polymers*. – 2009. – №77(2). – P. 167-180. – doi: 10.1016/j.carbpol.2009.01.020.
7. **Van de Velde, F.** The structure of kappa/iota-hybrid carrageenans II. Coil-helix transition as a function of chain composition / **F. Van de Velde, A. S. Antipova, H. S. Rollema, T. V. Burova, N. V. Grinberg, L. Pereira** // *Carbohydrate Research*. – 2005. – №340(6). – P. 1113-1129. – doi: 10.1016/j.carres.2005.02.015.
8. **Аймесон, А.** Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / **А. Аймесон** (ред.-сост.). — Перев. с англ. д-ра хим. наук С. В. Макарова. — СПб.: ИД «Профессия», 2012. — 408 с.
9. **Roy, L. Whistler** Industrial gums : polysaccharides and their derivatives / ed. by **Roy L. Whistler, James N. BeMiller**. - 3rd ed. - Academic Press, Inc., 1993. - P. 807.
10. **Ozu, E. M.** Physical and chemical properties of glucomannan gels and related polysaccharide / **E. M. Ozu, I. C. Baianu, L. S. Wei, H. Pessen, T. F. Kumosinski** // *Physical Chemistry of Food Processes*. – 1992. – №2. – P. 487-517.
11. **Маекaji, К.** The mechanism of gelation of konjac mannan / **К. Маекaji** // *Agricultural and Biological Chemistry* – 1974. – №38. – P. 315-321. – doi: 10.1271/abb1961.38.315.
12. **Жаринов, А. И.** Влияние конжака на функционально-технологические свойства систем на основе нативного крахмала / **А. И. Жаринов, О. Н. Антонова** // *ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ*. – 2011. – №4. – С. 10-13.
13. **Жаринов, А. И.** Бинарные системы на основе ксантана: влияние конжака / **А. И. Жаринов, О. Н. Антонова, Е. А. Кондратенко** // *Молочная промышленность*. – 2010. – №10. – С. 56-57.
14. **Душенюк Д. К.** Дослідження температури плавлення гелів з використанням фуцелларану та желатину / **Д. К. Душенюк, Д. О. Бідюк, Ф. В. Перцевой, М. П. Кривонос** // *Вісник ХНТУСГ*. – 2016. – №179. – С. 221-227.
15. **Ратушный, А. С.** Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания [Текст] / Сост. **А. С. Ратушный, В. Г. Топольник**. – М. : Изд-во Рос. экон. акад., 1993. – 176 с.
- application in research and industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2002, **13(3)**, 73-92, doi: 10.1016/S0924-2244(02)00066-3.
5. **Van de Velde, F., Lourenco, N. D., Pinheiro, H. M., Bakker, M.** Carrageenan: a food-grade and biocompatible support for immobilization techniques. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 2002, **344(8)**, 815-835, doi: 10.1002/1615-4169(200209)344:8<815::AID-ADSC815>3.0.CO;2-H.
6. **Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B., Carvalho, I.** Carrageenans: biological properties, chemical modifications and structural analysis – a review. *Carbohydrate Polymers*, 2009, **77(2)**, 167-180, doi: 10.1016/j.carbpol.2009.01.020.
7. **Van de Velde, F., Antipova, A. S., Rollema, H. S., Burova, T. V., Grinberg, N. V., Pereira, L.** The structure of kappa/iota-hybrid carrageenans II. Coil-helix transition as a function of chain composition. *Carbohydrate Research*, 2005, **340(6)**, 1113-1129, doi: 10.1016/j.carres.2005.02.015.
8. **Aymeson, A.** Pishchevye zagustiteli, stabilizatory, geleobrazovateli [Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents]. — Perv. s angl, d-ra khim. nauk S. V. Makarova. — SPb.: ID «Professiya», 2012. — 408 s.
9. **Roy, L. Whistler.** Industrial gums : polysaccharides and their derivatives / ed. by **Roy L. Whistler, James N. BeMiller**. - 3rd ed. - Academic Press, Inc., 1993. - P. 807.
10. **Ozu, E. M., Baianu, I. C., Wei, L. S., Pessen, H., Kumosinski, T. F.** Physical and chemical properties of glucomannan gels and related polysaccharide. *Physical Chemistry of Food Processes*, 1992, **2**, 487-517.
11. **Maekaji, K.** The mechanism of gelation of konjac mannan. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1974, **38(2)**, 315-321, doi: 10.1271/abb1961.38.315.
12. **Zharinov, A. I., Antonova, O. N.** Vliyaniye konzhaka na funktsional'no-tekhnologicheskiye svoystva sistem na osnove nativnogo krakhmala [The influence of konjak on the functional and technological properties of systems based on native starch]. *Izvestiya vuzov. Pishcheyaya tekhnologiya [The novelty of high schools. Food technology]*, 2011, **4**, 10-13.
13. **Zharinov, A. I., Antonova, O. N., Kondratenko, Ye. A.** Binarnyye sistemy na osnove ksantana: vliyaniye konzhaka [Binary systems based on xanthan: the influence of konjak]. *Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]*, 2010, **10**, 56-57.
14. **Dushenok, D. K., Bidyuk, D. O., Pertsevov, F. V., Kryvonos, M. P.** Doslidzhennya temperatury plavlennya heliv z vykorystannyam furtsellaranu ta zhelatynu [Investigation of the melting temperature of gels using furcellaran and gelatin]. *Visnyk KHNTUSH*, 2016, **179**, 221-227.
15. **Ratushnyy, A. S.** Matematiko-statisticheskaya obrabotka opytnykh dannykh v tekhnologii produktov obshchestvennogo pitaniya [Mathematical and statistical processing of experimental data in the public food technology] [Text] / Sost. **A. S. Ratushnyy, V. G. Topol'nik**. – M. : Izd-vo Ros. ekon. akad., 1993. – 176.

Bibliography (transliterated)

1. Scanflavour. Available at: <http://www.scanflavour.com/>.
2. Essentia protein solutions. Available at: <http://essentiaproteins.com/>.
3. **Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., Solanki, H. K.** Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its application. *Carbohydrate Polymers*. 2014, **105(1)**, 97-112, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.067.
4. **Van de Velde, F., Knutsen, S. H., Usov, A. I., Rollema, H. S., Cerezo, A. S.** H-1 and C-13 high resolution NMR spectroscopy of carrageenans:

Відомості про авторів (About authors)

Бідюк Дмитро Олегович – кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет, доцент кафедри технології харчування; м. Суми, Україна; e-mail: xbach@ukr.net.

Dmytro Bidiuk – Candidate of Technical Sciences, Sumy National Agrarian University, Docent of the Department of Food Technology; Sumy, Ukraine; e-mail: xbach@ukr.net.

Душенюк Дмитро Костянтинович – Харківський державний університет харчування та торгівлі, аспірант кафедри технології харчування, м. Харків, Україна; e-mail: dushenok.dmitriy@gmail.com.

Dmytro Dushenok – Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ph. D. Student of the Department of Food Technology, Kharkiv, Ukraine; e-mail: dushenok.dmitriy@gmail.com.

Перцевой Федір Всеволодович – доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет, завідувач кафедри технології харчування; м. Суми, Україна; e-mail: pertsevov.f@gmail.com.

Fedir Pertsevov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Head of the Department of Food Technology; Sumy, Ukraine; e-mail: pertsevov.f@gmail.com.

Маренкова Тетяна Іванівна – Сумський національний аграрний університет, ст. викладач кафедри технології харчування; м. Суми, Україна; e-mail: tanya_201@ukr.net.

Tetyana Marenkova – Sumy National Agrarian University, Senior Lecturer at the Department of Food Technology; Sumy, Ukraine; e-mail: tanya_201@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бідюк, Д. О. Обґрунтування технологічних параметрів отримання гелів на основі полісахаридів різного походження / **Д. О. Бідюк, Д. К. Душенюк, Ф. В. Перцевой, Т. І. Маренкова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 172-178. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.25.

Please cite this article as:

Bidyuk, D., Dushenok, D., Pertsevov, F., Marenkova, M. Substantiation of technological parameters of obtaining gels on the basis of polysaccharides of various origins. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 172-178, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Бідюк, Д. О. Обоснование технологических параметров получения гелей на основе полисахаридов разного происхождения / **Д. О. Бідюк, Д. К. Душенюк, Ф. В. Перцевой, Т. И. Маренкова** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 172-178. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.25.

АННОТАЦИЯ В статье приведены данные об установлении влияния различных технологических факторов – концентрации фурицелларана, полуочищенного каппа-карагенана и камеди конжасака, продолжительности и температуры гидратации на прочность систем «фурицелларан-камедь конжасака-вода», «полуочищенный каппа-карагенан-камедь конжасака-вода». Определены основные закономерности структурообразования указанных систем.

Ключевые слова: каппа-карагенан; фурицелларан; камедь конжасака; структурообразование; прочность геля.

Надійшла (received) 08.03.2018

УДК 664.6/.7

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.26

ДОСЛІДЖЕННЯ ІОНОЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ БІЛКІВ БЕЗГЛЮТЕНОВОЇ БОРОШНЯНОЇ СИРОВИНИ В ПРИСУТНОСТІ ТВАРИННИХ БІЛКІВ

І. В. ГАЛЯСНИЙ*, Т. В. ГАВРИШ, О. М. ШАНІНА

кафедра технологій переробних та харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, УКРАЇНА

*email: ivangalyasnyj@gmail.com

АНОТАЦІЯ У статті розкриваються особливості стану білково-протеїназного комплексу борошняного тіста, що є важливим для розуміння можливих механізмів регулювання структури безглютенового тіста. Досліджено іонозв'язувальну здатність білків рисового, кукурудзяного борошна та їх суміші в присутності молочних білків кефіру та тваринних білків, отриманих із вторинної м'ясної сировини. Встановлено, що взаємодія між рослинними білками борошна та білками тваринного походження у водно-борошняній суспензії впливає на загальну здатність зв'язувати іони водню та гідроксильних груп. Отримані результати спрямовані на покращення структурно-механічних властивостей борошняного безглютенового бездріжджового тіста та хліба.

Ключові слова: потенціометричне титрування; безглютенове борошно; тваринні білки; буферні властивості; бездріжджове тісто; хліб.

RESEARCH OF THE ABILITY OF GLUTEN-FREE FLOUR PROTEINS TO BIND IONS IN THE PRESENCE OF ANIMAL PROTEINS

I. HALIASNYI*, T. GAVRISH, O. SHANINA

Department of Processing and Food Technologies, Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article reveals the peculiarities of the state of the protein-proteinase complex of flour dough, which is extremely important for understanding the possible mechanisms for regulating the structure of the gluten-free dough. The ion binding ability of gluten-free flour proteins was investigated in the presence of kefir milk proteins and animal proteins derived from secondary meat raw material. It was established that the interaction between vegetable flour proteins and animal proteins in aqueous flour suspension affects the overall ability to bind hydrogen ions and hydroxyl groups. Thus, in the suspension of rice-corn flour mixture in water with the addition of kefir, the number of bound hydroxyl ions in the range of values of pH 6...9 sharply increases. This indicates that there are active intermolecular interactions, due to which some of the negatively charged sites are blocked. In a water-flour suspension in the presence of Scanpro T95, in acid titration, the system binds less positively charged ions than their predicted amount. That is, in the acidic medium in the binding of hydrogen ions a smaller number of amino groups of protein macromolecules with an additional negative charge are involved. The source of amino groups capable of active protonation is the amino acids present in Scanpro T95 - asparagine (6.5% / 100 g protein) or glutamine (10.0% / 100 g protein). The results are aimed at improving structural and mechanical properties of gluten-free non yeast dough and bread.

Keywords: potentiometric titration; gluten-free flour; animal proteins; buffer properties; non-yeast dough; bread.

Вступ

Обмеженість використання безглютенових видів борошна, нетрадиційних для хлібопекарської галузі, пояснюється незадовільними структурно-механічними та органолептичними властивостями готових хлібобулочних виробів. Проте, всевітнє поширення хвороби целиакиї суттєво підвищило інтерес дослідників харчової промисловості до активного застосування безглютенових видів борошна [1]. Розширити асортимент продуктів харчування хворих на целиакию можна лише виготовленням безглютенової продукції. Наразі безглютенова продукція доступна на ринку, але зазвичай вона характеризується зниженою якістю через відсутність

глютену, що утворює клейковинну мережу в тісті та готовому продукті [2].

Таким чином, важливою є проблема якісного управління процесом утворення безглютенового тіста з різної борошняної сировини з урахуванням її цільового призначення.

Мета роботи

Проведені дослідження ставили за мету визначити функціонально-технологічні властивості білкових речовин борошна рисового (Б_{рис}), кукурудзяного (Б_{кук}), суміші рисово-кукурудзяної (Б_{суміш}) у співвідношенні 70/30 % відповідно та ефективність цього впливу в присутності молочних

білків кефіру та концентратів тваринних білків Сканпро Т95 (КТБ) для обґрунтування доцільності їх використання в технології безглютенових бездріжджових хлібобулочних виробів.

Для титрування водно-борошняних суспензій застосовували рН-метр лабораторний «рН-50МИ» та магнітну мішалку Magnetic stirrer.

Методи досліджень. Було обрано потенціометричне титрування як метод дослідження, найбільш інформаційний і заснований на здатності білків виявляти буферні властивості. Він дозволяє кількісно встановити зв'язані іони (H^+ або OH^-) водно-борошняною суспензією. Визначено наступний алгоритм експериментального дослідження: експериментально визначали кількість зв'язаних іонів суспензією борошна рисового та суспензією борошна кукурудзяного; далі титруванню піддавали водно-борошняну суспензію суміші $B_{\text{суміш}}$ у співвідношенні 70/30% і визначали кількість зв'язаних іонів білками обох видів борошна за умови, що взаємодія між ними як складовими борошняної суміші є потенційно можлива. Припускаємо, що взаємодія між білками різних видів борошна впливатиме на загальну здатність водно-борошняної суспензії зв'язувати іони H^+ або OH^- .

Тому наступним кроком було визначення розрахунковим шляхом сумарної кількості зв'язаних іонів рисовим і кукурудзяним борошном, коли титрування кожного виду борошна проводили окремо, тобто, в умовах, коли взаємодія між їхніми білковими макромолекулами була виключена. Розрахункова крива розташовується між відповідними кривими борошна і є алгебраїчною сумою кількості зв'язаних іонів білками $B_{\text{рис}}$, помноженої на коефіцієнт 0,7, та кількості зв'язаних іонів білками $B_{\text{кук}}$, помноженої на коефіцієнт 0,3 (з урахуванням співвідношення окремих видів борошна в суміші). Про взаємодію між білковими речовинами борошна (а також з білками добавок) свідчить не співпадіння двох кривих – експериментальної (для борошняної суміші або в присутності білкової добавки) та розрахункової.

Виклад основного матеріалу

Сучасним і ефективним напрямком регулювання технологічних властивостей борошна є комбінування різних видів борошняної сировини у заданому співвідношенні [3]. Значне різноманіття борошняних продуктів, поліпшуючих добавок, нових рецептурних компонентів, які входять до складу композицій, дозволяють змінювати структурно-механічні властивості, харчову і біологічну цінність готових виробів [4, 5].

У безглютеновому хлібопеченні існують рекомендації щодо комбінування різних видів борошна та крохмалю. В якості найбільш розповсюджених і широко вживаних сировинних інгредієнтів застосовують рисове борошно [6] та

рисовий крохмаль; кукурудзяне борошно і кукурудзяний крохмаль; картопляний крохмаль; маниоковий крохмаль; пшеничний крохмаль [7]. Як альтернативна сировина пропонуються такі: безглютенове борошно з зернових (соргове, просяне, вівсяне) [8]; безглютенове борошно з псевдозернових (гречане, амарантове, кіноа) [9].

Найпоширенішими рецептурним гідроколідами є ксантанова камедь; похідні целюлози – натрійкарбоксиметилцелюлоза, гідроксипропілметилцелюлоза, метилцелюлоза та мікрокристалічна целюлоза [10]. Розроблено спосіб приготування хліба на основі рисового та кукурудзяного борошна в комбінації з соєвими білками ізолятами з використанням ксантану або модифікованих крохмалів [11].

Білки та їх властивості відіграють вирішальну роль у формуванні структури тіста на етапі замішування та на початковому етапі випікання. Гідратовані клейковинні білки утворюють еластично-пружні властивості структури тіста під час його формування.

Тому дослідження стану білково-протеїназного комплексу борошняного тіста є вкрай важливим для розуміння можливих механізмів регулювання структури безглютенового тіста за наявності молочних та колагенвмісних білків. Узагальнення даних проводили, базуючись на експериментальних дослідженнях із застосуванням потенціометричного титрування білкових речовин борошняної сировини.

Обговорення результатів

На першому етапі проводили титрування зрізків борошна та борошняної суміші, застосовуючи як рідку фазу суспензії воду (у співвідношенні вода/борошно 45/5) та воду з додаванням кефіру (у співвідношенні вода/кефір/борошно 40/5/5). При цьому наважували 5 г $B_{\text{рис}}$, 5 г $B_{\text{кук}}$ та 5 г суміші (3,5 г $B_{\text{рис}}+1,5$ г $B_{\text{кук}}$). Результати представлено на рис. 1...4.

Аналізуючи дані потенціометричного аналізу, наведені для борошняної сировини в присутності кефіру при титруванні кислотою (рис. 1), можна ґрунтовно стверджувати про неспівпадіння експериментальної та розрахункової кривих, тим помітніше, чим більша кількість доданої кислоти. Значне розходження спостерігається вже за додавання кислоти в кількості 1мл. Це відповідає 4,7...4,8 за шкалою рН. Для кривих на рис. 2 неспівпадіння відмічено тільки після додавання 4 мл луґу. Це відповідає рН 6. До цього значення, тобто від рН 4,7...4,8 і до рН 6 спостерігається наступне.

По-перше, повне співпадіння всіх чотирьох кривих, що вказує на те, що в цьому інтервалі рН не відбувається міжмолекулярних білкових взаємодій в системі.

По-друге, за введення луґу зростає кількість зв'язаних іонів водню, а не гідроксильних іонів (криві розташовуються в області позитивних значень У).

Останнє свідчить, що у вказаному інтервалі значень рН білки в системі (борошна та молочний) виявляють буферні властивості.



Рис. 1. – Кількість зв'язаних іонів водню у водно-борошняній суспензії в присутності кефіру (у співвідношенні вода/кефір/борошно 40/5/5) з додаванням борошна рисового (B_{рис}), кукурудзяного (B_{кук}) та їх суміші (B_{суміш}) у співвідношенні 70/30 % при титруванні кислотою

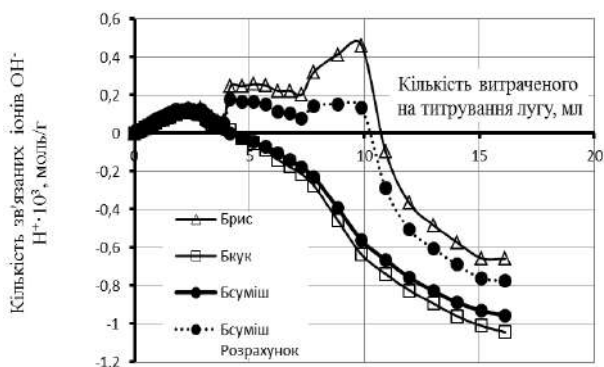


Рис. 2 – Кількість зв'язаних іонів у водно-борошняній суспензії в присутності кефіру (у співвідношенні вода/кефір/борошно 40/5/5) з додаванням борошна рисового (B_{рис}), кукурудзяного (B_{кук}) та їх суміші (B_{суміш}) у співвідношенні 70/30 % при титруванні лугом

При значенні рН вище 6 од. білки рисового борошна яскраво виявляють здатність зв'язувати іони водню (на відміну від білків кукурудзяного борошна). Можна припустити, що за додавання луку в кількості більше 4 мл вивільняються певні ділянки білкових макромолекул, які є негативно зарядженими і здатні зв'язувати позитивно заряджені іони водню. А в разі створення системи на основі борошняної суміші різко зростає кількість зв'язаних гідроксильних іонів (аналогічно білкам кукурудзяного борошна). Припускаємо, що саме в цьому інтервалі значень рН найактивніше відбуваються міжмолекулярні взаємодії, внаслідок яких частина негативно заряджених ділянок, здатних зв'язувати позитивно заряджені іони, блокується.

Аналізуючи дані, наведені для борошняної сировини в присутності води при титруванні кислотою (рис. 3), можна підтвердити неспівпадіння експериментальної та розрахункової кривих. Подібно зразку на кефірі, неспівпадіння є тим помітнішим, чим більшою є кількість доданої кислоти. Суттєве розходження спостерігається вже за додавання кислоти в кількості більше 2 мл. Це відповідає 4,3...4,2 за шкалою рН. Для кривих на рис. 4 відмічено практично повне співпадіння розрахункової та експериментальної кривих. Це дозволяє зробити припущення щодо визначення інтервалу рН, в якому відбуваються міжмолекулярні взаємодії у водно-борошняній суспензії між двома видами рослинних білків, а саме рисового та кукурудзяного борошна. Очевидно, наслідком такої взаємодії є вивільнення певної кількості ділянок з додатковим негативним зарядом. Тому експериментальна кількість зв'язаних іонів водню, що мають позитивний заряд, є вищою, ніж розрахована.

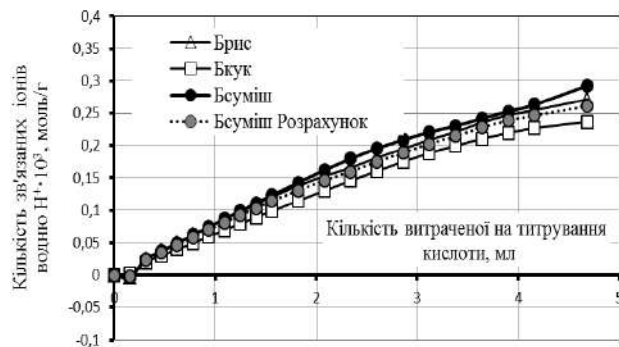


Рис. 3 – Кількість зв'язаних іонів водню у водно-борошняній суспензії з додаванням борошна рисового (B_{рис}), кукурудзяного (B_{кук}) та їх суміші (B_{суміш}) у співвідношенні 70/30 % при титруванні кислотою

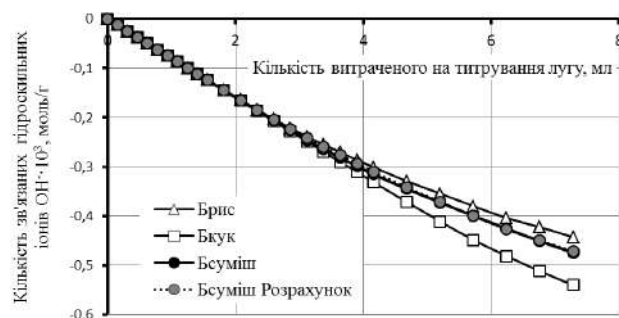


Рис. 4. – Кількість зв'язаних іонів водню у водно-борошняній суспензії (у співвідношенні вода/борошно 45/5) з додаванням борошна рисового (B_{рис}), кукурудзяного (B_{кук}) та їх суміші (B_{суміш}) у співвідношенні 70/30 % при титруванні лугом

На наступному етапі досліджували вплив білкових добавок (КТБ) на здатність білків борошна зв'язувати іони під час титрування лугом та кислотою.

В якості рідкої фази досліджували воду, оскільки згідно технологічних досліджень застосування добавок поліпшувачів є доцільним в разі виключення з рецептури кефіру та включення води. Результати - на рис. 5...6.

За додавання до борошняної суміші КТБ Сканпро Т95 спостерігається протилежна тенденція (рис. 5). При титруванні кислотою експериментальна крива розташовується нижче розрахункової. Інакше кажучи, система зв'язує менше позитивно заряджених іонів, ніж "могла б" (коли взаємодія між білками не відбувається, а макромолекули кожного виду білка зв'язують максимально можливу кількість іонів H^+). Так, за рН 5,18 (що відповідає 1 мл доданої кислоти) експериментальне значення для зразка $B_{\text{суміш}} + \text{КТБ}$ дорівнює $0,087 \cdot 10^{-3}$ моль/г, теоретичне - $0,122 \cdot 10^{-3}$ моль/г (різниця між ними складає $\Delta = 0,036 \cdot 10^{-3}$); за рН 4,51 (що відповідає 2 мл доданої кислоти) $\Delta = 0,057 \cdot 10^{-3}$ моль/г; за рН 3,5 (4 мл кислоти) $\Delta = 0,059 \cdot 10^{-3}$ моль/г.

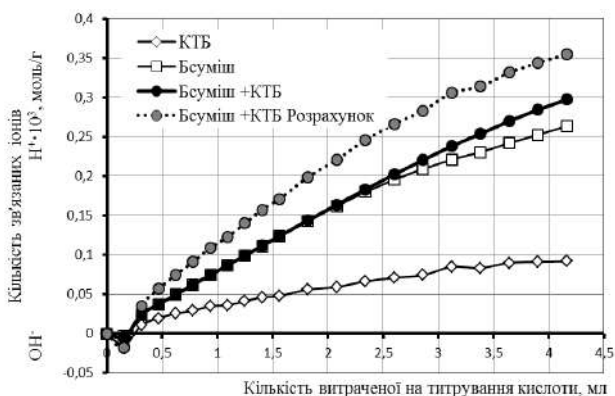


Рис. 5. – Кількість зв'язаних іонів водню у водно-борошняній суспензії з борошняної суміші ($B_{\text{суміш}}$) у співвідношенні 70/30 % в присутності КТБ при титруванні кислотою

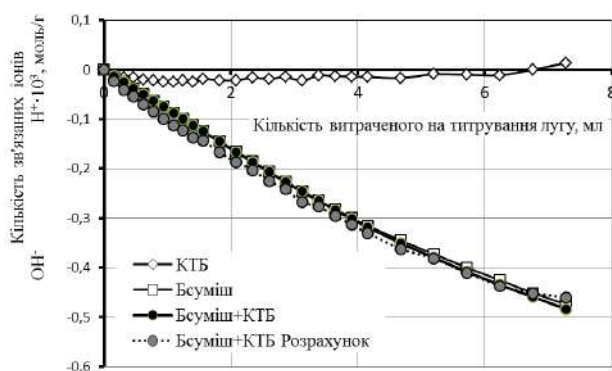


Рис. 6. – Кількість зв'язаних іонів водню у водно-борошняній суспензії з борошняної суміші ($B_{\text{суміш}}$) у співвідношенні 70/30 % в присутності КТБ при титруванні лугом

Як видно, зі зміщенням рН системи в кислий бік зростає різниця між експериментальним і теоретичним значеннями. Можна припустити, що в кислому середовищі у зв'язуванні іонів H^+ бере участь менша кількість аміногруп білкових макромолекул з додатковим негативним зарядом. Джерелом аміногруп, здатних до активного протонування, є амінокислоти, наявні у Сканпро Т95 – аспарагін (6,5 %/100 г білка) або глютамін (10,0 %/100г білка) [12]. Така поведінка в системі під час титрування пояснюється наявністю КТБ та його унікальними властивостями. Як бачимо (рис. 6), ці білки практично не зв'язують гідроксильні іони при титруванні лугом.

Висновки

Узагальнення даних титриметричного аналізу кількісно підтверджує неадитивність зв'язування білками борошняної суміші ($B_{\text{суміш}}$ у співвідношенні 70/30 %): гідроксильних іонів – за додавання молочних білків (рецептурний компонент – кефір); іонів водню – за додавання м'ясних білків (рецептурний компонент – КТБ Сканпро Т95, отриманий з вторинної м'ясної сировини). Це, безумовно, вказує на виникнення взаємодій між білками рослинного та тваринного походження у водному середовищі (як рідка фаза безглютенового бездріжджового тіста). Як наслідок – зміни молекулярно-масового розподілу між окремими фракціями білків тіста та конформаційного стану білкових макромолекул. Для уточнення можливих змін необхідно провести серію експериментальних досліджень щодо стану вуглеводно-аміазного комплексу безглютенового тіста.

Список літератури

- Green, P. H. R. Celiac Disease / P. H. R. Green, C. Cellier // *New England Journal of Medicine*. – 2007. – Vol. 357, № 17. – P. 1731-1743. – doi:10.1056/nejmra071600.
- Jeffrey, L. C. Gluten-free Baked Products / L. C. Jeffrey, W. A. Atwell // *AACC international, Inc.* – 2014. – 88 p.
- Шаніна, О. М. Обґрунтування складу борошняної сировини в технології безглютенового бездріжджового хліба / О. М. Шаніна, І. В. Галясний, Н. Л. Лобачова // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. – 2015. – Vol. 4, № 2. – P. 56-60.
- Стабровская, О. Анализ рынка многокомпонентных смесей для производства хлебобулочных изделий / О. Стабровская, А. Романов, О. Короткова // *Хлебопродукты*. – 2011. – № 1. – С. 28-30.
- Кузнецова, Л. И. Научные основы разработки безглютеновых смесей / Л. И. Кузнецова, Г. В. Мельникова, Н. Д. Синявская // *Хлебопечение России*. – 2001. – № 3. – С. 30-31.
- Demirkesen, I. Rheological properties of gluten-free bread formulations / I. Demirkesen, B. Mert, G. Sumnu, S. Sahin // *Journal of Food Engineering*. –

2010. – Vol. 96, № 2. – P. 295-303. – doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004.
7. **Do Nascimento, A. B.** Analysis of ingredient lists of commercially available gluten-free and gluten-containing food products using the text mining technique / **A. B. Do Nascimento, G. M. R. Fiates, A. dos Anjos, E. Teixeira** // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. – 2012. – Vol. 64, № 2. – P. 217-222. – doi:10.3109/09637486.2012.718744.
 8. **Marston, K.** Evaluation of sorghum flour functionality and quality characteristics of gluten-free bread and cake as influenced by ozone treatment / **K. Marston, H. Khouryieh, F. Aramouni** // *Food Science and Technology International*. – 2014. – Vol. 21, № 8. – P. 631-640. – doi:10.1177/1082013214559311.
 9. **Torbica, A.** Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour / **A. Torbica, M. Hadnadev, T. Dapcevic** // *Food Hydrocolloids*. – 2010. – Vol. 24, № 6–7. – P. 626-632. – doi:10.1016/j.foodhyd.2010.03.004.
 10. **Anton, A. A.** Hydrocolloids in gluten-free breads: A review / **A. A. Anton, S. D. Artfield** // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. – 2008. – Vol. 59, № 1. – P. 11-23. – doi:10.1080/09637480701625630.
 11. **Барсукова, Н. В.** Новые технологические подходы к созданию специализированных продуктов питания для безглютеновой диеты / **Н. В. Барсукова, В. Н. Красильников** // *Материалы V Российского Форума «Здоровое питание с рождения: медицина, образование, пищевые технологии. Санкт-Петербург-2010»*. – СПб., 2010. – С. 7-8.
 12. **Phongthai, S.** Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties / **S. Phongthai, S. D'Amico, R. Schoenlechner, S. Rawdkuen** // *Journal of Cereal Science*. – 2016. – Vol. 72. – P. 38-45. – doi:10.1016/j.jcs.2016.09.015.
 - tekhnologiyi bez-hlyutenovoho bezdrizhdzhovoho khliba. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*, 2015, 4 (2), 56-60.
 4. **Stabrovskaya, O., Romanov, A., Korotkova, O.** Analiz rynka mnogokomponentnykh smesey dlya proizvodstva khlebobulochnykh izdeliy. *Khleboprodukt*, 2011, 1, 28-30.
 5. **Kuznetsova, L. I., Mel'nikova, G. V., Sinyavskaya N. D.** Nauchnyye osnovy razrabotki bezglyutenovykh smesey. *Khlebopecheniye Rossii*, 2001, 3, 30-31.
 6. **Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S.** Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 2010, 96 (2), 295-303, doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004.
 7. **Do Nascimento, A. B., Fiates, G. M. R., dos Anjos, A., Teixeira, E.** Analysis of ingredient lists of commercially available gluten-free and gluten-containing food products using the text mining technique. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 64 (2), 217-222, doi:10.3109/09637486.2012.718744.
 8. **Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F.** Evaluation of sorghum flour functionality and quality characteristics of gluten-free bread and cake as influenced by ozone treatment. *Food Science and Technology International*, 2014, 21 (8), 631-640, doi:10.1177/1082013214559311.
 9. **Torbica, A., Hadnadev, M., Dapcevic, T.** Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24 (6–7), 626-632, doi:10.1016/j.foodhyd.2010.03.004.
 10. **Anton, A. A., Artfield, S. D.** Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2008, 59 (1), 11-23, doi:10.1080/09637480701625630.
 11. **Barsukova, N. V., Krasil'nikov V. N.** Novyye tekhnologicheskiye podkhody k sozdaniyu spetsializirovannykh produktov pitaniya dlya bezglyutenovoy diyety. *Materialy V Rossiyskogo Foruma «Zdorovoye pitaniye s rozhdeniya: meditsina, obrazovaniye, pishchevyye tekhnologii. Sankt-Peterburg-2010»*, 2010, 7-8.
 12. **Phongthai, S., D'Amico, S., Schoenlechner, R., Rawdkuen, S.** Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 2016, 72, 38-45, doi:10.1016/j.jcs.2016.09.015.

Bibliography (transliterated)

1. **Green, P. H. R., Cellier, C.** Celiac Disease. *New England Journal of Medicine*, 2007, 357 (17), 1731-1743, doi:10.1056/nejmra071600.
2. **Jeffrey, L. C., Atwell, W. A.** Gluten-free Baked Products. *AACC international, Inc.*, 2014, 88.
3. **Shanina, O. M., Haliasnyi, I. V., Lobachova, N. L.** Obgruntuvannya skladu boroshnyanoyi syrovyny v

Відомості про авторів (About authors)

Галясний Іван Володимирович – аспірант кафедри технологій переробних та харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, Україна; e-mail: ivangalyasnyj@gmail.com.

Ivan Haliasnyi – Postgraduate Student, Department of Processing and Food Technologies, Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine; e-mail: ivangalyasnyj@gmail.com.

Гавриш Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій переробних та харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, Україна; e-mail: gavrishtanya@mail.ru.

Tetyana Gavrish – Ph. D., Docent, Department of Processing and Food Technologies, Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine; e-mail: gavrishtanya@ukr.net.

Шаніна Ольга Миколаївна – доктор технічних наук, професор кафедри технологій переробних та харчових виробництв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, Україна; e-mail: avgust23@ukr.net.

Olga Shanina – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processing and Food Technologies, Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine; e-mail: avgust23@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Галясний, І. В. Дослідження іонозв'язувальної здатності білків безглютенового борошна в присутності тваринних білків / **І. В. Галясний, Т. В. Гавриш, О. М. Шаніна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 179-184. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.26.

Please cite this article as:

Haliashnyi, I., Gavrish, T., Shanina, O. Research of the ability of gluten-free flour proteins to bind ions in the presence of animal proteins. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 179-184, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.26.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Галясний, І. В. Исследование ионосвязывающей способности белков безглютеновой муки в присутствии животных белков / **І. В. Галясний, Т. В. Гавриш, О. М. Шаніна** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 179-184. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.26.

АННОТАЦІЯ В статті розкриваються особливості стану білково-протеїнового комплексу мучного тесту, що дуже важливо для розуміння можливих механізмів регулювання структури безглютенового тесту. Досліджена іонозв'язувальна здатність білків рисової, кукурудзяної муки та їх суміші в присутності молочних білків кефіру та тваринних білків, отриманих з вторинного м'ясного сиров'язу. Встановлено, що взаємодія між рослинними білками муки та білками тваринного походження в водно-мучній суспензії впливає на загальну здатність зв'язувати іони водню та гідроксильних груп. Так, в суспензії з рисово-кукурудзяної мучної суміші в воді з додаванням кефіру різко зростає кількість зв'язаних гідроксильних іонів в інтервалі значень рН 6...9. Це свідчить про те, що відбуваються активні міжмолекулярні взаємодії, в результаті яких частину негативно заряджених частин блокується. В водно-мучній суспензії в присутності Scanpro T95 при титруванні кислотою система зв'язує менше позитивно заряджених іонів, ніж прогнозоване їх кількість. Тобто, в кислому середовищі зв'язування іонів водню бере участь менше кількість аміногруп білкових макромолекул з додатковим негативним зарядом. Отримані результати спрямовані на покращення структурно-механічних властивостей безглютенового бездріжджового тесту та хліба.

Ключові слова: потенціометричне титрування; безглютенова мука; тваринні білки; буферні властивості; бездріжджове тесто; хліб.

Надійшла (received) 08.03.2018

УДК 664.8.037.1:634.75

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.27

ВПЛИВ УМОВ ТА ТРИВАЛОСТІ ЗБЕРІГАННЯ НА ШВИДКІСТЬ ВТРАТ БЛИСКУ ЯГІД СУНИЦІ

І. Л. ЗАМОРСЬКА

кафедра технології зберігання і переробки плодів та овочів, Уманський національний університет садівництва,
м. Умань, УКРАЇНА
*email: zil197608@gmail.com

АНОТАЦІЯ Досліджено ступінь блиску поверхні та втрати маси ягід суниці сорту Хоней залежно від умов зберігання: без охолодження (за температури 20 ± 1 °C та відносної вологості повітря 55–60 %) та з охолодженням (за температури 0 ± 1 °C та відносної вологості повітря 90–95 %). Встановлено, що поверхня ягід суниці під час зберігання в різних умовах поступово втрачає блиск і через декілька годин від початку зберігання стає повністю тьмяною. Доведено, що за умов зберігання ягід суниці без охолодження втрата ознак свіжості починається вже через 1 год за досягнення втрат маси 2,5 %, тоді як в умовах холодильника – через 2 год, з рівнем втрат маси 2,0 %.

Ключові слова: суниця; блиск; втрати маси; зберігання; температура

THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS AND DURATION ON THE SPEED OF STRAWBERRY SHINE LOSS

I. ZAMORSKA

Department of technology storage and processing of fruits and vegetables, Uman national university of horticulture, Uman, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the work is to study the effect of storage conditions and duration of Honey strawberry on the fastness of strawberry shine change. The degree of surface shine and mass losses of Honey strawberry depending on storage conditions were studied: without cooling (at temperature 20 ± 1 °C and air relative humidity 55–60 %) and with cooling (at temperature 0 ± 1 °C and air relative humidity 90–95 %). During the research, natural mass losses were measured by weighing fixed samples and the degree of strawberry shine – visually by a 5-point scale, where 1 – dim berry surface, without shine, and 5 – shiny glossy surface.

It has been found out that during the storage in different conditions strawberry surface gradually loses its shine and some hours later, from the beginning of storage, it becomes completely dim. When stored without cooling at room temperature and air relative humidity the degree of strawberry surface shine decreases rapidly. An hour later strawberry surface gets dim in these conditions, which corresponds to mass loss at level of 2,5 %, and after 2,5 hours from the beginning of the trial strawberry surface loses its shine completely. Natural mass losses of strawberries are 4,6 %. Strawberries maintained shiny glossy surface within an hour and a half (1,5 hour) in the conditions of refrigerated storage. Strawberry surface began to dim after 2 hours; their mass loss was 2,0 %. The studies proved a strong inverse correlation between the degree of strawberry shine and mass losses in different storage conditions: for storage conditions without cooling ($r=-0,91$), for refrigerated storage ($r=-0,94$). It has been confirmed that when strawberries are stored without cooling the loss of freshness begins after 1 hour and mass loss is 2,5 %, whereas in refrigerated storage it occurs after 2 hours and mass loss is 2 %.

Keywords: strawberries; shine; weight loss; storage; temperature

Вступ

Якість фруктів є складним комплексом показників, що визначають їхню придатність для споживання в свіжому вигляді або зберігання протягом певного періоду без погіршення товарних та споживних властивостей. Поняття «якість» охоплює фізичні, фізіологічні, харчові властивості фруктів, а також дефекти, що впливають на терміни їхнього зберігання. Оцінка свіжої продукції здійснюється за зовнішнім виглядом (розміром, формою, кольором, блиском, відсутністю ознак розпаду), консистенцією (щільністю), а також харчовою і біологічною цінністю, що зумовлена вмістом вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин тощо [1].

Серед біологічних причин погіршення якості плодів виділяють інтенсивність дихання, вплив етилену, темпи змін хімічного складу, що пов'язані зі змінами кольору, консистенції, аромату та дієтичної цінності, наявність механічних пошкоджень, ознак фізіологічних розладів та розпаду тканин. В свою чергу швидкість біологічного псування залежить від зовнішніх чинників, що піддаються регулюванню, серед яких температура, відносна вологість повітря, газовий склад середовища, концентрація етилену [2].

Постановка проблеми

Ягоди суниці мають відносно короткий термін зберігання через високий вміст води, тонкий шар

покривних тканин, який не захищає від надмірного випаровування та механічних ушкоджень, високу здатність до мікробіологічного псування [3].

Органолептичні властивості ягід суниці є поєднанням смаку, аромату, консистенції та зовнішнього вигляду [4].

Ягоди суниці швидко втрачають свої органолептичні властивості незабаром після збору врожаю, що обмежує їх термін придатності за температури навколишнього середовища до декількох діб [5]. Якість плодів після відділення їх від материнської рослини оцінюється, в основному, за їхнім зовнішнім виглядом, який свідчить про свіжість, інтенсивність забарвлення, відсутність ознак розпаду тканин та фізіологічних розладів [6].

Важливою органолептичною характеристикою ягід суниці є зовнішній вигляд, що тісно пов'язаний з кольором ягід, зовнішнім блиском та формою. Цей показник важливий з комерційної точки зору, оскільки має найбільший вплив на формування ціни на суницю [7]. Червоне забарвлення і аромат ягід є індикаторами ступеня стиглості, тоді як блиск можна вважати індикатором свіжості [5], що свідчить також і про відсутність втрат вологи в продукції [8]. Описовий аналіз ягід суниці передбачає формулювання: «блискучий зовнішній вигляд на зовнішній поверхні» [5].

Під час зберігання ягід суниці блиск на поверхні поступово зменшується до поступового зникнення, що зумовлено, в першу чергу, втратами вологи ягодами суниці [9, 10]. Оцінити ступінь блиску ягід суниці можна візуально за кімнатного освітлення [11].

Оскільки в науковій літературі не виявлено даних про зміни інтенсивності глянцевої поверхні суниці під час зберігання, нами досліджено ступінь блиску поверхні ягід залежно від умов та тривалості зберігання та у зв'язку зі втратами маси.

Мета роботи

Дослідження впливу умов та тривалості зберігання суниці сорту Хоней на швидкість зміни ступеня блиску ягід.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження були ягоди суниці сорту Хоней. Дослідження виконували в холодильнику кафедри технології зберігання та переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва згідно методичних вказівок по зберіганню плодів, овочів і винограду [12]. Ягоди збирали в споживній стадії стиглості. Частину ягід зберігали без штучного охолодження за температури 20 ± 1 °C та відносної вологості повітря 55–60 % упродовж шести годин. Іншу частину ягід пакували в перфоровані пластикові коробки, призначені для

пакування харчових продуктів масою 0,25 кг і зберігали в холодильнику за температури 0 ± 1 °C та відносної вологості повітря 90–95 % упродовж шести годин. Повторність досліду десятикратна.

Під час досліджень фіксували природні втрати маси методом зважування фіксованих проб [13] та ступінь блиску ягід візуально за 5-бальною шкалою, де 1– тьмяна поверхня ягід, без блиску, а 5– блискуча глянцева поверхня [11].

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Обговорення результатів

В таблиці 1 представлено дані зміни ступеня блиску ягід суниці під час зберігання в різних умовах та у зв'язку з природними втратами маси.

З отриманих даних видно, що поверхня ягід суниці під час зберігання в різних умовах поступово втрачає блиск і через декілька годин від початку зберігання стає повністю тьмяною.

Так, за умов зберігання ягід без охолодження, за кімнатної температури та відносної вологості повітря, ступінь блиску їхньої поверхні зменшується швидкими темпами. Вже через одну годину зберігання за цих умов поверхня ягід починає тьмяніти, що відповідає втратам маси ягід на рівні 2,5 %, що зумовлено високою температурою зберігання ягід та низькою відносною вологістю повітря. Дослідженнями встановлено, що через 2,5 год від початку досліду поверхня ягід повністю втрачає глянець. Природні втрати маси ягід при цьому складають 4,6 %.

За умов холодильного зберігання ягоди суниці зберігали блискучу глянцевою поверхню протягом 1,5 год. Поверхня ягід суниці починала тьмяніти через 2 години, а втрати їхньої маси при цьому склали 2,0 %. В цілому, за холодильного зберігання темпи втрат блиску на поверхні ягід були менш інтенсивними, проте і за цих умов через шість годин зберігання ягоди суниці мали повністю тьмяну поверхню. Очевидно, що холодильне зберігання ягід не запобігає втратам ознак свіжості, а досить швидкий початок втрат блиску ягід в цих умовах зумовлений холодильним стресом в результаті різкої дії низьких температур. Ягоди суниці, що зберігалися в холодильних умовах через шість годин зберігання мали повністю тьмяну поверхню, а природні втрати маси при цьому сягали рівня 4,3 %.

З огляду на вищезазначене, ягоди суниці повністю втрачають ознаки свіжості за досягнення ними природних втрат маси на рівні 4,3–4,6 %.

Дослідженнями встановлено обернений сильний кореляційний зв'язок між ступенем блиску ягід суниці та втратами маси за різних умов зберігання (рис. 1, 2):

Таблиця 1 – Ступінь блиску ягід суниці залежно від умов та тривалості зберігання

Умови зберігання	Тривалість зберігання, год												
	свіжозібрані ягоди	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Ступінь блиску, бал													
Без охолодження	5	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
За холодильного зберігання	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	1
Втрати маси, %													
Без охолодження	0,0	1,4	2,5	2,9	3,5	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,8	7,2	7,5
За холодильного зберігання	0,0	0,3	0,7	1,3	2,0	2,3	2,6	3,0	3,2	3,4	3,8	4,0	4,3
НІР ₀₅	0,3												

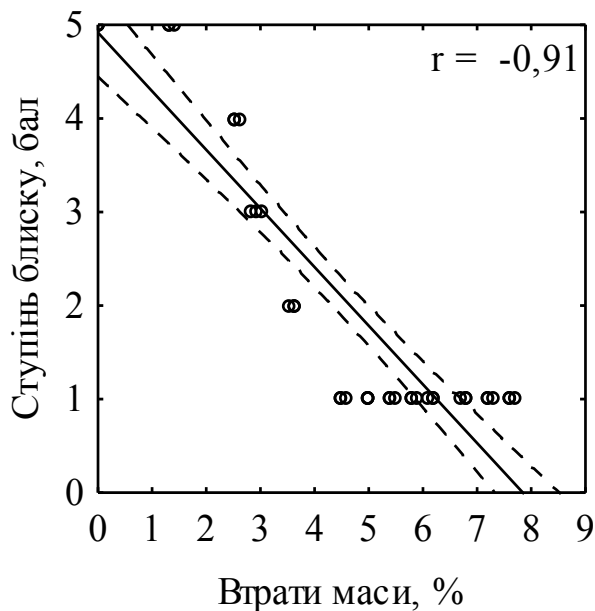


Рис. 1 – Залежність ступеня блиску ягід суниці сорту Хоней від втрат маси під час зберігання без охолодження

– для умов зберігання без охолодження ($r = -0,91$) описується рівнянням регресії:

$y = 4,9176 - 0,6266x$; де y – ступінь блиску, бал; x – втрати маси, %;

– для умов зберігання за холодильного охолодження ($r = -0,94$) описується рівнянням регресії:

$y = 5,5863 - 0,8578x$, де y – ступінь блиску, бал; x – втрати маси, %.

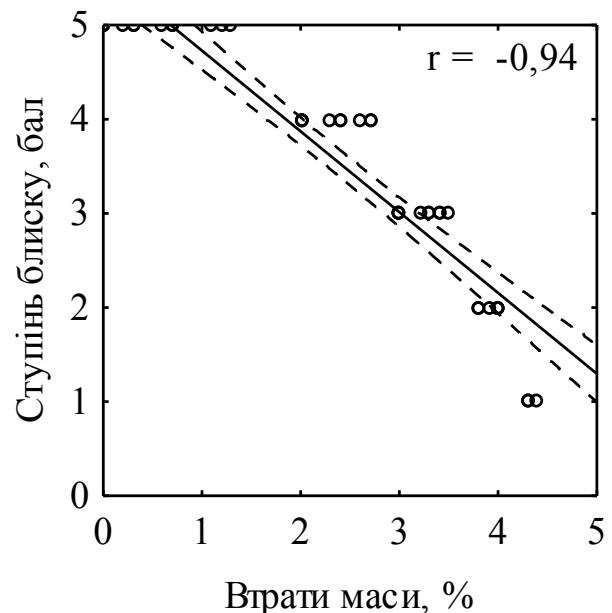


Рис. 2 – Залежність ступеня блиску ягід суниці сорту Хоней від втрат маси під час зберігання за холодильного охолодження

Отримані коефіцієнти кореляції підтверджують значну залежність ступеня блиску поверхні ягід суниці від розміру їхніх природних втрат маси під час зберігання: збільшення втрат маси ягід супроводжується зменшенням їхнього ступеня блиску.

Висновки

Таким чином, під час зберігання ягід суниці в різних умовах спостерігається втрата ознак свіжості, що виявляється в зміні ступеня блиску. Доведено, що швидкість цього процесу залежить від умов

зберігання та має обернену залежність від природних втрат маси ($r=-0,91\dots-0,94$). За умов зберігання ягід суниці без охолодження втрата ознак свіжості починається вже через 1 год за досягнення втрат маси 2,5 %, тоді як за холодильного охолодження – через 2 год, з рівнем втрат маси 2,0 %.

Список літератури

1. ElMasry, G. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry / G. ElMasry, N. Wang, A. ElSayed, M. Ngadi // *Journal of Food Engineering*. – 2007. – Т. 81. – №. 1. – P. 98-107. – doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.10.016.
2. Kader, A. A. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce / Kader, A. A. // *In V International Postharvest Symposium 682*. – 2004. – P. 2169-2176. – doi: 10.17660/ActaHortic.2005.682.296.
3. He, C. Impact of Sensory Quality and Labels on Consumer Preference of Fresh Strawberries / C. He, Z. Gao, L. House, Z. Guan. In 2016 Annual Meeting, February 6-9. – 2016. – San Antonio, Texas. – (№. 230122). – Southern Agricultural Economics Association.
4. Jouquand, C. A sensory and chemical analysis of fresh strawberries over harvest dates and seasons reveals factors that affect eating quality / C. Jouquand, C. Chandler, A. Plotto, K. Goodner // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 2008. – no. 133(6). – P. 859-867.
5. Ares, G. Development of a sensory quality index for strawberries based on correlation between sensory data and consumer perception. / G. Ares, S. Barrios, C. Lareo, P. Lema // *Postharvest biology and technology*. – 2009. – №52(1). – P. 97-102. – doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.11.001.
6. Pelayo, C. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air + 20 kPa CO₂/ C. Pelayo, S. E. Ebeler, A. A. Kader // *Postharvest Biology and Technology*. – 2003. – №27(2). – P. 171-183. – doi: 10.1016/S0925-5214(02)00059-5.
7. de Resende, J. T. V. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits / J. T. V. de Resende, L. K. Camargo, E. J. Argandoña, A. Marchese, C. K. Camargo // *Horticultura Brasileira*. – 2008. – №26(3). – P. 371-374. – doi: 10.1590/S0102-05362008000300015.
8. Mitcham, B. Quality assurance for strawberries: a case study / B. Mitcham // *Perishables Handling Newsletter*. – 1996. – №85. – P. 6-9.
9. Gil, M. I. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments / M. I. Gil, D. M. Holcroft, A. A. Kader // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1997. – Т. 45. – №. 5. – P. 1662-1667. – doi: 10.1021/jf960675e.
10. Pelayo-Zaldívar, C. Quality and chemical changes associated with flavor of 'Camarosa' strawberries in response to a CO₂-enriched atmosphere/ C. Pelayo-Zaldívar, J. B. Abda, S. E. Ebeler, A. A. Kader // *HortScience*. – 2007. – №42(2). – P. 299-303.
11. Whitaker, V. M. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of University of Florida cultivars and advanced selections / V. M. Whitaker et

- al. // *HortScience*. – 2011. – Т. 46. – №. 4. – P. 553-557.
12. Методические рекомендации по хранению плодов, овощей и винограда. Организация и проведения исследований. Под общей ред. С. Ю. Дженеева, В. И. Иванченко. Ялта. Институт винограда и вина «Магарач». – 1998. – 152 с.
13. Найченко, В. М. Технологія зберігання і переробки плодів та овочів. Навчальний посібник // В. М. Найченко, І. Л. Заморська. – Умань. Видавець «Сочінський». – 2010. – 328 с.

Bibliography (transliterated)

1. ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., Ngadi, M. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering*, 2007, **81**, 1, 98-107.
2. Kader, A. A. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *In V International Postharvest Symposium 682*, 2004, 2169-2176.
3. He, C., Gao, Z., House, L., Guan, Z. Impact of Sensory Quality and Labels on Consumer Preference of Fresh Strawberries. *In 2016 Annual Meeting, February 6-9*, 2016, San Antonio, Texas (№. 230122), Southern Agricultural Economics Association.
4. Jouquand, C., Chandler, C., Plotto, A., Goodner, K. A sensory and chemical analysis of fresh strawberries over harvest dates and seasons reveals factors that affect eating quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2008, **133**(6), 859-867.
5. Ares, G., Barrios, S., Lareo, C., Lema, P. Development of a sensory quality index for strawberries based on correlation between sensory data and consumer perception. *Postharvest biology and technology*, 2009, **52**(1), 97-102.
6. Pelayo, C., Ebeler, S. E., Kader, A. A. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 C in air or air+ 20 kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, **27**(2), 171-183.
7. de Resende, J. T. V., Camargo, L. K., Argandoña, E. J., Marchese, A., Camargo, C. K. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. *Horticultura Brasileira*, 2008, **26**(3), 371-374.
8. Mitcham, B. Quality assurance for strawberries: a case study. *Perishables Handling Newsletter*, 1996, **85**, 6-9.
9. Gil, M. I., Holcroft, D. M., Kader, A. A. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, **45**, №. 5, 1662-1667.
10. Pelayo-Zaldívar, C., Abda, J. B., Ebeler, S. E., Kader, A. A. Quality and chemical changes associated with flavor of 'Camarosa' strawberries in response to a CO₂-enriched atmosphere. *HortScience*, 2007, **42**(2), 299-303.
11. Whitaker, V. M. et al. Historical trends in strawberry fruit quality revealed by a trial of University of Florida cultivars and advanced selections. *HortScience*, 2011, **46**, 4, 553-557.
12. Методические рекомендации по хранению плодов, овощей и винограда. Организация и проведения исследований [Methodological recommendations on the storage of fruits, vegetables and grapes. Organization and conducting of research]. Under the general ed. S.

- Yu. Dzeneeva, V. I. Ivanchenko, *Yalta, Institute of grapes and wine "Magarach"*, 1998, 152 p. of storage and processing of fruits and vegetables].
13. **Naychenko, V. M., Zamorska, I. L.** Tehnologija zberigannja i pererobki plodiv ta ovociv [Technology *Textbook, Uman, Publisher "Sochinsky"*, 2010, 328 p.

Сведения об авторах (About authors)

Заморська Ірина Леонідівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Уманський національний університет садівництва, доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів; м. Умань, Україна; e-mail: zil197608@gmail.com.

Iryna Zamorska – Candidate of Sciences Agry (Ph. D.), Associate Professor, Department of technology storage and processing of fruits and vegetables, Uman national university of horticulture, Uman, Ukraine; e-mail: zil197608@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Заморська, І. Л. Вплив умов та тривалості зберігання на швидкість втрат блиску ягід суниці / **І. Л. Заморська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 185-189. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.27.

Please cite this article as:

Zamorska, I. The effect of storage conditions and duration on the speed of strawberry shine loss *Bulletin of NTU KhPI* // *Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 185-189, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.27.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Заморская, И. Л. Влияние условий и продолжительности хранения на скорость потери блеска ягод земляники / **И. Л. Заморская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 185-189. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.27.

АННОТАЦИЯ Исследована степень блеска поверхности и потери массы ягод земляники сорта Хоней в зависимости от условий хранения: без охлаждения (при температуре 20 ± 1 °C и относительной влажности воздуха 55-60 %) и с охлаждением (при температуре 0 ± 1 °C и относительной влажности воздуха 90-95 %). Установлено, что поверхность ягод земляники во время хранения в различных условиях постепенно теряет блеск и через несколько часов от начала хранения становится полностью тусклой. Доказано, что в условиях хранения ягод земляники без охлаждения потеря признаков свежести начинается уже через 1 час при достижении потерь массы 2,5 %, тогда как в условиях холодильника – через 2 ч, с уровнем потерь массы 2,0 %.

Ключевые слова: земляника; блеск; потери массы; хранение; температура

Надійшла (received) 08.03.2018

УДК 502/504+514.18

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.28

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ І ЛОКАЛЬНОГО КОНЦЕНТРУВАННЯ ПОЛЮТАНТІВ У ПРИДОРОЖНЬОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ

О. Є. КОФАНОВ

*Кафедра інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, УКРАЇНА
email: aleckof@protonmail.com*

АНОТАЦІЯ Дослідження дорожніх умов та виявлення об'єктів підвищеного екоотоксикологічного впливу з боку автотранспорту в м. Києві дало змогу за допомогою програмного комплексу MathCad створити просторові моделі та побудувати поля розсіювання емітентів відпрацьованих газів автомобілів (на прикладі чадного газу CO), а також визначити умови розповсюдження забруднювачів до і після модифікації моторного палива дизельної складової транспортного потоку розробленими багатофункціональними присадками й добавками оксигенатного біокомпоненту. Розроблена та апробована методика короткострокового прогнозування забруднення придорожного міського повітряного простору основними поллютантами викидів автотранспортних засобів. За дискретно-інтерполяційного підходу враховано геометричні особливості лінійних джерел забруднення, уточнено локальні забруднення придорожного простору й прилеглих до автомагістралей територій. Визначено екологічний ефект від модифікації моторного дизельного палива розробленою багатофункціональною присадкою. Доведено, що при гіпотетичному застосуванні розробленої присадки ізоконцентрації токсикантів наближаються до гранично-допустимих значень на меншій відстані від лінійного джерела викиду (автомагістралі).

Ключові слова: автотранспорт; забруднення атмосферного повітря; поллютанти; придорожній повітряний простір; розсіювання домішок у повітрі.

MODELING OF DISPERSION AND LOCAL CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN THE ROADSIDE AIRSPACE

O. KOFANOV

Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT It has been determined that air pollution in many cities, including Kyiv, is dangerous for humans and causes serious environmental problems and risks. In addition, the high number of diesel vehicles in the country requires an investigation of the impacts of their emissions on the environment and human health. The problem is also intensified by the fact that in recent years in Ukraine the tendency of the old vehicles usage with engines of ecological classes below Euro-3 can be observed. Therefore, the purpose of the study is to develop and implement spatial models of dispersion and localization of the main toxicants of exhaust gases near motorways (roadside territories).

So, the study of road conditions and the detection of objects of the increased ecotoxicological influence from the motor transport in Kyiv allowed to create spatial models and visualize dispersion fields of contaminants of exhaust vehicle gases (for example, carbon monoxide CO) by MathCad software system. It also allowed to determine distribution conditions of the pollutants before and after the modification of diesel motor fuel by the developed multifunctional additives and oxygenate biocomponent. The method of short-term forecasting of the roadside urban airspace pollution by the main pollutants of motor vehicle emissions has been developed and tested. By the discrete-interpolation approach, the geometric features of linear pollution sources were taken into account; the local pollution of roadside areas was specified. The environmental effect of the modification of the motor diesel fuel by the developed multifunctional additive has been determined.

Keywords: motor transport; atmosphere pollution; pollutants; roadside airspace; dispersion of impurities in the air.

Вступ

Транспортну магістраль можна розглядати і моделювати як лінійне джерело викидів, закономірності розповсюдження поллютантів поряд з яким залежать від висоти джерела викидів над рівнем поверхні, стратифікації атмосфери, швидкості вітру, вологості, умов руху та характеристик транспортного потоку (ТП), орографії підстилаючої поверхні, характеру й щільності міської забудови (МЗ) тощо [1–3].

Рослинність, особливо високі дерева, також

сильно впливають на зміну характеристик вітрового потоку й особливості розподілу поллютантів у приземному повітряному шарі. Відбувається часткове поглинання й внаслідок цього певне очищення повітря від шкідливих домішок. Водні об'єкти, розташовані на території міста, чинять вплив на кліматичні й метеорологічні умови території, частково абсорбуючи шкідливі речовини (ШР) та створюючи геохімічні бар'єри для їх подальшого розповсюдження.

Отже, задача моделювання руху повітряних мас та

прогнозування умов розсіювання ШР у міському повітряному середовищі ускладнена особливостями рельєфу місцевості, неоднорідністю МЗ, іншими важливими чинниками, які потрібно враховувати при розрахунках обсягів забруднень та визначенні полів концентрацій токсикантів, особливо на локальному рівні.

Актуальність проблеми

За оцінками фахівців, тільки 15,3 % населення України мешкає в умовах слабого забруднення атмосферного повітря, тоді як 52,8 % населення – в умовах значного забруднення, 24,3 % – сильного та 7,6 % – дуже сильного забруднення повітряного середовища [4; 5]. Встановлено, що забруднення повітря у багатьох містах є небезпечним для людини. Навіть столиця України, м. Київ, за даними Міністерства екології та природних ресурсів України [6], майже кожного року входить до списку міст з найбільшим ступенем забруднення повітря, а, отже, і до переліку міст з серйозними екологічними проблемами, ризиками підвищення захворюваності населення тощо.

Міською маршрутною мережею столиці щоденно перевозиться 1569 тис. пасажирів [7]. За 2016 р. пасажирськими автобусами (з урахуванням перевезень підприємцями малого бізнесу) перевезено 2024892,9 тис. пасажирів, причому майже 77,5 % цих перевезень здійснювалось на дизельному паливі (ДП). Серед легкових пасажирських автомобілів цей показник скорочується до 18,4 %, а перевезення, здійснені дизельним нелегковим спеціальним транспортом, становлять 54,6 % від загальної протяжності пробігу автотранспортних засобів (АТЗ).

Таким чином, висока частка застосування в економіці країни саме дизельного автотранспорту потребує досліджень щодо впливу їх викидів на довкілля й здоров'я людей. Проблема посилюється тим, що останніми роками в Україні встановилась тенденція експлуатації уживаних АТЗ з двигунами екологічних класів нижче за Євро-3. При цьому регламентований термін служби, наприклад, сажового фільтру чи каталітичного нейтралізатору сучасного АТЗ становить ~30–150 тис. км пробігу, а, отже, необхідність заміни комплектуючих виникає приблизно раз на рік. Зрозуміло, що не всі автокористувачі це роблять, особливо з огляду на те, що такий ремонт і заміна є досить дорогими, а технічні зміни, що стосуються відповідності АТЗ заявленим виробником екологічним нормам, офіційно не контролюються. І такий стан спостерігається не тільки в нашій країні, а й майже по всьому світу.

Постановка проблеми і аналіз попередніх досліджень

Серед учених, що розробляли моделі розсіювання ШР у повітряному середовищі відзначимо М. Є. Берлянда, І. Д. Лоеву, Д. А. Белікова, Ф. В. Коршенка, В. Г. Свинухова, а також

Є. М. Кіптенка і Т. В. Козленко. Великий внесок у довгострокові та короткострокові методи прогнозування стану міського атмосферного повітря зробили М. М. Беляєв, Е. А. Закарін і В. Ф. Крамар, С. Д. Кузниченко, Л. Д. Пляцук, А. В. Старченко, В. М. Шмандій та інші провідні вчені. Важливим методом дослідження розсіювання газоподібних домішок у повітрі є моделювання процесів атмосферної дифузії у аеродинамічних трубах (М. З. Згуровський).

О. С. Левицька та О. Ф. Прищепов, вивчаючи процеси розсіювання повітряного потоку в умовах МЗ, побудували модель руху забруднених повітряних мас, що враховує орографію підстилаючої поверхні [8], а Е. М. Парашук з колегами [9] визначили основні фактори, що найбільшою мірою впливають на режим розсіювання шкідливих домішок у міському атмосферному просторі. Це, по-перше, гідродинамічний фактор, обумовлений формуванням вихревих потоків поблизу будівель, а інший – фактор геометричний. Причому останній тісно пов'язаний із взаємодією ШР з поверхнею перешкод, що сприяє додатковому розсіюванню забруднювачів у напрямі, перпендикулярному середньому вітру, а також створює "тіньові" або "застійні" зони за будівлями.

О. О. Бакулічем з колегами запропоновано представляти архітектурно-планувальні фрагменти МЗ як сукупність елементарних фрагментів – вуличних каньйонів (ВК), що мають певні просторово-геометричні характеристики [10; 11]. При дослідженні умов руху повітряних мас ВК повздовж автомагістралі використовується спеціальна аеродинамічна характеристика – коефіцієнт ажурності МЗ, який дорівнює відношенню площі проекції розривів між будинками на лінію магістралі до загальної площі проекції фронту МЗ на цю лінію [10, с. 18]. Автори також враховують композицію забудови, яка характеризується середнім кутом повороту будинків до осі вулиці або магістралі [12].

Для дослідження впливу автомагістралі або її ділянки на якість міського атмосферного повітря А. В. Рузьким та В. В. Донченком розроблена методика інвентаризації викидів ЗР АТЗ, яка, по-перше, гармонізована з чинною міжнародною методикою інвентаризації ЗР ЕМЕР/CORINAIR, а, по-друге, надає можливість розраховувати викиди АТЗ з урахуванням особливостей національного автопарку [13; 14]. Відомо також декілька дисертаційних та інших досліджень, присвячених моделюванню й прогнозуванню рівня забруднення атмосфери великого міста (О. А. Рібакова, Н. Г. Левашова, А. В. Ольчев, І. Ю. Шалигіна, І. Н. Кузнецова, Н. М. Резанова, С. А. Чернявський та ін.), промислових центрів (К. М. Антропов), території уздовж напруженої магістралі (М. М. Беляєв і Т. І. Русакова), у тому числі й за допомоги біомоніторингу, біоіндикації (А. Ф. Мейсуро́ва, А. А. Нотов, А. В. Несова) та ГІС-технологій. Деякі з учених спираються на описані вище методики, хоча більшість з них потребують потужного комп'ютерного забезпечення і

можуть бути реалізовані лише на базі великих наукових центрів.

Серед сучасних зарубіжних праць, у яких висвітлено результати досліджень щодо моделювання та оцінки стану придорожного повітряного простору, на особливу увагу заслуговують [15–19]. Результати досліджень щодо впливу забруднень на якість атмосферного повітря та здоров'я людей, а також щодо динаміки викидів поллютантів подано у [20–22].

Зауважимо, що у місті, як правило, виокремлюють декілька шарів повітряного простору з певними особливостями вітрового режиму. Зокрема нижній шар повітря знаходиться на висоті від поверхні землі і приблизно до дахів висотних будівель, тому швидкість вітру в ньому визначається характером і щільністю МЗ та може змінюватися як за величиною, так і за напрямком. При цьому вітрові потоки на бокових поверхнях забудови та над дахами мають дещо більшу швидкість, а перед будівлями створюються умови для гальмування потоків і формування внаслідок цього застійних зон. За будинками, як правило, відбувається дуже складний рух потоків, який залежить від типу і щільності МЗ та визначається коефіцієнтом ажурності.

Другий виокремлений шар повітряного середовища знаходиться на висоті від рівня дахів будівель і до висоти, де все ще спостерігається вплив МЗ, а третій шар розташований на висотах, де цей вплив майже не відчувається [23]. Об'єктом нашого дослідження є перший, нижній шар повітряного середовища, який ми у подальшому розподілимо на чотири підрівні залежно від сили впливу автомагістралі на навколишнє середовище та організм людини. Тобто межі досліджуваних підрівнів визначаються висотою подиху дорослої людини та дітей різного віку й зросту.

Зазначимо, що більшість з фундаментальних теоретичних моделей, що базуються на розв'язанні рівнянь атмосферної турбулентної дифузії (ТД), як правило, застосовуються сьогодні тільки для наукових цілей, оскільки потребують серйозного програмного забезпечення й великої кількості експериментального й розрахункового матеріалу. Навіть напівемпіричні моделі потребують чисельного розв'язування диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Таким чином, незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених моделюванню та прогнозуванню якості й стану атмосферного повітря, до сьогодні все ще не існує загально визнаної моделі розповсюдження шкідливих домішок в атмосфері. Це спричинено як багатопараметричністю досліджуваного процесу, так і складністю явищ, що відбуваються в навколишньому середовищі. Моделі, що вважаються універсальними, призначені, як правило, для моніторингу повітряного середовища всього міста та не враховують геометричних особливостей автотранспортних шляхів, що створюють геохімічні бар'єри на шляху забруднених повітряних мас.

Мета роботи

Метою роботи є розробка та впровадження просторових моделей розсіювання й локалізації основних токсикантів відпрацьованих газів АТЗ поблизу автомагістральних та вуличних територій.

Викладення основного матеріалу

Рівень небезпеки забруднення атмосферного повітря для здоров'я людини визначають найбільшою величиною концентрації певного забруднювача, що розраховується за небезпечних метеорологічних умов – у найтепліший місяць року в місті та при небезпечній швидкості вітру. При дослідженні турбулентної дифузії зазвичай застосовують два основні підходи. Перший полягає у розв'язуванні рівняння ТД зі сталими коефіцієнтами на основі закону Фіка, а другий – у пошуку величин концентрації шкідливих домішок за формулами, отриманими статистичними методами (метод описаний Сеттоном, який застосовує закон розподілу Гауса для визначення полів концентрації домішок поблизу джерела забруднення [24]). Для стаціонарних джерел також застосовують гаусові моделі, які хоча й не враховують рельєф місцевості та властивості підстилаючої поверхні, але корегуються спеціальними емпіричними коефіцієнтами [25].

Найбільш адекватно процес розсіювання ШР у приземному шарі повітряного середовища описується диференціальним рівнянням ТД і потребує чисельних або аналітичних розв'язків рівняння [23; 26]. У нашому дослідженні для визначення геоecологічного стану приземного шару атмосферного повітря й прогнозування рівня екологічної небезпеки ділянок придорожніх територій міста, а також з метою мінімізації шкідливого впливу з боку автотранспорту на довкілля й здоров'я людей, окрім зазначених підходів, пропонується також застосовувати дискретні геометричні моделі, які надають змогу моделювати складні й стохастичні процеси, що відбуваються у досліджуваному шарі повітря, а також на поверхні придорожньої території [27].

Для аналізу динаміки забруднення придорожного простору поряд з напруженими магістралями м. Києва нами досліджувались транспортні потоки та розраховувались обсяги викидів ШР з ВГ автомобілів. Зокрема нашу увагу привернули вихлопи оксиду Карбону (II) дизельними моторами на експериментальній ділянці (рис. 1).

Для встановлення закономірностей розсіювання основних забруднювачів повітря у міському придорожному просторі від вихлопів дизельного автотранспорту нами побудовано просторові математичні моделі забруднень, створено алгоритм та розроблено комп'ютерні програми для розрахунку коефіцієнтів турбулентної дифузії газів і приземних концентрацій поллютантів. Для побудови моделей і програми було використано методіку, описану в роботі [28], яка полягає в тому, що в програмному комплексі

MathCad реалізується модель факельного наближення та розв'язуються рівняння для лінійного джерела як сукупності точкових джерел викидів, показані на рис. 2.



Рис. 1 – Карта експериментальної ділянки по вул. Борщагівській (м. Київ) та місця розташування постів спостережень за транспортними потоками

На рисунку прийнято такі позначення: M – потужність джерела викиду (маса ЗР, що викидається джерелом забруднення в одиницю часу), n – показник степені у формулі залежності швидкості вітру від висоти z ($u = u_1 z^n$); u_1 – коефіцієнт пропорційності у цій залежності; k_1 – коефіцієнт пропорційності у формулі залежності коефіцієнта ТД від висоти ($k = k_1 z$); ϕ_0 – стандартне відхилення для пульсацій напрямку вітру; H – висота автомагістралі над поверхнею землі; x – координата уздовж напрямку вітру; y – координата у поперечному напрямі.

$$Q(x, y) := \frac{M}{(1 + nf) \cdot k_1 \cdot \phi_0^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[u_1 \cdot \frac{h^{1+nf}}{k_1 \cdot (1 + nf)^2 \cdot x} - \frac{y^2}{2 \cdot \phi_0^2 \cdot x^2} \right]$$

$$a(x, y) := x \cdot \cos(\beta) + y \cdot \sin(\beta)$$

$$b(x, y) := y \cdot \cos(\beta) - x \cdot \sin(\beta)$$

$$Qp(x, y) := \int_{L1}^{L2} Q(a(x, y) - L \cdot \sin(\beta), b(x, y) - L \cdot \cos(\beta)) \cdot dL$$

$$n := 20 \quad m := 20 \quad i := 1..n - 1$$

$$j := 0..m - 1 \quad x_i := 100 \cdot i \quad y_j := 100 \cdot j$$

$$QA_{i,j} := \frac{Qp(x_i, y_j)}{PDK}$$

Рис. 2 – Формули для розрахунку за моделлю розсіювання домішки CO у повітряному міському середовищі поблизу напруженої автотранспортної магістралі [28]

Система координат орієнтована таким чином, щоб вісь OX співпадала з напрямком вітру, а вісь OY – з напрямком транспортного потоку. Отже, а і b – координати в цій перенапрявленій по вітру системі координат, які безпосередньо пов'язані з первісними координатами (рис. 2); L – відстань уздовж відрізка

автомагістралі.

Обговорення результатів

Важливим моментом інтерпретації результатів моделювання є побудова полів концентрацій забруднення придорожньої території певними поллютантами та її зонування за небезпечними для здоров'я людини рівнями. Наприклад, автором [29] встановлено, що рівень загазованості повітря на узбіччі дороги на висоті 40 см (відповідає рівню подиху маленьких дітей) у декілька разів перевищує забруднення на висоті 1,7 м (відповідає рівню подиху дорослого). Отже, рух пішоходів по тротуарах або очікування транспорту на зупинках поряд з дорогою, перехрестях чи перетинах може бути небезпечним.

На рис 3 показано результат моделювання забруднення повітря чадним газом, що викидається в атмосферне повітря автотранспортними засобами. Для побудованих математичних моделей нами запропонована така градація оцінювання рівня забруднення придорожного повітряного простору:

- екологічно небезпечне, якщо кратність перевищення ГДК домішки становить від 8,0 ГДК та вище;
- високе, якщо це відношення від 4,4 до 8,0;
- середнє – кратність перевищення концентрації ШР від 1 до 4,4 ГДК;
- екологічно безпечний рівень, якщо немає перевищення ГДК.

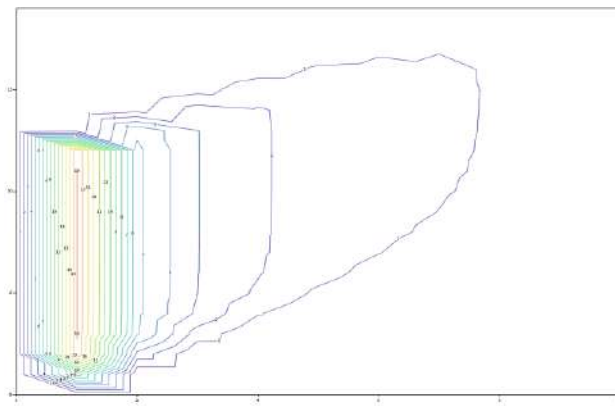


Рис. 3 – Результати моделювання полів розсіювання домішки CO за умов використання традиційного ДП

Градація відповідає державним санітарним правилам охорони атмосферного повітря міст від забруднення токсичними речовинами, а також враховує взаємозв'язок між окремими техногенними і природними, в тому числі й кліматичними та метеорологічними чинниками. Аналогічний розподіл безпечного стану атмосферного повітря у придорожному просторі запропонований і дослідниками В. О. Хабаровим та В. В. Верченком [30], які вважають:

- якщо концентрація, наприклад, оксиду Карбону (II) становить до 3 мг/м³, такий стан повітря є екологічно безпечним;

- при концентрації CO від 3–5 мг/м³ стан атмосферного повітря слабо небезпечний;
- якщо концентрація CO становитиме від 5–20 мг/м³, то стан повітря помірно небезпечний;
- при концентрації чадного газу від 20 мг/м³ та вище стан повітря стає екологічно небезпечним [31].

Проте їх градація не враховує комплексного забруднення території одночасно декількома ШР (для цього потрібно створювати іншу шкалу), а також геометричні особливості руху автотранспорту досліджуваними ділянками. Останню задачу можна вирішити впровадженням дискретно-інтерполяційного підходу до побудови геометричних моделей забруднення придорожного приповерхневого шару повітря. На рис. 4 показано результат моделювання гіпотетичного забруднення повітряного середовища на ділянці досліджуваного транспортного коридору при використанні розробленої нами багатофункціональної присадки до ДП.

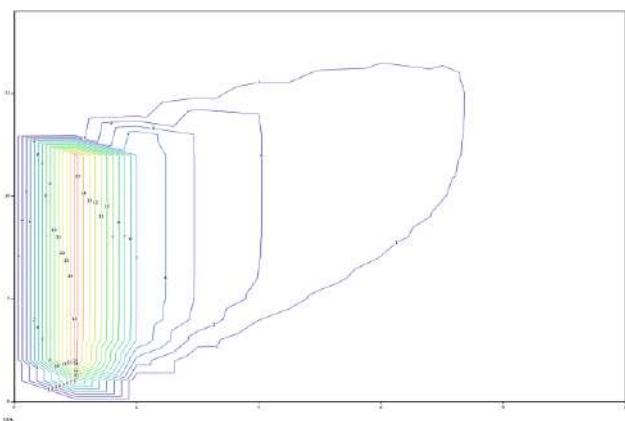


Рис. 4 – Результат моделювання полів розсіювання домішки CO за умов використання модифікованого присадкою ДП

Для прикладу як ШР обрано оксид Карбону (II), а всі геометричні координати прив'язано до додатку GoogleMap. Для побудови моделі визначено частку дизельного автотранспорту в транспортному потоці, що рухається досліджуваним транспортним коридором, та розраховано гіпотетичне скорочення викидів ЗР. Як можна побачити за полями розсіювання токсиканту, більш безпечний рівень забруднення буде досягнутий на меншій відстані від дороги.

Висновки

Таким чином, у роботі визначено об'єкти високого екоотоксикологічного впливу (на прикладі транспортних коридорів столиці України) та побудовано й візуалізовано математичні моделі полів розсіювання основних поллютантів навколишнього середовища, які є емітентами відпрацьованих газів автомобілів (зокрема, чадного газу CO). Визначено умови розповсюдження забруднювачів до і після модифікації палива дизельної складової транспортного потоку розробленою багатофункціональною присадкою з добавками біокомпоненту.

Список літератури

1. **Комаров, Ю. Я.** Технология очистки городских автомагистралей от вредных выбросов транспортных потоков / **Комаров Ю. Я., Федотов В. Н., Колесников С. В.** // *Экологические системы и приборы.* – 2004. – № 1. – С.21–24.
2. **Прищепов, О.Ф.** Оцінка стану забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю на автомагістралях міста Миколаєва / **Прищепов О.Ф., Левицька О.С.** // *Наукові праці: наук.-методич. журнал.* – т. 77. – Вип.64. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2008. – С. 70–74.
3. **Марчук, Г. И.** Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / **Г. И. Марчук.** – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
4. **Бучавий, Ю. В.** Прогнозування ризиків для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами підприємств Дніпропетровської області: дис. ... канд. біол. наук: 14.03.11. Київ, 2017. 264 с.
5. Атмосферне повітря. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2013 році. – К.: Мін. екології та прир. ресур. України, 2015. – С. 17–31.
6. Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua>.
7. Програма економічного і соціального розвитку м. Києва на 2017 рік. – К.: Виконавчий орган Київської міської ради (Київська міська державна адміністрація), 2016. – 187 с.
8. **Левицькая, О. С.** Модель движения загрязненных воздушных масс с учетом орографии подстилающей поверхности. Безопасность деятельности человека. Продукты, которые вас убивают! / **О. С. Левицькая.** URL: <http://kk.convdocs.org/docs/index-193225.html>.
9. **Паращук, Е. М.** Результаты моделирования распространения выбросов автотранспорта на ограниченной территории города / **Паращук Е. М., Коваль В. Н., Прокопенко М. Н.** // *Экологические системы и приборы.* – 2007. – № 3. – С.56 – 59.
10. **Бакуліч, О. О.** Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста / **Бакуліч О. О., Олійник Р. В., Самойленко Є. С.** // *Вісник Нац. транспортного ун-ту.* – Вип. 1 (31). – 2015. – С. 18–26.
11. **Wang, G.** Modelling urban traffic air pollution dispersion / **G. Wang, F. H. M. van den Bosch, M. Kuffer** // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* – 2008. – v. XXXVII. – Part B8.
12. **Santiago, J. L.** Modelling the air flow in symmetric and asymmetric street canyons. / **José Luis Santiago, Fernando Martín** // *International Journal of Environment and Pollution.* – 2005. – v. 25, № 1-4. – P. 145–154.
13. **Рузский, А. В.** Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух / **А. В. Рузский, В. В. Донченко, Ю. И. Кунин, В. А. Петрухин и др.** URL: <http://www.opengost.ru/iso/3174-raschetnaya-instrukciya-metodika-po-inventarizacii-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-avtotransportnymi-sredstvami-v-atmosfernyy-vozduh.html>.
14. **Донченко, В. В.** Методы расчета выбросов от автотранспорта и результаты их применения / **В. В. Донченко, Ю. И. Кунин, А. В. Рузский, В. А. Виженский** // *Журнал автомобильных инженеров.* – 2014. – №3(86). – С. 44-51.

15. **Wang, A.** Characterizing near-road air pollution using local-scale emission and dispersion models and validation against in-situ measurements / **A. Wang, M. Fallah-Shorshani, J. Xu, M. Hatzopoulou** // *Atmospheric Environment*. – 2016. – № 142. – P. 452–464. – doi:10.1016/j.atmosenv.2016.08.020.
16. **Thunis, P.** Overview of current regional and local scale air quality modelling practices: Assessment and planning tools in the EU / **P. Thunis, A. Miranda, J. M. Baldasano, N. Blond et al.** // *Environmental Science & Policy*. – 2016. – № 65. – P. 13–21. – doi:10.1016/j.envsci.2016.03.013.
17. **Sayegh, A.** Understanding how roadside concentrations of NO_x are influenced by the background levels, traffic density, and meteorological conditions using Boosted Regression Trees / **Sayegh, A., Tate, J. E., Ropkins, K.** // *Atmospheric Environment*. – 2016. – № 127. – P. 163–175. – doi:10.1016/j.atmosenv.2015.12.024.
18. **Cabaneros, S. M. S.** Hybrid Artificial Neural Network Models for Effective Prediction and Mitigation of Urban Roadside NO₂ Pollution / **Cabaneros, S. M. S., Calautit, J. K. S., Hughes, B. R.** // *Energy Procedia*. – 2017. – № 142. – P. 3524–3530. – doi:10.1016/j.egypro.2017.12.240.
19. **Lee, M.** Land use regression modelling of air pollution in high density high rise cities: A case study in Hong Kong / **M. Lee, M. Brauer, P. Wong, R. Tang et al.** // *Science of The Total Environment*. – 2017. – № 592. – P. 306–315. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.094
20. **Tong, Z.** Quantifying the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building / **Z. Tong, Y. Chen, A. Malkawi, G. Adamkiewicz et al.** // *Environment International*. – 2016. – № 89–90. – P. 138–146. – doi:10.1016/j.envint.2016.01.016.
21. **Huang, G.** An integrated Bayesian model for estimating the long-term health effects of air pollution by fusing modelled and measured pollution data: A case study of nitrogen dioxide concentrations in Scotland / **Huang, G., Lee, D., Scott, M.** // *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*. – 2015. – № 14–15. – P. 63–74. – doi:10.1016/j.sste.2015.09.002.
22. **Wang, R.** Trend in Global Black Carbon Emissions from 1960 to 2007 / **R. Wang, S. Tao, H. Shen, Y. Huang et al.** // *Environmental Science & Technology*. – 2014. – № 48(12). – P. 6780–6787. – doi:10.1021/es5021422.
23. **Абрамовський, С. Р.** Атмосфера великих міст. / **Абрамовський С. Р., Карплюк В. І., Переметчик М. М.** . – Дніпропетровськ.: Наука і освіта, 2011. – 350 с.
24. **Берлянд, М. Е.** Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / **Берлянд М. Е.** – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 449 с.
25. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
26. **Бучавий, Ю. В.** Алгоритм вычисления вертикальной турбулентной диффузии загрязнителей в атмосфере по метеорологическим данным / **Ю. В. Бучавий, В. Е. Колесник** // *Матер. міжнар. конф. "Формум гірників – 2011"*. – Д.: Держ. вищий навч. заклад "Національний гірничий університет", 2011. – С. 144 – 149.
27. **Кофанов, А. Е.** Геоэкологические аспекты моделирования локального загрязнения приземного атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспортных средств / **А. Е. Кофанов, Ю. Р. Холковський** // *Горная механика и машиностроение*. – 2017. – № 4. – С. 20–33.
28. **Холоднов, В. А.** Системный анализ и принятия решений. Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad: учебное пособие / **В. А. Холоднов, В. П. Дьяконов, В. В. Фонарь та ін.** – Санкт-Петербург: СПбГТИ (ТУ), 2013. – 154 с.
29. **Коломієць, С. В.** Аналіз проблеми впливу вихлопних газів автомобіля на здоров'я дітей / **С. В. Коломієць** // *Збірка тез XII Міжнар. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених "Екологія. Людина. Суспільство"* (13–17 травня 2009 р., м. Київ). – К.: НТУУ "КПІ". – С. 245.
30. **Хабаров, В. О.** Гнучка мобільна комп'ютеризована система екологічного моніторингу наземних транспортних систем / **В. В. Хабаров, В. О. Верченко** // *Автомобільний транспорт*. – 2009. – № 25.
31. **Кузьмин, Д. М.** Технология и методы интеллектуального мониторинга автотранспортных потоков и состояния автомобильных дорог: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.01. М.: МАДИ, 2008. – 21 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Komarov, Yu. Ya. et al.** Tekhnologiya Ochistki Gorodskikh Avtomagistralей Ot Vrednykh Vybrosov Transportnykh Potokov [Technology Of Cleaning Urban Highways From Harmful Emissions Of Traffic Flows]. *Ekologicheskie Sistemy I Pribory [Ecological Systems And Devices]*, no. 1, 2004, pp. 21–24.
2. **Pryshchepov, O. F., and O. S. Levyt'ska.** Otsinka Stanu Zabrudnennia Atmosfernoho Povitria Oksydom Vuhletsiu Na Avtomahistraliakh Mista Mykolaieva [Assessment Of Air Pollution By Carbon Monoxide At The Mykolaiv Motorways]. *Naukovi Pratsi: Nauk.-Metodych. Zhurnal Tekhnohenna Bezpeka [Scientific Works: Scientific And Methodological Journal Technological Safety]*, vol 77, no. 64, 2008, pp. 70–74.
3. **Marchuk, G. I.** *Matematicheskoe Modelirovanie V Probleme Okruzhayushchey Sredy [Mathematical Modeling Of The Environmental Problems]*. Nauka [Science], 1982, p. 320.
4. **Buchavyy, Yu. V.** Prohnozuvannia Ryzhykiv Dlia Zdorovia Naseleння Vid Zabrudnennia Atmosfernoho Povitria Vykydamy Pidpryemstv Dnipropetrovskoi Oblasti. Shpyuk National Medical Academy Of Postgraduate Education: dis. ... cand. Biol. Nauk 14.03.11 [Forecasting Of The Population Health Risks From Air Pollution Caused By Emissions From Enterprises Of The Dnipropetrovsk Region. PhD. Biol. Sci. Diss.]. Kiev, 2017, 264 p.
5. Min. ekolohii ta pryг. resur. Ukrainy [Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine]. *Atmosferne Povitria. Natsionalna Dopovid Pro Stan Navkolyshnoho Pryrodnoho Seredovyshcha V Ukraini U 2013 Rotsi [Atmospheric Air. National Report On The State Of The Environment In Ukraine In 2013]*. Kyiv, 2015, pp. 17–31.
6. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Available at : <https://menr.gov.ua>.
7. Vykonavchyi orhan Kyivskoi miskoi rady (Kyivska miska derzhavna administratsiia) [Kyiv city state administration]. *Prohrama Ekonomichnoho I Sotsialnoho Rozvytku M. Kyieva Na 2017 Rik [Program Of Economic And Social Development For Kyiv In 2017]*. Kyiv, 2016, p. 187.
8. **Levitskaya, O. S.** *Model' Dvizheniya Zagryaznennykh Vozdushnykh Mas S Uchetom Orografii Podstilyayushchey Poverkhnosti. Bezopasnost' Deyatel'nosti Cheloveka Produkty, Kotorye Vas Ubivayut! [The Motion Model Of Polluted Air Masses That Takes Into Account The Orography Of The Underlying Surface. Safety Of Human Activities Products That Can Kill You!]*. Available at : <http://kk.convdocs.org/docs/index-193225.html>.
9. **Parashchuk, E.M. et al.** Rezultaty Modelirovaniya

- Rasprostraneniya Vybrosov Avtotransporta Na Ogranichennoy Territorii Goroda [Results Of The Modeling Of Distribution Of Motor Vehicle Emissions In A City Limited Area]. *Ekologicheskie Sistemy I Pribory [Ecological Systems And Devices]*, 2007, no. 3, pp. 56–59.
10. **Bakulich, O. O. et al.** Potentsiina Ekolohichna Nebezpeka Vulychnykh Kanioniv Mista [Potential Ecological Danger Of The City Canyons]. *Visnyk Nats. Transportnoho Un-Tu [Bulletin Of The National Transport University]*, 2015, vol 1, no. 31, pp. 18–26.
 11. **Wang, G. et al.** Modelling Urban Traffic Air Pollution Dispersion. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, XXXVII, 2008.
 12. **Santiago, J. L., and F. Martín.** Modelling The Air Flow In Symmetric And Asymmetric Street Canyons. *International Journal Of Environment And Pollution*, 2005, vol 25, no. 1-4, pp. 145–154.
 13. **Ruzskiy, A. V. et al.** *Raschetnaya Instruksiya (Metodika) Po Inventarizatsii Vybrosov Zagryaznyayushchikh Veshchestv Avtotransportnyimi Sredstvami V Atmosfernyy Vozdukh [Instruction (Methodology) For The Inventory Of Vehicle Pollutants Emissions Into The Atmosphere]*. Available at: <http://www.opengost.ru/iso/3174-raschetnaya-instrukciya-metodika-po-inventarizatsii-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-avtotransportnyimi-sredstvami-v-atmosfernyy-vozdudh.html>. Accessed 11 Nov. 2017.
 14. **Donchenko, V. V. et al.** Metody Rascheta Vybrosov Ot Avtotransporta I Rezul'taty Ikh Primeneniya [Methods For Calculating Vehicle Emissions And The Results Of Their Application]. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov [Journal Of Automobile Engineers]*, 2014, vol 3, no. 86, pp. 44–51.
 15. **Wang, An, et al.** “Characterizing Near-road Air Pollution Using Local-Scale Emission and Dispersion Models and Validation against in-Situ Measurements.” *Atmospheric Environment*, 2016, vol. 142, pp. 452–64, doi:10.1016/j.atmosenv.2016.08.020.
 16. **Thunis, P., et al.** “Overview of Current Regional and Local Scale Air Quality Modelling Practices: Assessment and Planning Tools in the EU.” *Environmental Science & Policy*, 2016, vol. 65, pp. 13–21, doi:10.1016/j.envsci.2016.03.013.
 17. **Sayegh, Arwa, et al.** “Understanding How Roadside Concentrations of NO_x Are Influenced by the Background Levels, Traffic Density, and Meteorological Conditions Using Boosted Regression Trees.” *Atmospheric Environment*, 2016, vol. 127, pp. 163–75, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.12.024.
 18. **Cabaneros, Sheen Mclean S., et al.** “Hybrid Artificial Neural Network Models for Effective Prediction and Mitigation of Urban Roadside NO₂ Pollution.” *Energy Procedia*, 2017, vol. 142, pp. 3524–30, doi:10.1016/j.egypro.2017.12.240.
 19. **Lee, Martha, et al.** “Land Use Regression Modelling of Air Pollution in High Density High Rise Cities: A Case Study in Hong Kong.” *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 592, pp. 306–15, doi:10.1016/j.scitotenv.2017.03.094.
 20. **Tong, Zheming, et al.** “Quantifying the Impact of Traffic-Related Air Pollution on the Indoor Air Quality of a Naturally Ventilated Building.” *Environment International*, 2016, vol. 89–90, pp. 138–46, doi:10.1016/j.envint.2016.01.016.
 21. **Huang, Guowen, et al.** “An Integrated Bayesian Model for Estimating the Long-Term Health Effects of Air Pollution by Fusing Modelled and Measured Pollution Data: A Case Study of Nitrogen Dioxide Concentrations in Scotland.” *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 2015, vol. 14–15, pp. 63–74, doi:10.1016/j.sste.2015.09.002.
 22. **Wang, R., et al.** “Trend in Global Black Carbon Emissions from 1960 to 2007.” *Environmental Science & Technology*, 2014, vol. 48, no. 12, pp. 6780–87, doi:10.1021/es5021422.
 23. **Abramovskiy, Ye. R. et al.** *Atmosfera Velykykh Mist [Atmosphere Of Big Cities]*. 2nd ed., Nauka I Osvita [Science And Education], 2011, p. 350.
 24. **Berlyand, M.E.** *Sovremennye Problemy Atmosfernoy Diffuzii I Zagryazneniya Atmosfery [Modern Problems Of Atmospheric Diffusion And Pollution]*. Gidrometeoizdat, 1975, p. 449.
 25. Gidrometeoizdat. *Metodika Rascheta Kotsentratsiy V Atmosfernom Vozdukke Vrednykh Veshchestv, Soderzhashchikhsya V Vybrosoakh Predpriyatiy. Obshchesoynyy Normativnyy Dokument (OND-86) [Method Of Calculation Of The Concentrations Of Harmful Substances In The Atmosphere From Industrial Emissions. Normative Document (OND-86)]*. Gidrometeoizdat, 1987, p. 93.
 26. **Buchaviy, Yu. V., and V. E. Kolesnik.** Algoritm Vychisleniya Vertikal'noy Turbulentnoy Diffuzii Zagryazniteley V Atmosfere Po Meteorologicheskim Dannym [Algorithm For Calculation Of Vertical Turbulent Diffusion Of Pollutants In The Atmosphere By Meteorological Data]. Derzhavnyi Vyshchiy Navchalnyi Zaklad Natsionalnyi Hirnychiy Universytet [State Higher Educational Institution National Mining University], *Materialy Mizhnarodnoi Konferentsii Forum Girnikiv – 2011 [Materials Of The International Conference Miners Forum – 2011]*, 2011, pp. 144–149.
 27. **Kofanov, O., and Yu. Kholkovskiy.** Geoekologicheskie Aspekty Modelirovaniya Lokal'nogo Zagryazneniya Prizemnogo Atmosfernogo Vozdukh Otrabotavshimi Gazami Avtotransportnykh Sredstv [Geocological Aspects Of Modeling Of Local Pollution Of Surface Atmospheric Air By Exhaust Gases Of Motor Vehicles]. *Gornaya Mekhanika I Mashinostroenie [Mining Mechanical Engineering And Machine-Building]*, 2017, no. 4, pp. 20–33.
 28. **Kholodnov, V.A. et al.** *Sistemnyy Analiz I Prinyatiya Resheniy. Tekhnologiya Vychisleniy V Sisteme Komp'yuternoy Matematiki Mathcad [System Analysis And Decision-Making. Computational Technology In The Computer Mathematics System Mathcad]*. Spbgiti (TU), 2013, p. 154.
 29. **Kolomiets, S. V.** Analiz Problemy Vplyvu Vykhopnykh Haziv Avtomobilia Na Zdorovia Ditei [Analysis Of The Problem Of The Impact Of Exhaust Gases On Children's Health]. NTUU KPI, *XII Mizhnar. Nauk.-Prakt. Konf. Stud., Aspirantiv Ta Molodykh Vchenykh Ekolohiia. Liudyna. Suspilstvo [XII International Scientific And Practical Conference Of Students, Postgraduates And Young Scientists Ecology. Humans. Society]*, 2009, p. 245.
 30. **Khabarov, V. V., and V. O. Verchenko.** Hnuchka Mobilna Kompiuteryzovana Systema Ekolohichnoho Monitorynhu Nazemnyi Transportnykh System [Flexible Mobile Computerized System Of Ecological Monitoring Of Ground Transport Systems]. *Avtomobilnyi Transport [Automobile Transport]*, no. 25, 2009.
 31. **Kuzmin, D.M.** Tekhnologiya I Metody Intel'ktual'nogo Monitoryng Avtotransportnykh Potokov I Sostoianiya Avtomobilnykh Dorog: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya cand. tekhn. nauk: spets. 05.22.01 [Technology And Methods Of Intelligent Monitoring Of Motor Transport Flows And Highways State. Summary. Abstract of a thesis dr. eng. sci. diss. 05.22.01]. MADI, 2008. 21 p.

Відомості про авторів (About authors)

Кофанов Олексій Євгенович – аспірант кафедри інженерної екології; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: aleckof@protonmail.com.

Oleksii Kofanov – Ph.D. student, Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: aleckof@protonmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Кофанов, О. Є. Моделирование розсіювання і локального концентрування поллютантів у придорожному повітряному просторі / **О. Є. Кофанов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 190-197. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.28.

Please cite this article as:

Kofanov, O. Modeling of dispersion and local concentration of pollutants in the roadside airspace. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 190-197, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.28.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кофанов, А. Е. Моделирование рассеивания и локального концентрирования поллютантов в придорожной воздушной среде / **А. Е. Кофанов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 190-197. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.28.

АННОТАЦИЯ Исследование дорожных условий и обнаружение объектов повышенного экотоксикологического влияния со стороны автотранспорта в г. Киеве позволило с помощью программного комплекса MathCad создать пространственные модели и построить поля рассеивания эмиссентов отработавших газов автомобилей (на примере угарного газа CO), а также определить условия распространения загрязнителей до и после модификации моторного топлива дизельной составляющей автотранспортного потока разработанными многофункциональными присадками и добавками оксигенатного биокомпонента. Разработана и апробирована методика краткосрочного прогнозирования загрязнения придорожного городского воздушного пространства основными поллютантами выбросов автотранспортных средств. Согласно дискретно-интерполяционному подходу учтены геометрические особенности линейных источников загрязнения, уточнены локальные загрязнения придорожного пространства и прилегающих к автомагистралям территорий. Определен экологический эффект от модификации моторного дизельного топлива разработанной многофункциональной присадкой. Доказано, что при гипотетическом применении присадки изоконцентрации токсикантов приближаются к предельно допустимым значениям на меньшем расстоянии от линейного источника выброса (автомагистрали).

Ключевые слова: автотранспорт; загрязнение атмосферного воздуха; поллютанты; придорожное воздушное пространство; рассеивание примесей в воздухе.

Надійшла (received) 1.03.2018

УДК 666.9

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.29

СИНТЕТИЧНІ НАНОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ ПОЛІВАРІАНТНОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ $\text{CaO-CaF}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ СТРУКТУРНИХ ПОРУШЕНЬ СКЕЛЕТУ

С. П. КРИВІЛЬОВА

кафедра хімічної техніки і промислової екології, НТУ «ХПІ», м. Харків, УКРАЇНА
e-mail: spkri@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто перспективність використання синтетичних нанокристалічних матеріалів поліваріантного складу на основі системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ і домішок для корекції структурних порушень скелету. Показано, що для синтезу нанокристалічних порошків і композитів біомедичного призначення перспективними є матеріали, складу яких відповідають системі $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$. Вивчено системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$, $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$. Проведено дослідження системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$ в перерізі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$: визначено положення бінарних евтектік і температур плавлення в них. Побудована діаграма складу системи $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$, яка суттєво відрізняється від наведених в літературі. Виконана експериментальна перевірка розрахункових даних на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії. На основі проведених досліджень уточнено області первинної кристалізації фаз у чотирьохкомпонентних системах $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_2\text{O-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$, перспективних для використання в якості біокерамічних композицій. На основі проведених досліджень в системі $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ встановлено області, перспективні для синтезу матеріалів, які за своїми технічними і біологічними властивостями можуть бути використані для корекції дефектів кісткових тканин; у якості неорганічних наповнювачів гібридних органо-неорганічних композиційних матеріалів, що використовуються для відновлення суставного хряща, для склеювання фрагментів кісток і заповнення порожнин патологічного походження; для восповнення мінерального складу кісток та зубної емалі.

Ключові слова: синтетичні нанокристалічні матеріали; фазова діаграма; система $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$; переріз $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$, кінетика утворення; високотемпературна мікроскопія; елементарні тетраедри; корекція порушень скелету.

SYNTHETIC NANOCRYSTALLINE MATERIALS OF THE POLY-VARIANT COMPOSITION BASED ON THE SYSTEM $\text{CaO-MgO-CaF}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ FOR CORRECTION OF STRUCTURAL DISTURBANCES OF SKELETON

S. KRIVILEVA

department of "Chemical Technics and Industrial Ecology" NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The prospects for the use of synthetic nanocrystalline materials of a multivariate composition based on the system $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ and additives for correcting structural defects of the skeleton are considered. It is shown that for the synthesis of nanocrystalline powders and composites of biomedical use, materials whose compositions are described by the system $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ are promising. The systems of $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$, $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ were studied. A study of the $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$ system in the $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$ section was carried out: the position of the binary eutectics and the melting points in them was determined. The experimental verification of the calculated data on the preparations of the calculated compositions by the high-temperature microscopy method is performed. On the basis of the investigations carried out, the regions of primary crystallization of phases in the four-component systems $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_2\text{O-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$, promising for use as bioceramic compositions. Based on the studies carried out in the $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ system, areas promising for the synthesis of materials have been identified that can be used for their technical and biological properties: 1) to correct bone tissue defects; 2) as inorganic fillers of hybrid organo-inorganic composite materials intended for the restoration of articular cartilage; 3) for gluing bone fragments and filling cavities of pathological origin; 4) to replenish the mineral composition of bones and tooth enamel.

Key words: synthetic nanocrystalline materials; phase diagram; the $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$ system; the $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$ cross section, the kinetics of formation; high-temperature microscopy; elementary tetrahedra; correction of skeletal disorders.

Вступ

Сучасну реконструктивно-відговлювальну хірургію опорно-рухового і щелепно-лицьового апаратів неможливо уявити без широкого спектру інноваційних біоматеріалів – металів, керметів, композитів, оксидної скло- і біокераміки, гелів, цементів, які використовуються для заміщення великих дефектів різного генезу, ендопротезування і адресної доставки медикаментів у проблемні зони

[1,2]. У реконструктивно-відновлювальній хірургії опорно-рухового і щелепно-лицьового апаратів для заміщення великих дефектів різного генезу і ендопротезування використовується широкий спектр матеріалів [1-3]. Більшість з них здатна на протязі певного часу без негативних наслідків знаходитись у середовищі живого організму і в тій чи іншій мірі восповнювати дефекти кістково-суглобової системи [3, 4].

Але на сьогоднішній день матеріали, які б повною мірою відповідали вимогам сучасного біоматеріалознавства і при цьому були не гірші за свої природні аналоги, досі не створені. Про це свідчать численні і широкомасштабні дослідження, які інтенсивно проводяться у всьому світі. Адже створення таких інноваційних матеріалів є складною матеріалознавчою проблемою, вирішення якої можливо тільки на стику декількох наук: хімії, медицини, матеріалознавства і нанотехнологій.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відомо, що до складу кісток людини і тварин в середньому входить (мас. %): 54,7 CaO, 41,7 P₂O₅, 1,1 MgO, 1,0 NaO, 0,03 K₂O і 1,0 CO₂. А неорганічною складовою як природної кістки, так і тканини зубів є ультрадисперсний біогенний гідроксилапатит, склад якого може бути описаний формулою Ca_{10-x-y/2}(HPO₄)_x(CO₃)_y(PO₄)_{6-x-y}(OH)_{2-x}. Тому склад кісток в першому наближенні може бути описаний системами CaO–P₂O₅–H₂O і CaO–P₂O₅–CaF₂, а більш повно – системою CaO–MgO–CaF₂–P₂O₅–H₂O.

Найбільш перспективним напрямком розробки фізико-хімічних принципів і методів отримання іноваційної біокераміки нового покоління є глибоке вивчення будови зазначеної системи і підсистем, що її складають. Це дозволить глибше зрозуміти процеси, що відбуваються при руйнуванні, зростанні і регенерації кісткових тканин і їх заміників, встановити області, перспективні для синтезу матеріалів, які за своїми технічними і біологічними властивостями можуть бути використані для корекції дефектів кісткових тканин; у якості неорганічних наповнювачів гібридних органо-неорганічних композиційних матеріалів, що використовуються для відновлення суставного хряща, для склеювання фрагментів кісток і заповнення порожнин патологічного походження; для восповнення мінерального складу кісток та зубної емалі. Це дасть можливість також оцінити вплив домішок на експлуатаційні властивості матеріалів і тим самим різко скоротити необхідну кількість експериментальних розробок.

Тому сьогодні наукові дослідження направлені на створення біокерамічних матеріалів аналогічного складу - на основі гідроксилапатиту як біогенного походження (з попелу кісток великої рогатої худоби чи свиней, з рибних кісток, коралів, з шкарлупи курячих яєць [5-7]), так і синтетичного. Саме матеріали на основі гідроксилапатиту виявляють унікальну біологічну сумісність по відношенню до всіх тканин організму, є остеоіндуктивними, сприяють повному відновленню тканин скелету і формуванню кровоносних судин. І головне - не тільки самі ці матеріали, а і їхні метаболіти - іони кальцію і фосфору, в нормі завжди містяться в організмі. Тому сьогодні Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ та наповнювачі на його

основі використовується не тільки в ортопедичній та відновлювальній хірургії у якості біокераміки або складових кісткового цементу, але і в урології, ларингології, дерматології і косметології [5 - 8].

Однією з найбільш важливих бінарних систем для розглянутих питань є система CaO – P₂O₅, наявність 7 проміжних фаз якої, а також ряду фазових переходів відносить її до вельми складно побудованих; це позначається не тільки на синтезі фосфатів кальцію, але й сполучень, в яких вони беруть участь. Для наших цілей найбільш цікава область Ca₂P₂O₇ – Ca₄P₂O₉ (C₂P – C₄P), оскільки для отримання найбільш стійких біокерамічних матеріалів слід використовувати трьохкальцієвий фосфат Ca₃(PO₄)₂, який є у всіх відносинах найбільш стабільною фазою системи CaO–P₂O₅ [11].

Системі CaO–P₂O₅–H₂O [13, 17] і окремим її сполукам, зокрема, гідроксилапатиту, присвячена значна кількість досліджень через перспективність його застосування для заповнення дефектів кістково-суглобової системи та значну своєрідність їх властивостей і структур. Однак експериментальні результати, отримані різними авторами, виявляються часом несумісними внаслідок процесу гідролізу твердих фаз і явища пересичення рідкої фази. Це викликає необхідність подальшого вивчення даної системи, в першу чергу в області, придатної для виготовлення біокераміки.

Дуже важливим для нашої роботи є також переріз Ca₃(PO₄)₂ – CaF₂ системи CaO–P₂O₅–CaF₂. Він представляє інтерес для синтезу фтористого аналога гідроксилапатита, наявність якого значно підвищує міцнісні властивості останнього. Раніше в цій системі зазначалося утворення при високих температурах пароподібних продуктів і проміжних речовин [17, 18]. За Ольсена і Вімера система Ca₃(PO₄)₂ – CaF₂ відноситься до простих евтектичних з температурою плавлення евтектик 1200 °С і вмістом 67 мас.%. CaF₂. По Берону і Томчак-Гудіну в системі Ca₃(PO₄)₂ – CaF₂ є речовина, що плавиться конгруентно і має три модифікації з точками переходу 212 °С і 775 °С, і яка утворює просту евтектику з CaF₂ (87 мол. %) з температурою плавлення 1210 °С. З огляду на наявність на діаграмі стану цієї системи проміжних сполук, що не відповідають практиці, конче необхідно проведення повторного дослідження системи Ca₃(PO₄)₂ – CaF₂. Необхідна також спроба синтезу «апатиту В» у твердій фазі з відповідних оксидів, дані про який є в наявності.

Необхідно також уточнити області первинної кристалізації фаз у чотирьохкомпонентних системах Ca₃(PO₄)₂–CaCO₃–CaF₂–Ca(OH)₂ і Ca₃(PO₄)₂–H₂O–CaF₂–Ca(OH)₂ для розробки спрощених технологічних схем синтезу біокерамічних матеріалів.

Це дасть змогу на основі проведених досліджень з вивчення особливостей будови окремих підсистем п'ятикомпонентної системи CaO–P₂O₅–CaF₂–H₂O виявити області, що представляють інтерес для синтезу біокераміки, яка цілеспрямовано

призначена пластики дефектів кістково-суглобової системи.

Ціль та задачі дослідження

Цілью цього дослідження є вивчення особливостей будови окремих підсистем п'ятикомпонентної системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2-\text{H}_2\text{O}$ для теоретичного обґрунтування вибору областей перспективних складів біокерамічних композиції з необхідними властивостями в залежності від специфіки їх використання.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити **наступні задачі**:

Вивчити особливості процесу гідратації $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Провести триангуляцію системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$.

Провести дослідження системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2$ в перерізі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$; визначити положення бінарних евтектік і температур плавлення в них; побудувати фазову діаграму системи $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$. Виконати експериментальну перевірку розрахункових даних на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії *in situ*.

Уточнити (на основі проведених досліджень) області первинної кристалізації фаз у чотирьохкомпонентних системах $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2-\text{CaCO}_3-\text{CaF}_2-\text{Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CaF}_2-\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Матеріали та методи дослідження

Досліджувані матеріали та обладнання

У представленому дослідженні були використані нанопорошки $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, які були власноруч синтезовані. Для цього використовували $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і CaF_2 марок «х.ч.» і «ч.д.а.», пентоксид фосфору у вигляді ортофосфорної кислоти марки «ч.д.а.», стеарат магнію $\text{Mg}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2$ (ТУ 6-09-16-1533-90) вода дистильована (ГОСТ 6709-72).

$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ отримували з розчинів $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і H_3PO_4 в дистильованій воді шляхом їх перемішування впродовж 8 годин і витримки впродовж 170 годин при кімнатній температурі для старіння, забезпечуючи досягнення співвідношення $n(\text{Ca}^{2+})/n(\text{PO}_4^{3-}) = 1,67$.

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ високої чистоти синтезували з H_3PO_4 і $\text{Ca}(\text{OH})_2$ марок «чда» і «хч» в твердій фазі шляхом триразового випалення таблетованих сумішей при температурі 1150 – 1250 °С з витримкою впродовж 2 годин і проміжним подрібненням при багатоступінчастому підйомі температури із швидкістю 120 – 150 °С в годину.

$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ отримували з CaF_2 і попередньо синтезованого $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ у твердій фазі випаленням у температурному діапазоні 1200 – 1250 °С з витримкою впродовж 3 годин з подальшим подрібненням.

Для формування зразків використовували гідравлічний прес TP 20/40/60-2d і сталіні пресформи.

Для спікання зразків використовували високотемпературну камерну піч з Si-C нагрівачами, з повітряною атмосферою, а також електропіч з криптоловим опором і кварцевою капсулою з підсіпкою з периклазу. Швидкість підйому температури становила 200 град./год. Для подрібнення препаратів використовували агатову ступку.

Для контролю температур використовували платино-родієві термометри ПП-10th,90-Rt.

Контролю температур використовували платино-родієві термометри ПП-10th,90-Rt.

Фазовий склад матеріалів контролювався методом рентгенофазового аналізу на установках «Drone-3» і «Drone-3» Петрографічні дослідження проводили на поляризаційному мікроскопі МІН-8.

Електронно-мікроскопічні дослідження проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа мікроскопі Carl Zeiss, Германия.

Методика визначення показників властивостей

Співвідношення Ca/P в пробах при синтезі $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ контролювали за допомогою хімічного аналізу.

Усреднювання шихт проводили гомогенізацією у барабані кулькового млина або розтиранням у ступці.

Формування зразків циліндричної форми проводили методом одноосного одно- та двостороннього холодного пресування при тиску 50 – 200 МПа.

Фазовий аналіз вихідних матеріалів, прекурсорів і синтезованих препаратів контролювали методом рентгенофазового аналізу (на установках «Drone-2» і «Drone-3»); розшифровка здійснювалась по довідкових таблицях ASTM на зразках препаратів вигляді пігулок діаметром 10 мм і завтовшки 2 мм.

Мінералогічний склад при отриманні вихідних матеріалів, морфологію і розмір часток після випалу визначали за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень методом двохступневих самовідтінених целюлозо-вугільних реплік та реплік із добуванням, електронографії та мікродифракції.

Фазові рівноваги в псевдобінарній системі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2-\text{CaF}_2$ вивчалися методами високотемпературного мікроскопічного, рентгенівського і диференційно-термічного аналізів в інтервалі температур до 1650 °С. Дослідження виконувались на зразках, синтезованих з відповідних вихідних компонентів в твердій фазі шляхом триразового випалу таблетованих сумішей (на ацетоні як органічного зв'язуючого) розрахункових складів з проміжним подрібненням, а також на монокристалах, вирощених за методом розчину в розплаві. При цьому перетворення однієї поліморфної форми $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в іншу визначали (при використанні методу високотемпературної мікроскопії, на монокристалах, при безпосередньому спостереженні в мікроскоп) *in situ* за зміною інтерференційного забарвлення

монокристалла при температурі переходу [18], а також за допомогою ДТА і рентгенофазового аналізу.

Для вивчення гідратації α - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ готували суміш вода-тверда речовина при кімнатній температурі і при 37°C у співвідношенні 6 : 1; реакції проводили у воді з $\text{pH} = 7,0 - 11,5$ при $20 - 80^\circ\text{C}$ без перемішування.

Дослідження бінарних евтектик і температур плавлення в них проводили на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії *in situ* на плоско-полірованих пластинах завтовшки 0,3 мм, а також на подрібнених препаратах при безпосередньому спостереженні в мікроскоп зі спеціальною приставкою – сілітовою камерою системи Михайлова-Шацького при 1200°C .

Розрахунки (положення бінарних евтектик, температур плавлення в них в перерізі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$ системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2$ і таке інше) визначались розрахункових шляхом за відомими методиками та алгоритмом [9, 10, 14].

Результати отримання показників

Результати хімічного аналізу продуктів синтезу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ показали, що співвідношення Ca/P в пробах близьке до стехіометричного (1,67). За даними аналізів продукт синтезу є нанокристалічним гідроксилапатитом і характеризується розміром кристалів від 25 до 60 нм.

Синтез в твердій фазі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ускладнюється летючістю сполук фосфору [13]. Враховуючи ці особливості сполук фосфору, що використовувались у якості прекурсорів, було визначено оптимальне співвідношення компонентів при синтезі в твердій фазі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$. Результати РФА засвідчили монофазність продуктів синтезу $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, і те, що вони є нанокристалічними матеріалами високої чистоти.

Дані, отримані в результаті проведення реакцій гідратації (при встановленні особливостей процесу гідратації α - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) за допомогою ІЧС, хімічного, електронномікроскопічного і рентгенофазового аналізів, свідчать про те, що продуктом реакції гідратації α - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ є тверда речовина виключно апатитової структури. При дослідженні залежності швидкості гідратації β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ від кількості домішок (наприклад, іонів Mg^{2+} і т.п.) будь яка пропорційна залежність не виявлена.

Проведено дослідження системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2$ в перерізі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$: положення бінарних евтектик і температур плавлення в них в перерізі $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$ системи $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaF}_2$ були визначені розрахункових шляхом за алгоритмом, викладеним в [14] і проведена експериментальна перевірка розрахункових даних (на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії *in situ*). Зроблена спроба синтезу «апатиту В» у твердій фазі з відповідних оксидів шляхом триразового випалу таблетованих при 50 МПа сумішей

при температурах $1000-1400^\circ\text{C}$ з проміжним подрібненням. Рентгенографування проб показало відсутність в зразках будь-яких ліній, які можуть бути віднесені до слідів «апатиту В». Нашими дослідженнями підтверджено наявність лише фтор-апатиту $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, який плавиться конгруентно і утворює з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і CaF_2 прості евтектики.

Температури плавлення і складі бінарних евтектик, утворених $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і CaF_2 , визначені з використанням в якості вихідних даних уточнених термодинамічних констант речовин [4]. Розрахунки проводили за спеціально розробленою програмою на основі алгоритму, представленого в [14]. Нами були отримані наступні результати розрахунків: складі бінарних евтектик:

- 1) 0,415 мол. долей $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і 0,585 мол. долей $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, температура плавлення - 1634°C ;
- 2) 0,980 мол. долей $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і 0,02 мол. долей CaF_2 , температура плавлення 1408°C .

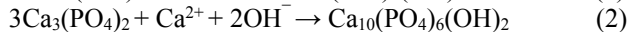
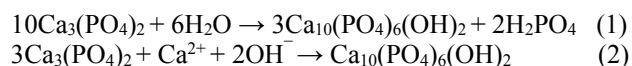
Експериментальна перевірка розрахункових даних, що була проведена на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії (точність $\pm 10^\circ\text{C}$), показала хорошу відповідність експериментальних і розрахункових даних.

На основі отриманих даних побудована фазова діаграма системи $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaF}_2$, наведена на рис. 1, яка значно відрізняється від існуючої раніше.

На основі виконаних досліджень були уточнені області первинної кристалізації фаз в чотирьохкомпонентних системах $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{CaCO}_3 - \text{CaF}_2 - \text{Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CaF}_2 - \text{Ca}(\text{OH})_2$, перспективних для використання в якості біокерамічних композицій, які наведені на рис. 2 і 3.

Обговорення результатів дослідження

Аналіз отриманих експериментальних даних при вивченні особливостей процесу гідратації трьохкальцієвого фосфату і утворення гідроксилапатиту нестехіометричного складу, відбувається, вочевидь, в результаті протікання наступних хімічних реакцій:



Це обумовлює можливість отримання фрагментарної структури кальційфосфатних композицій каркасного типу (при використанні матеріалу, зерна якого складаються у внутрішній частині з β -модифікації $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, яка не гідратується, а в зовнішній частині - з гідратуємої α -форми цієї речовини), яка буде сформована в процесі гідратації матеріалу при його внутрішньокістковому застосуванні для корекції структурних порушень скелету.

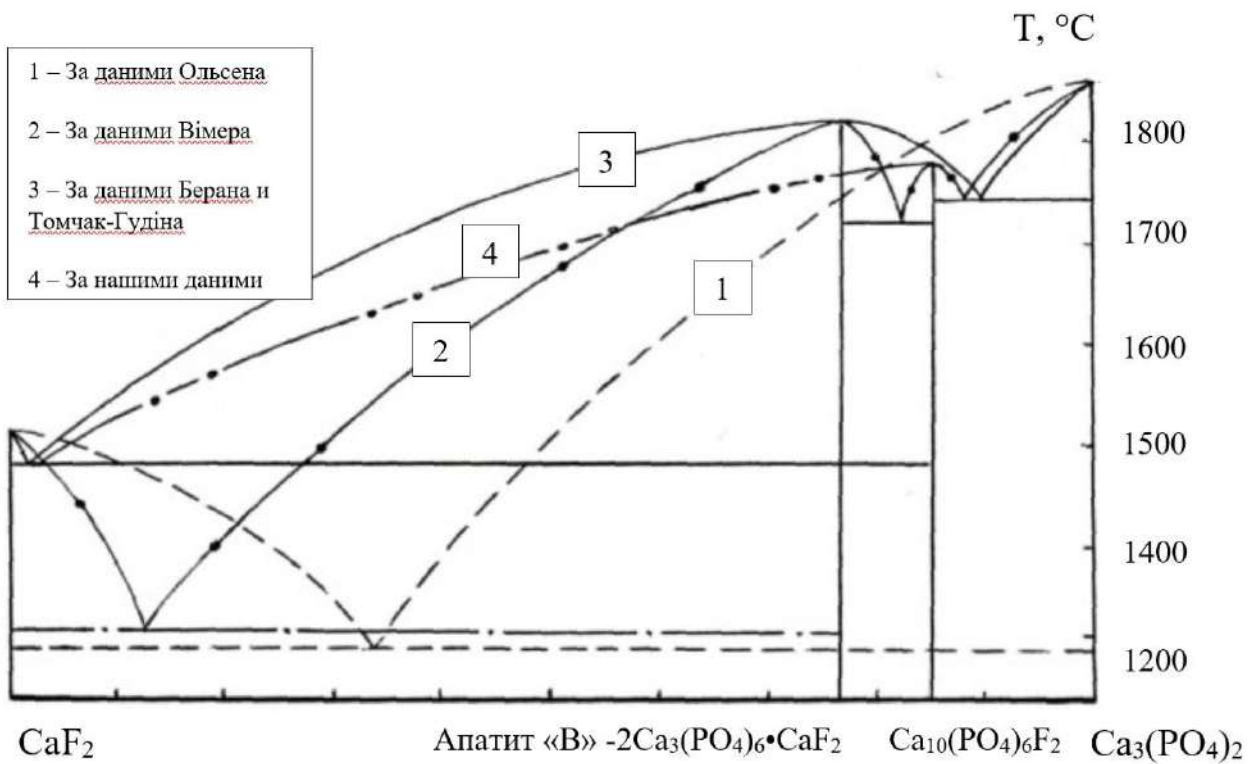


Рис. 1 – Фазова діаграма системи $Ca_3(PO_4)_2$ - CaF_2

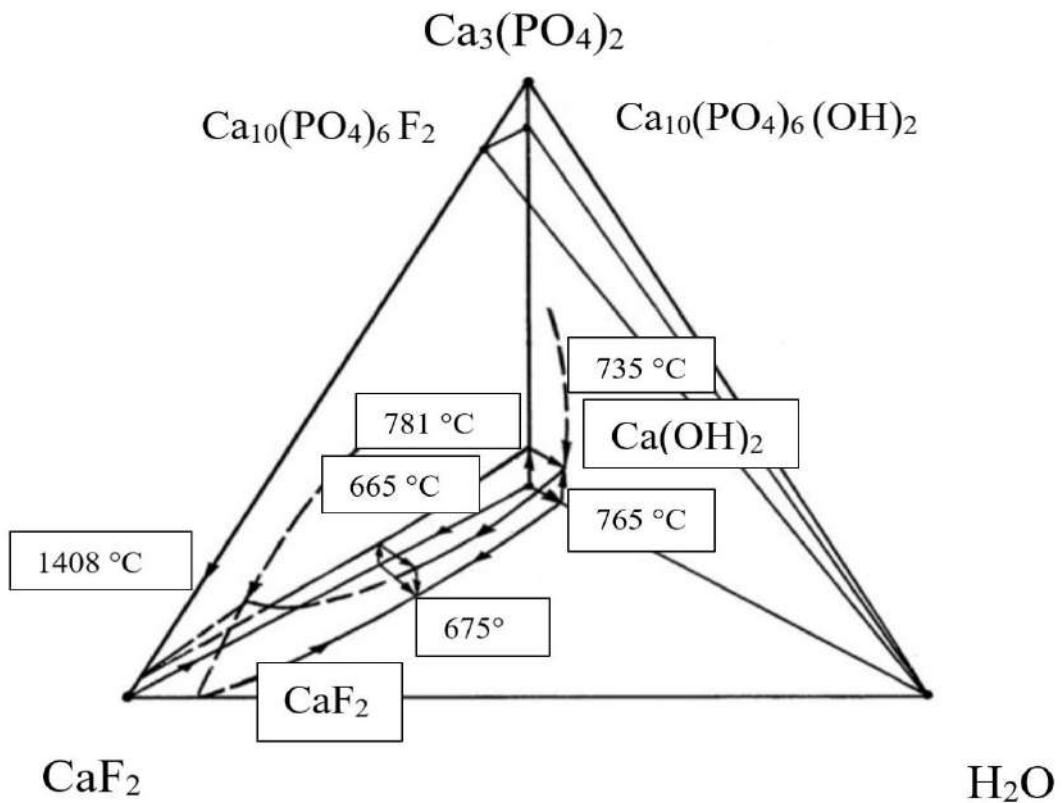


Рис. 2 – Области первинної кристалізації фаз в системі CaF_2 - H_2O - $Ca(OH)_2$ - $Ca_3(PO_4)_2$.

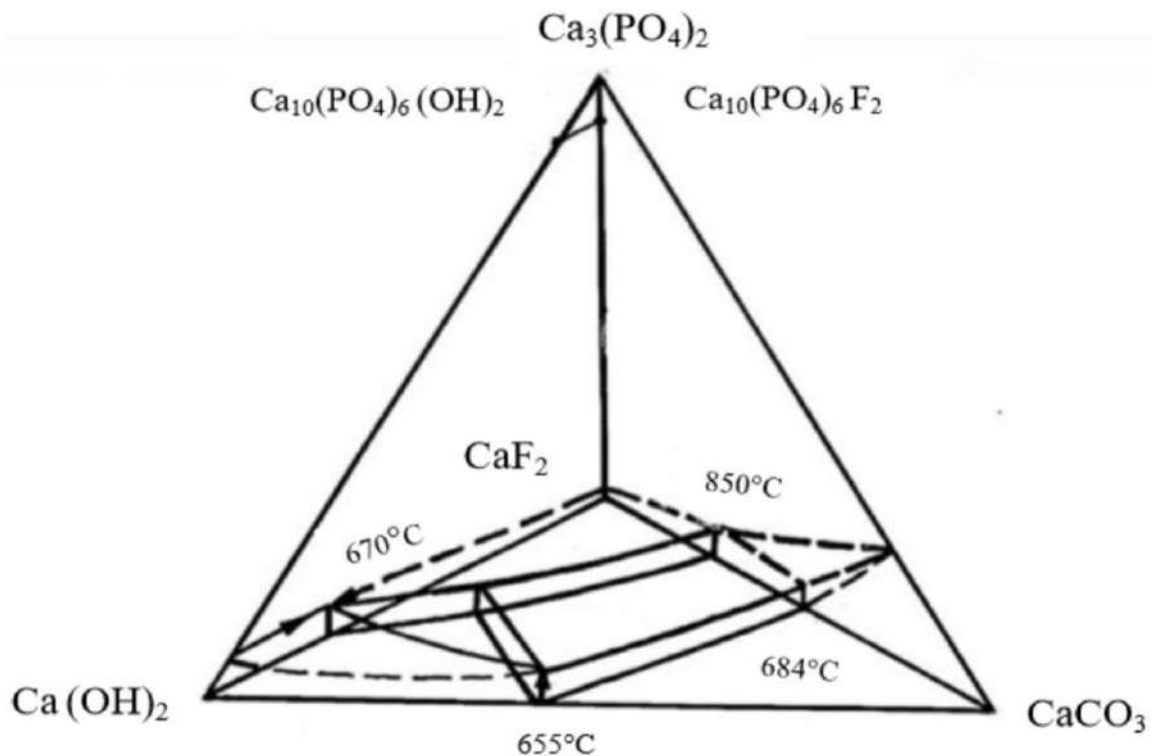


Рис. 3 – Области первинної кристалізації фаз в системі $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-CaF}_2\text{-CaCO}_3\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Встановлена відсутність пропорційної залежності між кількістю домішок (наприклад, іонів Mg^{2+} і т.п.) і швидкістю гідратації $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, пов'язана, вочевидь, з модифікаційними перетвореннями трьохкальцієвого фосфату. Проведена спроба синтезу «апатиту В» в системі $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$ підтвердила відсутність в переріз $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$ будь якої іншої речовини, крім фторапатиту; жоден з аналізів не показав в зразках будь-яких слідів «апатиту В».

Побудована на основі отриманих даних фазова діаграма системи $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$ суттєво відрізняється тим, що в ній присутній тільки фторапатит складу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ (котрий конгруентно плавиться) і дві прості евтектики, які він утворює з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і CaF_2 .

Система $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ має складну будову; в ній утворюється три потрійних сполуки, які є стабільними при нормальному тиску і температурі: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – гідроксилапатит, монетит CaHPO_4 і брушит $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Всі вони були враховані при розбитті системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ на елементарні трикутники, яке виконувалось з урахуванням проведених розрахунків і їх експериментальної перевірки. Триангуляція системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ наведена на рис. 4.

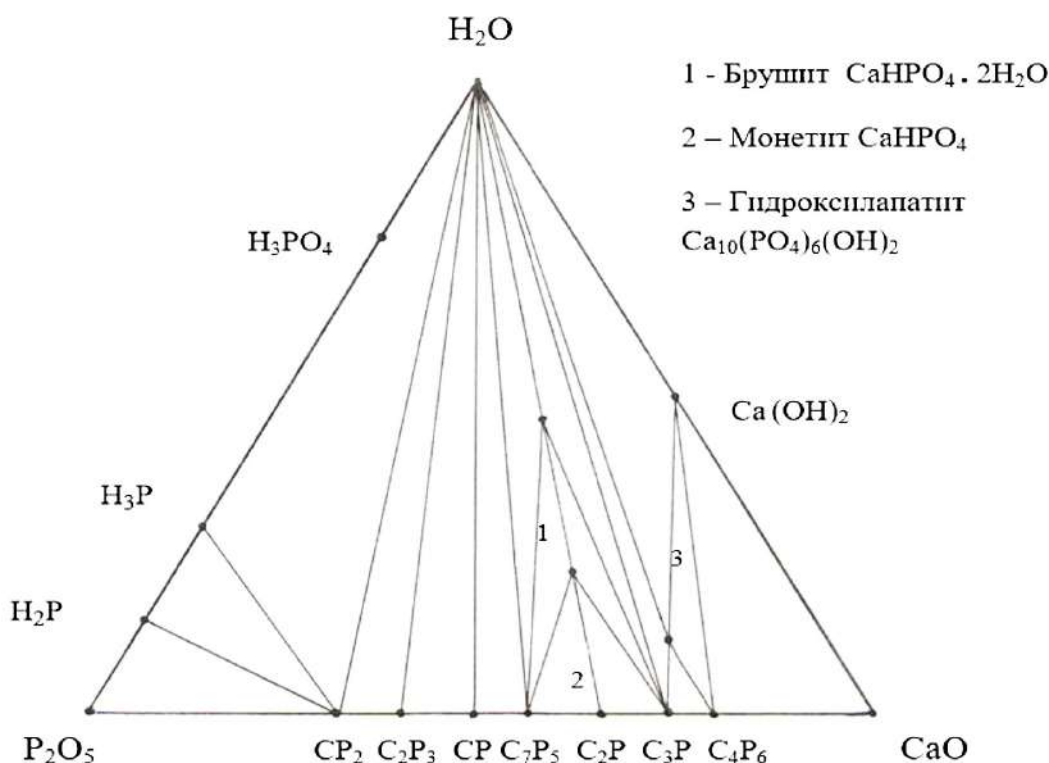
Хоча на сьогоднішній день все ще є розбіжності у питаннях конгруентності або інконгруентності розчинення $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, було прийнято, що

гідроксилапатит має область стійкості і розчиняється інконгруентно, перетворюючись в речовину іншого складу.

Кордони областей існування твердих фаз в системі (при нормальних умовах) визначались розрахунковим шляхом порівняння добутків розчинності фосфатів (при різних рН).

Уточнені області первинної кристалізації фаз в чотирьохкомпонентних системах $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_2\text{O-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$ суттєво відрізняються від прийнятих раніше; це відкриває додаткові можливості для отримання нових синтетичних нанокристалічних матеріалів поліваріантного складу, цілеспрямовано призначених для корекції структурних порушень різних ділянок скелету.

На основі отриманих даних виявлено області перспективних складів для синтезу нанокристалічних матеріалів поліваріантного складу на основі системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ для корекції структурних порушень скелету і розроблено матеріали, які за своїми технічними і біологічними властивостями можуть бути використані для корекції дефектів кісткових тканин; у якості неорганічних наповнювачів гібридних органо-неорганічних композиційних матеріалів, що використовуються для відновлення суставного хряща, для склеювання фрагментів кісток і заповнення порожнин патологічного походження [20 - 23].

Рис. 4 – Триангуляція системи CaO-P₂O₅-H₂O

Розроблені матеріали пройшли повний комплекс токсиколого-гігієнічних випробувань на теплокровних тваринах. Було встановлено, що всі вони відносяться до малотоксичних, малонебезпечних речовин зі слабо вираженими кумулятивними властивостями; їм не притаманні гонадотоксичний, ембріотоксичний, цитотоксичний, мутагенний та тератогенний ефекти, шкірно-дратівливі і шкірно-резорбтивні властивості. Впровадження розроблених матеріалів у відновлювальну хірургію опорно-рухової системи дозволить вирішити проблеми пластики структурних порушень скелету.

Висновки

Встановлені особливості процесу гідратації α -Ca₃(PO₄)₂: визначено, що продуктом реакції гідратації α -Ca₃(PO₄)₂ є гідроксилapatит нестехіометричного складу, який являє собою тверду речовину апатитової структури.

Встановлена відсутність пропорційної залежності між кількістю домішок (наприклад, іонів Mg²⁺ і т.п.) і швидкістю гідратації β -Ca₃(PO₄)₂, пов'язана з модифікаційними перетвореннями трьохкальцієвого фосфату.

Проведено дослідження системи CaO-P₂O₅-CaF₂ в перерізі Ca₃(PO₄)₂-CaF₂, а саме:

Розрахунковим шляхом визначені положення бінарних евтектик і температур плавлення в них в перерізі Ca₃(PO₄)₂-CaF₂ системи CaO-P₂O₅-CaF₂. Проведена експериментальна перевірка

розрахункових даних на препаратах розрахункових складів методом високотемпературної мікроскопії *in situ*.

Побудована фазова діаграма системи Ca₃(PO₄)₂-CaF₂, яка значно відрізняється від існуючої раніше.

Уточнені області первинної кристалізації фаз у чотирьохкомпонентних системах Ca₃(PO₄)₂-CaCO₃-CaF₂-Ca(OH)₂ і Ca₃(PO₄)₂-H₂O-CaF₂-Ca(OH)₂,

На основі проведених досліджень з вивчення особливостей будови окремих підсистем чотирьохкомпонентної системи CaO-P₂O₅-CaF₂-H₂O виявлені області, що представляють інтерес для синтезу біокераміки для внутрішньокісткового використання.

Отримані дані суттєво відрізняються від прийнятих раніше; це відкриває додаткові можливості для отримання нових синтетичних нанокристалічних матеріалів поліваріантного складу, цілеспрямовано призначених для корекції структурних порушень різних ділянок скелету.

Список літератури

1. **Hench, L. L.** Third-Generation Biomedical / **Larry L. Hench, Julia M. Polak** // *Science*. – 2002. – Vol. 295, Issue 5557. – P. 1014-1017. – doi: 10.1126/science. 1067404.
2. **Logeart-Avramoglou, D.** Engineering bone: Challengez and abstractes / **D. Logeart-Avramoglou, F. Anagnoston, R. Bizios, H. Petite** // *J. Cell. Mol. Med.* – 2005. – Vol. 9. – P. 72-84.

3. **Stock, V. A.** Tissue engineering: Current state and prospects / **V. A. Stock, J. P. Vacanti** // *Annu Rev. Med.* – 2001. – Vol. 52. – P. 443-451. – doi: 10.1146annurev.med.52.1.443.
4. **Solgado, A. J.** Bone tissue engineering: State of art and future trend / **A. J. Solgado, O. P. Coutinho, R. L. Reis** // *Macromol. Biosci.* – 2004. – Vol. 4. – P. 743-765.
5. **Goloshchapov, D. L.** Synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite by precipitation using when's eggshell / **D.L. Goloshchapov** // *Ceramics International.* – 2013. – Vol. 39, Issue 4. – P. 4539-4549.
6. **Товстоног, Г. Б.** Структура и свойства биогенной гидроксилатапитовой керамики микроволнового и обычного спекания / **Г. Б. Товстоног, О. Е. Сыч, В. В. Скороход** // *Порошковая металлургия и металлокерамика.* – 2015. – 2002. – Vol. 53, Issue 9-10. – С. 566-573.
7. **Дубок, В. А.** Біокераміка - вчора, сьогодні, завтра / **В. А. Дубок** // *Порошкова металлургія.* – 2000. – 7/8. – С. 69-87.
8. **Beer, K.** Relationship between delayed reactions to dermal fillers and biofilm: facts and considerations / **K. Beer, R. Avelar** // *Dermatological Surgery.* – 2014. – Vol. 40, No 11. – P. 1175-1179. – doi: 10.1097/01.
9. **Бережной, А. С.** Многокомпонентные щелочные оксидные системы / **А. С. Бережной.** – Киев: Наукова думка, 1988. – 196 с.
10. **Бережной, А. С.** Многокомпонентные системы окислов / **А. С. Бережной.** – Киев: Наукова думка, 1970. – 544 с.
11. **Levin, E. M.** Phase diagrams for Ceramists / **E. M. Levin, C. R. Robbins, H. F. Mc Murdie** // *The Amer. Ceram. Soc.*, 1964. – 1975.
12. **Корбридж, Д.** Фосфор: основы химии, биохимии, технологии / **Д. Корбридж.** – М.: Мир, 1980. – 680 с.
13. **Bassett, H.** Thermodynamic calculation on for selected phases in the system CaO-P₂O₅-H₂O / **H. Bassett** // *Journ. Chem. Soc.* – 1968. – N. 7. – P. 2949-2953.
14. **Бережной, А. С.** Расчет элементов диаграмм состояния многокомпонентных систем оксидов с помощью ЭВМ / **А. С. Бережной, С. П. Кривилева** // *Укр. Хим. Журн.* – 1990. – Т. 56, № 4, с. 434-436.
15. **Robie, R.A.** and all. Thermodynamic Propertites of Minerals and Related Substances at 298.15 K and 1 Bar (10⁵ Pascals) Pressuze and Higher Temperatures / **R. A. Robie.** – Washington: US Government printy office, 1978. – 456 p.
16. **Винчелл, А. Н.** Оптические свойства искусственных минералов / **А. Н. Винчелл, Г. Винчелл.** – М.: Мир, 1980. – 526 с.
17. **Процюк, А. П.** О субсолидусном строении четверных фосфатных систем, образованных оксидами Са, Mg, Al, Si и P / **А. П. Процюк** // *ДАН СССР.* – 1981. – Vol. 257, Issue 5. – С. 1147 – 1150.
18. **Волков, В. И.** Исследование некоторых твердофазных реакций получения в фторфосфата кальция / **В. И. Волков, М. П. Дубинина, В. И. Безруков** // *Журнал неорганической химии.* – 1979. – 24, 3. – С. 657 – 661.
19. **Dowel, H. Mc.** Solubility of Ca₅(PO₄)₃OH in the system Ca(OH)₂-H₃PO₄-H₂O at 5, 15,25 and 37 °C / **H. Mc. Dowell, T. M. Gregory, W. E. Brown** // *Jorn. Res. Nat. Bur. Stand.*– 1977. – Vol. 81A, Issue 2-3. – P. 273 – 281.
20. **Бережний, А. С.** Патент 17276 UA С 04 В 35/80, UA. Кераміка для поповнення дефектів кісткової тканини, зміцнена монокристалами, і спосіб її виготовлення / **Бережний А. С., Кривільова С. П., Жуков В.І.** опубл. 31.10.97., Бюл. N 5.
21. **Бережний, А. С.** Патент 17287 UA С 04 В 35/80, UA. Композиційний матеріал кераміка/кераміка для поповнення дефектів кісткової тканини і спосіб його виготовлення / **Бережний А. С., Кривільова С. П., Жуков В. І.** опубл. 31.10.97., Бюл. N 5.
22. **Кривільова, С. П.** Патент 17260 UA С 08 L 33/02, UA. Полімерна композиція / **Кривільова С. П., Рассоха О. М., Жуков В. І.** опубл. 31.10.97., Бюл. N 5.
23. **Кривільова, С. П.** Патент 17307 UA С 08 L 33/02, UA. Композиційний матеріал / **Кривільова С. П., Рассоха О. М., Жуков В. І.** опубл. 31.10.97., Бюл. N 5.

Bibliography (transliterated)

1. **Hench, L. L.** Third-Generation Biomedical Materials. *Science*, 2002, **295** (5), 1014-1017, doi: 10, 1126 / science, 1067404.
2. **Logeart-Avramoglou, D., Anagnoston, F., Bizios, R., Petite, H.** Engineering bone: Challengez and abstracles. *J. Cell. Mol. Med.*, 2005, **9**, 72-84.
3. **Stock, V. A., Vacanti, J. P.** Tissue engineering: Current state and prospects. *Annu Rev. Med.*, 2001, **52**, 443-451, doi: 10,1146 annurev.med.52.1.443.
4. **Solgado, A. J., Coutinho, O. P., Reis, R. L.** Bone tissue engineering: State of art and future trend. *Macromol. Biosci.*, 2004, **4**, 743-765.
5. **Goloshchapov, D. L.** Synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite by precipitation using when's eggshell. *Ceramics International*, 2013, **39** (4), 4539-4549.
6. **Tovstonoh, H. B., Sych, O. E., Skorokhod, V. B.** Struktura ta vlastyvoli biohennoyi hidroksylapatytovoyi keramiky mikrokhvyly'ovoho ta zvychaynoho spekannya [Structure and properties of biogenic hydroxylapatite ceramics of microwave and ordinary sintering]. *Poroshkovaya metallurgiya i metallokeramika* [Powder metallurgy and cermet], 2015, **53** (9-10), 566-573.
7. **Dubok, V. O.** Biokeramika - Vchora, s'ohodni, zavtra [Bioceramics - Yesterday, Today, Tomorrow] *Poroshkova metallurhiya* [Powder metallurgy], 2000, **7/8**, 69-87.
8. **Beer, K. Avelar, R.** Relationship between delayed reactions to dermal fillers and biofilm: facts and considerations. *Dermatological Surgery*, 2014, **40** (11), 1175-1179, doi: 10.1097/01.
9. **Berezhnoy, A. S.** Mnogokomponentnyie schelochnyie oksidnyie sistemyi [Manycomponent Alkaline Oxide Systems], Kiev, Naukova dumka Publ., 1988, 196 p.
10. **Berezhnoy, A. S.** Mnogokomponentnyie sistemyi okislov [Manycomponent systems of oxides], Kiev, Naukova dumka Publ., 1970, 544 p.
11. **Levin, E. M., Robbins, C.R., Murdie, H. F. Mc** Phase diagrams for Ceramists. *The Amer. Ceram. Soc.*, 1964, 1975.
12. **Corbrigi, D.** Fosfor: osnovyi himii, biohimii, tehnologii [Phosphorus: the fundamentals of chemistry, biochemistry, technology], Moskov, Wold Publ., 1980, 680 p.
13. **Bassett, H.** Thermodynamic calculation on for selected phases in the system CaO-P₂O₅-H₂O / **H. Bassett** // *Journ. Chem. Soc.*, 1968, N. 7, 2949-2953.
14. **Berezhnoy, A. S., Krivileva, S. P.** Raschet elementov diagramm sostoyaniya mnogokomponentnyih sistem oksidov s pomoschyu EVM [Calculation of elements of phase diagrams of multicomponent oxide systems by means of a computer], *Ukr. Chem. Jour.*, 1990, **56** (4), 434-436.
15. **Robie, R.A.** and all. Thermodynamic Propertites of Minerals and Related Substances at 298.15 K and 1 Bar (10⁵ Pascals) Pressuze and Higher Temperatures / **R. A. Robie.** – Washington: US Government printy office, 1978, 456 p.
16. **Vinchell, A. N., Vinchell, G.** Opticheskie svoystva iskusstvennyih mineralov [Optical properties of artificial minerals], Moskov: Wold Publ., 1980, 526 p.

17. **Protsyuk, A. P.** O subsolidusnom stroenii chetvernnykh fosfatnykh sistem, obrazovannykh oksidami Ca, Mg, Al, Si i R [Subsolidus structure of quadruple phosphate systems formed by oxides of Ca, Mg, Al, Si, and P], *Doklady Chemical Technology*, 1981, **257** (5), 1147 – 1150.
18. **Volkov, V. I., Dybinina, M. P., Bezrykov, V. I.** Issledovanie nekotorykh tverdogaznykh reaktsiy polucheniya v fluorofosfata kaltsiya [Investigation of some solid-phase reactions of production in calcium fluorophosphate], *Journal of Inorganic Chemistry*, 1979, **24** (3), 657 – 661.
19. **Dowel, H. Mc., Gregory, T. M., Brown, W. E.** Solubility of $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ in the system $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ at 5, 15, 25 and 37 °C. *Jorn. Res. Nat. Bur. Stand.*, 1977, Vol. **81A**, Issue 2–3, 273 – 281.
20. **Berezhny, A.S., Krivileva, S. P., Zhukov, V.I.** Keramika dlya popovnennya defektiv kistkovoyi tkanyny, posylenoyi monokrystalamy ta sposobom yiyi vyhotovlennya [Ceramics for replenishing bone defects changed by single crystals, and the method of its manufacture]. Pat. UA, No. 17276, UA, C 04 B 35/80/. opubl. 31.10.97., N 5.
21. **Berezhny A.S., Krivileva S. P., Zhukov V.I.** Kompozitsiyniy material keramika / keramika dlya popovnennya defektiv kistkovoyi tkanini I sposib yogo vygotovlennya [Composite ceramic / ceramic material for replenishing bone defects and the method of its manufacture]. Pat. UA, No. 17287 UA C 04 B 35/80/. opubl. 31.10.97., N 5.
22. **Krivileva S. P., Rassoja O. M., Zhukov V.I.** Polimernaya kompozitsiya [Polymer composition]. Pat. UA, No.17260 UA C 08 L 33/02. opubl. 31.10.97., N 5.
23. **Krivileva S. P., Rassoja O. M., Zhukov V.I.** Kompozitsiyniy material [Composite material]. Pat. UA, No.17307 UA C 08 L 33/02. opubl. 31.10.97., N 5.

Сведения об авторах (About authors)

Кривільова Світлана Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки і промислової екології, м. Харків, Україна; e-mail: spkri@ukr.net.

Svetlana Krivileva – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor of Department of “Chemical Technics and Industrial Ecology”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; e-mail: spkri@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кривільова, С. П. Синтетичні нанокристалічні матеріали поліваріантного складу на основі системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ для корекції структурних порушень скелету / **С. П. Кривільова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 198-206. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.29.

Please cite this article as:

Krivileva, S. Synthetic nanocrystalline materials of the poly-variant composition based on the system $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ for correction of structural disturbances of skeleton. *Bulletin of NTU "KhPI"*, Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 198-206, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.29.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кривилёва, С. П. Синтетические нанокристаллические материалы поливариантного состава на основе системы $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ для коррекции структурных нарушений скелета / **С. П. Кривилёва** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 198-206. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.29.

АННОТАЦИЯ Рассмотрена перспективность использования синтетических нанокристаллических материалов многовариантного состава на основе системы $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ и добавок для коррекции структурных нарушений скелета. Показано, что для синтеза нанокристаллических порошков и композитов биомедицинского назначения перспективны материалы, составы которых описываются системой $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$. Изучены системы $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$, $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$. Проведено исследование системы $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$ в сечении $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$: определено положение бинарных эвтектик и температур плавления в них. Построена диаграмма состояния системы $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$, которая существенно отличается от приведенных в литературе. Выполнена экспериментальная проверка расчетных данных на препаратах расчетных составов методом высокотемпературной микроскопии. На основе проведенных исследований уточнены области первичной кристаллизации фаз в четырехкомпонентных системах $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_2\text{O-CaF}_2\text{-Ca}(\text{OH})_2$, перспективных для использования в качестве биокерамических композиций. На основе проведенных исследований в системе $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ установлены области, перспективные для синтеза материалов, которые по своим техническим и биологическим свойствам могут быть использованы: 1) для коррекции дефектов костных тканей; 2) в качестве неорганических наполнителей гибридных органо-неорганических композиционных материалов, предназначенных для восстановления суставного хряща; 3) для склеивания фрагментов костей и заполнения полостей патологического происхождения; 4) для восполнения минерального состава костей и зубной эмали.

Ключевые слова: синтетические нанокристаллические материалы; фазовая диаграмма; система $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2$; сечение $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaF}_2$, кинетика образования; высокотемпературная микроскопия; элементарные тетраэдры; коррекция нарушений скелета.

Поступила (received) 07.03.2018

УДК 664.663.9

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.30

ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК РЕГУЛЯТОРІВ СТРУКТУРИ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТІСТА ТА ГОТОВИХ ВИРОБІВ

Н. Л. ЛОБАЧОВА*

¹Сумський коледж харчової промисловості, м.Суми, УКРАЇНА
*email: nadezh.da@ukr.net

АНОТАЦІЯ У статті проаналізовано застосування ферменту трансглютаміназа, який здатний змінювати протеїни через утворення додаткових поперечних зв'язків, у якості коректора структури безглютенових хлібобулочних виробів. Враховуючи, що цей фермент має різну реакційну здатність із різними білками, для забезпечення найвищої реакційної здатності обрано білки, отримані шляхом переробки вторинної м'ясної сировини. Рекомендовано за основу борошняної сировини застосовувати борошняні суміші з базовим компонентом у кількості не менше 50% для запобігання погіршення кольору м'якушки, послаблення забарвлення скоринки та ін.

Ключові слова: фермент трансглютаміназа; безглютенові вироби; білок; добавки; целиакія.

USE OF ADDITIONAL REGULATORS OF THE STRUCTURE GLUTEN-FREE DOUGH AND FINISHED GOODS

N. L. LOBACHEVA

¹ Sumy College of Food Industry, Sumy, UKRAINE

ABSTRACT Treatment for celiac disease is possible only through strict dietary nutrition, with the exception of even microdoses of gluten. The use of gluten-free flour in bread making causes a number of technological problems and requires a variety of auxiliary means to perform gluten functions. Since the replacement of wheat flour with gluten in the ratio "to each other" is impossible, additionally use different types of native starches, gluten-free flour and hydrocolloids, proteins, enzyme preparations. The article analyzes the use of the enzyme transglutaminase, which is capable of changing proteins due to the formation of additional cross-links, as a corrector of the structure of gluten-free bakery products. Given that this enzyme has a different reactivity with different proteins, to ensure high reactivity, proteins obtained by processing raw meat are selected. Investigations of the quality indicators of bakery products with gluten-free flour raw materials have proved the necessity and possibility of regulating the structural and mechanical properties of dough and bakery products. The use of gluten-free flour mixtures for the production of gluten-free bakery products is more expedient compared to the use of one type of gluten-free flour, which makes it possible to use more rationally the raw materials available in the agro-industrial complex of the country; improve the structural and mechanical properties of gluten-free dough and finished products; increase the nutritional and biological value of products by combining different types of flour; expand the range of gluten-free bakery products. Recommended for the basis of flour raw flour mixtures with a base component in an amount of not less than 50% to prevent the deterioration of the color of the crumb, the weakening of the color of the crust.

Key words: transglutaminase enzyme; gluten-free products; protein; supplements; celiac disease.

Вступ

Історичний зв'язок пшениці і людства є нерозривним і життєво необхідним, проте, для хворих на целиакію людей його вживання є неприпустимим. За останні 30...40 років уявлення про поширеність цього захворювання істотно змінилися в бік значного збільшення. За оцінкою Всесвітньої асоціації гастроентерологів на целиакію страждає близько 1% населення Землі. За підрахунками Всеукраїнського товариства целиакії, лише в Києві тепер проживає близько 30 тис. хворих на целиакію, а виявлено – в десять разів менше. Лікування целиакії можливе виключно через суворе дієтичне харчування з виключенням навіть мікродоз глютену.

Створенню науково-практичних засад виробництва безглютенових харчових продуктів присвячені праці вітчизняних та зарубіжних вчених: В.І. Дробот, А.М. Дорохович, О.М. Шаніної, Е. Gallagher, Е.К. Arendt, J.L. Casper, W.A. Atwell, Е. J. Hoffenberg, J. Haas, М.М. Мор та ін. Особливу увагу приділяють хлібопекарській продукції, яка є найбільш

повсякденно вживаною і виступає головним джерелом глютену, бо включає пшеничне борошно як основний сировинний ресурс.

Використання безклейковинного борошна в хлібопеченні викликає низку технологічних проблем і потребує різноманітних допоміжних засобів для виконання функцій глютену. Оскільки заміна пшеничного борошна на безглютенове у співвідношенні «один до одного» неможлива, додатково застосовують різні види нативних крохмалів, безглютенового борошна і гідроколідів, білків, ферментних препаратів. Трансглютаміназа – відносно новий засіб, що використовується в процесі виробництва хлібобулочних виробів. Цей фермент може змінювати протеїни за рахунок утворення поперечних зв'язків, що у виробництві безглютенових хлібобулочних виробів призводить до збільшення об'єму, поліпшення текстури та збільшення терміну зберігання хліба. Проте, залишаються актуальними наступні невирішені технологічні та комерційні питання виробництва і споживання безглютенового хліба: необхідність суттєвого поліпшення структури

виробів; виявлення механізмів впливу ферменту трансглютаміназа на білки рослинного та тваринного походження, а також на їх суміші.

Тому пошук додаткових білкових джерел, здатних підвищити ефективність дії трансглютамінази та удосконалення і розробка новітніх технологій безглютенової хлібопекарської продукції є актуальною та своєчасною науковою проблемою для вітчизняної та світової зернопереробної галузі. Запропоновано застосовувати добавки, які за походженням є тваринними білками, що отримують з колагенвмісної м'ясної сировини, а саме – найбільш розповсюджений і добре відомий в нашій країні желатин, доступний за ціною і розповсюдженням в країнах ЄС Сканпро Т95 та вітчизняний Геліос-11.

Дослідженнями показників якості хлібобулочних виробів з безглютенової борошняної сировини доведено необхідність і можливість регулювання структурно-механічних властивостей тіста та хлібобулочної продукції.

Детального дослідження потребує перебіг процесів тістоутворення (фізико-хімічних, біохімічних, реологічних і мікробіологічних процесів, що є визначальними під час замішування і бродіння, формування і розстоювання тіста), теплової обробки тістової заготовки (вивчення гідратаційних процесів, що впливають на втрати вологи під час випікання).

Викладення основного матеріалу

Пошук добавок-поліпшувачів структури безглютенових хлібобулочних виробів проводиться на підставі розуміння фундаментального механізму утворення безглютенового тіста [1, 22]. Згідно з сучасними науковими уявленнями, за відсутності в безглютеновому борошні гідратованої клейковинної мережі, що зазвичай формує просторову структуру пшеничного тіста, одним з важливих чинників оптимізації і стабілізації процесу утримання бульбашок газу, утворених в тісті, є достатня кількість води для гідратації біополімерів тіста для набуття тістом потрібної в'язкості.

Зрозуміло, що підвищити гідратаційну здатність борошняного тіста можна, наприклад, додаванням білкових речовин із вираженими драглеутворювальними властивостями або використанням речовин полісахаридної природи, які добре гідратуються в холодній або теплій воді (на відміну від звичайного крохмалю, клейстеризація якого виявляється з підвищенням температури до 40...42°C і вище).

Таким чином, обрано напрям застосування білкових добавок (враховуючи їхню здатність не тільки виконувати функцію коректора структури, але й впливати на харчову і біологічну цінність хліба) разом із ферментом трансглютаміназа (спираючись на її здатність змінювати протеїни за допомогою амінування, або через утворення поперечних зв'язків, або через дезамінування).

За додавання ТГ утворення поперечних зв'язків відбувається тоді, коли аміногрупи залишків лізину у протеїнах діють як ацилові акцептори. При цьому утворюються всередині міжмолекулярні Lys-зв'язки (ізопептидні зв'язки) [7]. За відсутності первинних амінів у реакційній системі вода виконує функцію ацилового акцептора. Внаслідок цього відбувається дезамінування залишків глютаміну (рис. 1). ТГ може стати каталізатором вбудовування первинних амінів у протеїни. Вона здатна зв'язувати протеїни різного походження: казеїни і альбуміни з молока, тваринний білок з яєць і м'яса, соєвий і пшеничний протеїн [8,5].

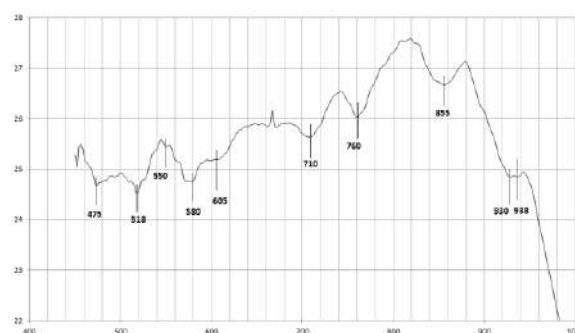


Рис.1 - ІЧ-спектр зразка тіста з борошняної суміші на основі вівсяного борошна з додаванням 3% желатину та 0,05% ТГ (в інтервалі 400...1000 см⁻¹)



а



б

Рис.2 - Зовнішній вигляд хліба (переріз) зі складом борошняної сировини 50% вівсяного борошна, 25% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна на воді без ТГ (а) та з додаванням 0,1% ТГ (б)

Трансглютаміназу пропонують застосовувати для виробництва безглютенового хліба [14] для поліпшення структурно-механічних властивостей м'якушки. Проте, ефективність її дії не можна вважати достатньо високою. Про це свідчать дані,

наведені в роботі [10]. Слід зазначити, що отримано подібні дані щодо дії ферменту ТГ як поліпшувача для безглютенового хліба. Зовнішній вигляд хліба (у перерізі) з борошняної суміші на основі вівсяного борошна наведено на рис. 2.

Основною метою застосування ферменту ТГ є подальше поліпшення і стабілізація структури безглютенових хлібобулочних виробів. Враховуючи прогнозовану добру реакційну здатність ферменту ТГ з КВБ та білками борошна.

Обговорення результатів

На сьогоднішній день, кожна розробка нової технології повинна мати в основі чітко прописаний план її створення: суть інновації, характер розробленої технології та характер ринку.

Порівняння зразків, наведених на рис. 2 та 3, показує, що загальною тенденцією є покращання пористості і питомого об'єму хліба. Проте, очевидним є той факт, що застосування борошняної суміші в порівнянні з будь-яким одним видом безглютенового борошна є більш ефективним. Проте, з метою подальшого покращання об'єму, пористості та зовнішнього вигляду хлібобулочних виробів необхідні новітні технологічні рішення

Таким чином, метою пошуку ефективних комбінацій білкових поліпшувачів із ферментом ТГ для борошняних сумішей дослідження проводилось у два етапи: 1 – дослідити вид і кількість білкової добавки, зокрема колагенмісні білки (КВБ) – желатин, Сканпро Т95, Геліос-11; 2 – вивчити ефективність комбінування білкових поліпшувачів із ферментом ТГ.

Як свідчать експериментальні дані, і вид, і концентрація добавки помітно змінює структурно-механічні показники якості хліба. Будь-яку добавку можна вважати поліпшувачем, проте за ефективністю дії реверсний ряд виглядає наступним чином: Геліос 11 > Сканпро Т95 > желатин. Так, за додавання 1...2% Геліос 11 питомий об'єм хліба зростає на 25...27%, Сканпро Т95 – на 12...13%, 3%-вого розчину желатину – на 11%.

У разі застосування борошняної суміші на основі кукурудзяного борошна дія КВБ виявляється подібною вищевказаній (рис.3).

Якщо у складі хлібобулочних виробів застосовувати джерела додаткового білка (желатин, Геліос 11, Сканпро Т95), то ТГ діє помітно ефективніше. Вироби мають гладку поверхню, еластичну м'якушку з приємним світло-жовтим кольором, рівномірну пористість. Введення ТГ в кількості більше 0,1% до маси борошна є недоцільним.

Таким чином, проведені дослідження доводять ефективність застосування ферменту ТГ, особливо в композиції з білками тваринного і рослинного походження, покращуючи структурно-механічні та

органолептичні показники безглютенових виробів (рис. 3).



50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна



1% Геліос 11

1% Сканпро Т95



2% Геліос 11

2% Сканпро 95

Рис.3- Зовнішній вигляд хліба (переріз) зі складом борошняної сировини 50% кукурудзяного борошна, 25% рисового борошна, 25% вівсяного борошна з додаванням різного виду і кількості КВБ.

Всі добавки КВБ досить ефективно діють на якість безглютенових хлібобулочних виробів – помітно зростає об'єм виробів, їх форма і зовнішній вигляд, поліпшується пористість.

Висновки

Застосування безглютенових борошняних сумішей для вироблення безглютенових хлібобулочних виробів є більш доцільним порівняно з використанням одного виду безглютенового борошна, що дозволяє більш раціонально використати наявну в агропромисловому комплексі країни зернову сировину; поліпшити структурно-механічні властивості безглютенового тіста та готових виробів; підвищити харчову та біологічну цінність виробів за рахунок комбінування різних видів борошна; розширити асортимент безглютенових хлібобулочних виробів.

За основу борошняної сировини рекомендовано застосовувати борошняні суміші з базовим компонентом у кількості не менше 50% для запобігання погіршення кольору м'якушки, послаблення забарвлення скоринки та ін. Кукурудзяне борошно, якщо його кількість у складі борошняної суміші перевищує 25...30%, потребує вживання

додаткових технологічних заходів для запобігання надмірній крихкості м'якушки.

У якості коректора структури безглютенових хлібобулочних виробів рекомендовано застосовувати фермент трансглютаміназу, який здатний змінювати протеїни через утворення додаткових поперечних зв'язків. Враховуючи, що цей фермент має різну реакційну здатність із різними білками, для забезпечення найвищої реакційної здатності обрано білки, отримані шляхом переробки вторинної м'ясної сировини, а саме желатин, Геліос 11 (виробництва України), Сканпро Т 95 (виробництва Данії).

Усі білкові добавки (у досліджених кількостях до маси борошняної сировини) ефективно впливають на якість безглютенових хлібобулочних виробів – помітно зростає їх об'єм, форма і зовнішній вигляд, поліпшується пористість. За ефективністю дії реверсний ряд виглядає наступним чином: Геліос 11 > Сканпро Т95 > желатин. Питомий об'єм виробів збільшується на 15...25% щодо контрольного зразка без добавок, пористість – на 4...6 абс.%.

Застосування ферменту ТГ в кількості 0,05...0,10% до маси борошна призводить до подальшого покращення структури безглютенових виробів – питомий об'єм їх зростає на 40...45%, пористість на 10...12 абс.%.

Список літератури

1. **Arendt, E. K.** Development of gluten-free cereal products / **E. K. Arendt, C. M. O' Brien, T. J. Schober, E. Gallagher, T. R. Gormley** // *Farm & Food*. – 2002. – 21–27 p.
2. **Ahlborn, G. J.** Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads / **G. J. Ahlborn, O. A. Pike, S. B. Hendrix, W. M. Hess, S. H. Clayton** // *Cereal Chemistry*. – 2005. – Vol. 82 (3). – 328–335 p.
3. **Gallagher, E.** Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products / **E. Gallagher, T. R. Gormley, E. K. Arendt** // *Trends in Food Science & Technology*. – 2003. – Vol. 15. – 143–152 p. - doi: 10.12691/ijcd-2-1-4.
4. **Schober, J. T.** Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids / **J. T. Schober, M. Messerschmidt, S. R. Bean, S. H. Park, E. K. Arendt** // *Cereal Chemistry*. – 2004. – Vol. 82. – 394–404 p. - doi: 10.1094/CC-82-0394.
5. **Hattner, E. K.** Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flour / **E. K. Hattner, F. Dal Bello, E. K. Arendt** // *Journal of Cereal Science*. – 2010. – Vol. 52. – 65–71 p. - doi: 10.1007/s13197-015-2065-z.
6. **Korus, J.** The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread / **J. Korus, M. Witzczak, R. Ziobro, L. Juszczak** // *Food Hydrocolloids*. – 2009. – Vol. 23. – 988–995 p. - doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.07.010.
7. **Marco, C.** Effect of transglutaminase on protein electrophoretic pattern of rice, soybean, and rice-soybean blends / **C. Marco, G. Purez, A. E. Leyn, C. M. Rosell** // *Cereal Chemistry*. – 2008. – Vol. 85. – 59–64 p. - doi: 10.1094/CCHEM-85-1-0059.
8. **Marco, C.** Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours / **C. Marco, C. M. Rosell** // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 88. – 94–103 p. - doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018.
9. **Van Riemsdijk, L. E.** Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system / **L. E. Van Riemsdijk, A. J. Van Der Goot, R. B. Hamer, R. M. Boom** // *Journal of Cereal Science*. – 2011. – Vol. 53. – 355–361 p. - doi.org/10.1016/j.jcs.2011.02.006.
10. **Дробот, В. И.** Использование гречневой муки в производстве безглютенового хлеба / **В. И. Дробот, А. М. Грищенко, Л. А. Михоник** // *Хранение и переработка зерна*. – 2011. – № 4 (142). – С. 61–62.
11. **Shanina, O.** Production challenge sofenriched flour products / **O. Shanina, K. Dugina, V. Zverev, T. Gavrish, M. Domahina, N. Lobacheva** // *Materials of the III International and Practice Conferenc. «European Science and Technology»*. – Munich, Germany, 2012. – Vol.1. – P. 248–252.
12. **Лобачева, Н. Л.** Технологічні аспекти формування структури виробів з безглютенової борошняної сировини / **Н. Л. Лобачева, О. М. Шаніна** // *Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробки і харчових виробництв: матер. XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. – Харків, 2013. – С.71–79.
13. **Шаніна, О. М.** Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті / **О. М. Шаніна, Н. Л. Лобачова, А.О.Ліфенцева** // *Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція*. – 2014. – Харків: ХДУХТ. – С. 143–144.
14. **Salmenkallio-Marttila, M.** Effects of gluten and transglutaminase on microstructure, sensory characteristics and instrumental texture of bread / **M. Salmenkallio-Marttila, K. Roininen, K. Autio, L. Lähteenmäki** // *Agricultural and Food Science*. – Vol. 13. – P. 138–150. - doi.org/10.2137/1239099041838003.

Bibliography (transliterated)

1. **Arendt, E.K., Brien, C.M.O', Schober, T.J., Gallagher, E., Gormley, T.R.** Development of gluten-free cereal products. *Farm & Food*, 2002, 21–27.
2. **Ahlborn, G.J., Pike, O.A., Hendrix, S.B., Hess, W.M., Clayton, S.H.** Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. *Cereal Chemistry*, 2005, Vol. 82 (3), 328–335.
3. **Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K.** Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, Vol. 15, 143–152, doi: 10.12691/ijcd-2-1-4.
4. **Schober, J.T., Messerschmidt, M., Bean, S.R., Park, S.H., Arendt, E.K.** Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, 2004, Vol. 82, 394–404, doi: 10.1094/CC-82-0394.
5. **Hattner, E. K., Dal Bello, F., Arendt, E. K.** Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flour. *Journal of Cereal Science*, 2010, Vol. 52, 65–71, doi: 10.1007/s13197-015-2065-z.
6. **Korus, J., Witzczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L.** The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 2009, Vol. 23, 988–995, doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.07.010.
7. **Marco, C., Purez, G., Leyn, A.E., Rosell, C.M.** Effect of transglutaminase on protein electrophoretic pattern of rice, soybean, and rice-soybean blends. *Cereal Chemistry*, 2008, Vol. 85, 59–64, doi: 10.1094/CCHEM-85-1-0059.

8. Marco, C., Rosell, C.M. Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 2008, Vol. **88**, 94–103, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.01.018.
9. Van Riemsdijk, L. E., Van Der Goot, A.J., Hamer, R.B., Boom, R.M. Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system. *Journal of Cereal Science*, 2011, Vol. **53**, 355–361, doi: 10.1016/j.jcs.2011.02.006.
10. Drobot, V.I., Grishchenko, A.M., Mihonik, L.A. The use of buckwheat flour in the production of gluten-free bread. *Storage and processing of grain*, 2011, No. 4 (142), 61–62.
11. Shanina, O., Dugina, K., Zverev, V., Gavrish, T., Domahina, M., Lobacheva, N. Production challenge soft-enriched flour products. *Materials of the III International and Practice Conferenc. «European Science and Technology»*, Munich, Germany, 2012, Vol. **1**, 248–252.
12. Lobacheva, N.L., Shanina, A. M. Technological aspects of forming the structure of products from gluten-free flour raw materials. *Modern trends in technology and mechanization of processes of processing and food industries: mater. XIII International Scientific and Practical Conference*. - Kharkiv, 2013, 71-79.
13. Shanina, O. M., Lobacheva, N. L., Lifentseva, A.O. Study of deformation processes in gluten-free test. *Innovative technologies in food industry and restaurant industry: international. science-practice Internet Conference*, 2014, Kharkiv: KhDUHT, 143-144.
14. Salmenkallio-Marttila, M., Roininen, K., Autio, K., Lähteenmäki, L. Effects of gluten and transglutaminase on microstructure, sensory characteristics and instrumental texture of bread. *Agricultural and Food Science*, Vol. **13**, 138–150, doi: 10.2137/1239099041838003.

Відомості про авторів (About authors)

Лобачова Надія Леонідівна - кандидат технічних наук, викладач, Сумський коледж харчової промисловості, м. Суми, Україна; email: nadezh.da@ukr.net.

Nadiia Lobachova – Ph.D., teacher, Sumy College of Food Industry, Sumy, Ukraine, email: nadezh.da@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лобачова, Н. Л. Використання добавок регуляторів структури безглютенового тіста та готових виробів / **Н. Л. Лобачова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 207-211. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.30.

Please cite this article as:

Lobachova, N. Use of additional regulators of the structure gluten-free dough and finished goods. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 207-211, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.30.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лобачева, Н. Л. Использование добавок регуляторов структуры безглютенового теста и готовых изделий / **Н. Л. Лобачева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 207-211. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.30.

АННОТАЦІЯ В статті проаналізовано застосування ферменту трансглютамінази, який здатний змінювати протекти за рахунок утворення додаткових поперечних зв'язків, в якості коректора структури безглютенових хлібобулочних виробів. Ураховуючи, що цей фермент має різну реакційну здатність з різними білками, для забезпечення високої реакційної здатності обрані білки, отримані шляхом переробки м'ясного сиров'язу. Дослідженнями показателів якості хлібобулочних виробів з безглютеновою мучною сиров'язу доведено необхідність і можливість регулювання структурно-механічних властивостей тесту і хлібобулочної продукції. Застосування безглютенових мучних сумішей для виробництва безглютенових хлібобулочних виробів є більш доцільним порівняно з використанням одного виду безглютенової муки, що дозволяє більш раціонально використовувати наявну в агропромисловому комплексі країни зернову сиров'язу; покращити структурно-механічні властивості безглютенового тесту і готових виробів; підвищити харчову і біологічну цінність виробів за рахунок комбінування різних видів муки; розширити асортимент безглютенових хлібобулочних виробів. Рекомендовано за основу мучного сиров'язу застосовувати мучні суміші з базовим компонентом в кількості не менше 50% для запобігання погіршенню кольору м'язища, послабленню окраски корочки і др.

Ключові слова: фермент трансглютаміназа; безглютенові вироби; білок; добавки; целиакія.

Надійшла (received) 06.03.2018

УДК 637.523:621.798.18

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.31

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ШАРАМИ ТА ЕЛАСТИЧНОСТІ СКЛЕЄНИХ КИШКОВИХ ПЛІВОК

В. М. МИХАЙЛОВ^{1*}, В. М. ОНИЩЕНКО²

¹ Кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, УКРАЇНА

² Кафедра технології м'яса, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, УКРАЇНА
*email: v.mykhailov@hduht.edu.ua

АНОТАЦІЯ Проаналізовано методи визначення міцності зв'язку між шарами клеєних матеріалів, запропоновано їх технічне спрощення та зменшення собівартості з метою застосування у випробуванні клеєних кишкових плівок. Встановлено характеристики міцності зв'язку між шарами та еластичності клеєних кишкових плівок, виготовлених зі свинячих черев за відомим способом та із застосуванням дублення таніном, як заходу зі зниження їх гідрофільності та оберненості процесу склеювання-розшарування. Визначено товщину сухих клеєних двошарових кишкових плівок.

Ключові слова: клеєні кишкові оболонки; міцність зв'язку між шарами; розшарування; методи визначення міцності; еластичність; свинячі черевці; дублення; танін.

DETERMINATION OF LINKS BETWEEN LAYERS AND ELASTICS OF GLUED GUT FILMS

V. M. MYKHAILOV, V. M. ONISHCHENKO

¹ Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Meat Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT It is shown that the strength of links between layers of glued gut films is one of their crucial mechanical parameters, and achievement of the decrease in a degree of the convertibility of the process of gluing-stratification of natural films will solve an important scientific and applied problem of rational use of this animal raw material. Based on the analysis and generalization of the methods of determining the strength of links between the layers of glued materials in order to assess the strength of gluing the layers of gut films, significant technical simplification and reduction of the cost of testing, the method suggesting to stratify the sample and determine the strength required for separation of the two tested layers from each other, using the weight loading is proposed. The results of determining the strength of the link between the layers and elasticity of the glued gut films and substantiation of the expediency of additional plant tanning for their formation are obtained. It is found that traditionally glued gut films in a dry state have a high bond strength of their layers – 358 N/m. Immersion in water for 15 minutes reduces this figure by 3,14 times. Tanning in 0,1–3,0 % tannin water solutions leads to a general increase in the strength of the bond in wet state of 20 N/m, however, is characterized as insufficient to solve the problem of forming an ample bonding strength in a wet state. An assumption about the feasibility to combine tanning with the engagement of clutching activators (primers) is made. The relative lengthening of the glued gut films in the wet state compared with the gut fabrics and strips cutted from them is decreased. The changes in relative elongation, to a greater extent, are characteristic for the glued gut subjected to tanning. The thickness of dry glued double-layer intestinal films made of swine belts is established.

Keywords: glued gut films; strength of bond between layers; stratification; methods for determining strength; elasticity; pork belly; tanning; tannin.

Вступ

Значні обсяги вітчизняного виробництва ковбасних виробів [1] створюють передумови постійного пошуку шляхів розширення асортименту та збільшення відповідної кількості оболонок, формування їх захисних властивостей і безпечності. В умовах активних пошуків інновацій, результативних наукових здобутків та досить насиченого ринку штучних аналогів, технології кишкових оболонок залишаються більшою мірою застарілими. Вони характеризуються високою собівартістю внаслідок трудомісткості технологічного процесу, специфіки прижиттєвих функцій та будови кишечника тварин, санітарно-гігієнічних аспектів, утворення значної кількості браку [2, 3]. При цьому в останній час

інтенсифікація тваринництва стала причиною зміни хімічного складу сировини, що суттєво погіршило механічні властивості (міцність та еластичність) натуральних ковбасних плівок [4]. В результаті наведених чинників натуральна тваринна сировина використовується недостатньо, хоча споживчий попит на продукцію переважно у кишкових оболонках залишається традиційно незмінним [2, 5].

Серед шляхів використання сировини з низькими функціонально-технологічними властивостями та різноманітних відходів кишкового виробництва найраціональнішим може бути залучення вказаного потенціалу у технологію клеєних кишкових оболонок [6, 7]. На сьогодні ці рішення реалізуються відомими способами, сутність яких полягає у природному зчепленні колагенових та

еластинових волокон під час висушування намотаних шарів плівок [8]. При цьому оберненість процесу їх склеювання-розшарування у водному середовищі викликає помітні складнощі під час використання у виготовленні ковбасних виробів. Таким чином, міцність зв'язку між шарами склеєних кишкових оболонок, причому як у сухому, так і вологому (мокрому) станах, є одним з їх визначальних механічних показників, а досягнення зменшення ступеня оберненості процесу склеювання-розшарування натуральних плівок дозволить вирішити важливе науково-прикладне завдання раціонального використання даної тваринної сировини.

Аналіз стану питання

Сучасна науково-технічна та нормативна література не містить відомостей щодо вимог до міцності склеювання шарів кишкових плівок та безпосередніх методів визначення даного показника.

Національний стандарт на кишки худоби, призначені для виробництва ковбасних виробів (ДСТУ 4285) передбачає визначення міцності їх стінок шляхом наповнення повітрям або водою (залежно від класифікаційних ознак вони мають витримувати тиск води або повітря від 0,01 до 0,1 МПа). Детальний опис проведення аналізу та посилання на відповідний стандарт відсутні, і даний метод не може бути використаний з метою визначення міцності зв'язку між склеєними шарами.

Для клеючих речовин, зокрема клею гумового (ГОСТ 2199), гуми та прогумованої тканини (ГОСТ 6768) передбачено визначення міцності зв'язку між шарами під час розшарування за допомогою розривних машин; випробування опору розшаруванню для гофрованого картону (ГОСТ 7376) здійснюється в частині прикладання сили аналогічним за суттю чином. Недоліками вказаних способів є технічна складність та висока вартість застосування, оскільки потрібне специфічне обладнання – розривна машина.

Удосконаленню технології склеєних кишкових оболонок присвячені праці Ш. Я. Бабаєва, К. А. Ахмедова, С. М. Уретья, І. В. Лавриненко, О. В. Сидорової, Т. І. Носової, О. І. Денисової [7, 9–12]. Запропоновані технічні рішення певною мірою вирішують такі завдання, як досягнення необхідної міцності за рахунок збільшення кількості та специфічності розташування шарів нарізаних смуг кишок, урізноманітнення форм та розмірів оболонок, а також забезпечення їх необхідної еластичності шляхом відволожування та більш тривалих термінів зберігання в м'яких умовах у результаті використання соляних сумішей консервуючої дії. При цьому проблема зниження ступеня оберненості процесу склеювання-розшарування в технології склеєних кишок залишається не вирішеною.

На наш погляд, одним зі шляхів досягнення необоротності властивостей та зниження

гідрофільності в технології склеєних кишок, основу яких складають колагеново-еластинові волокна, може бути додаткове дублення цих плівок [13–15], а з позиції безпечності – рослинне, зокрема танінне [16–19]. Попередніми дослідженнями [20] встановлено зміни водопоглинання плівок фабрику свинячих черев, підданих дубленню таніном. Установлено, що в результаті обробки фабрикатів черев 0,05–3,00 %-ми водними розчинами таніну водопоглинання знижується у 2–8 разів. Теоретично припущено, що одержані результати зниження водопоглинання кишкових плівок, оброблених рослинним дубителем, як характеристики ступеня його дублення та необоротності властивостей, зумовлено хімічною взаємодією білків фабрику (колагену й еластину) з таніном, що проникнув у мікроструктуру кишкової тканини, реагує з функціональними групами суміжних ланцюгів білка, у результаті чого в його структурі утворюються поперечні зв'язки та відбувається зшивання, що є типовим проявом ефекту дублення.

Мета роботи

Визначення міцності зв'язку між шарами та еластичності склеєних кишкових плівок та доцільності додаткового рослинного дублення для їх формування.

Викладення основного матеріалу та обговорення результатів

З метою оцінювання міцності склеювання шарів кишкових плівок між собою, суттєвого технічного спрощення і зменшення вартості випробування запропоновано спосіб, який полягає у розшаруванні зразка та визначення сили, необхідної для відокремлення двох випробуваних шарів один від одного, з використанням вагового навантажування. Висушену склеєну кишкову оболонку розрізали на смуги шириною не менше 0,025 м та довжиною 0,10–0,30 м; зразок склеєної кишкової плівки розшарували вручну довжиною від 0,03 до 0,05 м; один з кінців зразка (верхній) закріплювали у затискачі, а інший (нижній) – металевими пластинами разом із вантажем; здійснювали поступове вагове навантажування; оцінку міцності зв'язку між шарами склеєних кишкових плівок під час подальшого розшарування під дією вантажу проводили на ділянці не менше 0,05 м; розрахунок міцності зв'язку між шарами склеєних кишкових плівок M_3 (Н/м) здійснювали як $M_3 = V_p / \Pi_n$, де V_p – вагове навантажування до розшарування, Н; Π_n – ширина зразка склеєної кишкової плівки, м.

У дослідженні використано склеєні кишкові плівки, виготовлені зі свинячих черев за відомим способом та із застосуванням додаткового дублення таніном.

Солоні свинячі череві промивали до повного видалення солі, після чого їх розмотували та

розрізали вздовж на смуги, які накладали на болванку одну на іншу. Склеєні (двошарові) плівки сушили за температури 35–39 °С у сушарці з електричним підігрівом протягом 35–50 хв. Дублення висушених вказаним способом склеєних плівок здійснювали у 0,1–3,0 %-их водних розчинах таніну харчового протягом 0,5–3,0 год за температури 20–22 °С, після чого піддані рослинному дублені плівки знов висушували.

Міцність зв'язку між шарами склеєних кишкових плівок досліджували запропонованим способом з використанням вагового навантажування у сухому та вологому стані (після занурення у воду протягом 15 хв).

Еластичність плівок оцінювали як співвідношення довжини після прикладення сили в момент розриву та первинної з перерахунком на відсотки.

Товщину склеєних кишкових плівок визначали мікрометром.

Після висушування склеєні традиційним способом кишкові плівки мають досить високу міцність зв'язку їх шарів – 358 Н/м. Така міцність дозволяє здійснювати наповнення склеєних дво- чи тришарових оболонок у сухому стані, можливе короткочасне осаджування батонів ковбас із фаршем, що не містить додатково введеної води і масова частка вологи якого не перевищує 80 %. Здебільшого, це фарші смажених, напівкопчених, варено-копчених, сирокочених та смажених ковбасних виробів традиційних рецептур. Сучасні ж тенденції у технології ковбас пов'язані зі збільшенням масової частки води у батонах ковбасних виробів. Це не лише змінило характер і величину зусиль, які виникають під час нагрівання фаршу в оболонці, а й створює ризики розшарування на попередніх технологічних стадіях. Таким чином, з одного боку, температурне розширення фаршу, що викликає додаткову високу напругу розтягання, а з іншого – гідрофільність колагеново-еластинової структури кишкових плівок і як наслідок розшарування склеєних шарів більшою мірою будуть виявлятися у надзволоженому стані.

Після занурення у воду протягом 15 хв міцність зв'язку між шарами склеєних традиційним способом кишкових плівок знижується у 3,14 рази (до 114 Н/м). Суттєве погіршення їх міцності зумовлено набряканням колагенових та еластинових волокон, послабленням їх зчеплення (глютинізації) і виключає можливість використання як оболонок.

Дублення у водних 0,1–3,0 %-их розчинах таніну призводить до загального приросту значень міцності зв'язку у вологому стані 25 Н/м, що у порівнянні з контрольним зразком забезпечує максимальну позитивну різницю у 21,9 % (рис. 1).

Ступінь збереження міцності склеювання дослідних плівок завдяки проведеній обробці залежить від масової частки таніну у дубильному розчині та експозиції обробки. Так, якщо за вмісту таніну 0,1 % протягом трьох годин обробки

досягається збільшення міцності лише до 121 Н/м (на 7 Н/м), підвищення вмісту таніну до 3,0 % доводить міцність протягом того ж часу до 139 Н/м (збільшується на 25 Н/м).

Нарощування значень міцності характерне в основному для початково-середніх інтервалів витримки (від 0,5 до 2,0 год) і на ділянці від 2,5 до 3,0 год відсутнє. Вплив обробки за визначених експозиційних точок тим помітніший, чим вища концентрація дубильної речовини у складі для обробки.

Поряд з цим, одержані результати не дозволяють повною мірою вирішити завдання формування достатнього зв'язку шарів кишкових плівок (для прикладу, опір розшаруванню навіть для гофрокартону нормується не менше 200 Н/м).

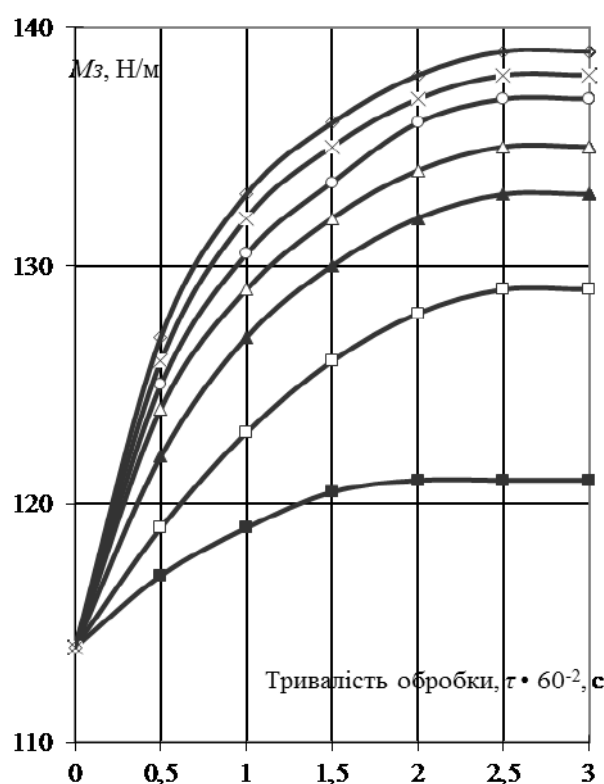


Рис. 1 – Зміни міцності зв'язку між шарами склеєних кишкових оболонок у вологому стані залежно від тривалості дублення та масової частки таніну в розчині для обробки, %: ■ – 0,1; □ – 0,5; ▲ – 1,0; △ – 1,5; ○ – 2,0; × – 2,5; ◇ – 3,0

У зв'язку з цим доцільним може бути поєднання дублення із залученням активаторів (праймерів) зчеплення, оскільки, скоріш за все, кількості зв'язаного та задубленого колагену на поверхнях, що склеюються, недостатньо для забезпечення необхідних значень міцності.

За класифікаційними ознаками, запропонованими Ликовим О. В., кишкові плівки можна віднести до капілярно-пористих колоїдних тіл, для яких є характерним те, що стінки їх капілярів є

еластичними, під час поглинання вологи вони набрякають, але за висушування дають усадку. Ці властивості зумовлюють здатність до усадки натуральних оболонок в процесі виготовлення ковбасних виробів. У зв'язку з цим однією з важливих характеристик кишкових плівок є еластичність (відносне подовження – збільшення довжини матеріалу, у %, до його розриву).

Як свідчать одержані результати, відносне подовження склеєних кишкових плівок у вологому стані (після висушування та повторного замочування) порівняно з фабрикатами кишок та нарізаними з них смугами зменшується (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати визначення відносного подовження кишкових плівок зі свинячих черев

Найменування зразків	Відносне подовження, %	
	у повздовжньому напрямі	у поперечному напрямі
Фабрикат кишок (звільнений від солі та розмочений у воді)	22,7±1,6	27,4±1,7
Нарізані з фабриката кишок смуги (звільнені від солі та розмочені у воді)	25,8±1,7	32,0±1,8
Склеєні та висушені двошарові кишкові плівки	2,8±0,2	3,0±0,2
Склеєні та висушені двошарові кишкові плівки у вологому стані	19,6±1,5	24,9±1,6
Склеєні та висушені двошарові кишкові плівки (у вологому стані), піддані дубленню протягом 2,5 год водними розчинами із масовою часткою таніну, %:		
- 0,1	12,2±0,6	14,0±0,7
- 0,5	11,6±0,6	13,3±0,7
- 1,0	10,4±0,5	12,0±0,6
- 1,5	9,7±0,5	11,3±0,6
- 2,0	9,1±0,5	10,7±0,6
- 2,5	8,6±0,4	10,1±0,5
- 3,0	8,4±0,4	9,7±0,5

Більшою мірою зміни відносного подовження характерні для підданих дубленню склеєних кишок: відмічається зменшення відповідних значень у вологому стані до 2,8 разів; при цьому у сухому стані еластичність практично відсутня (2,8 % та 3,0 % відповідно у повздовжньому та поперечному напрямках).

Це зумовлено втратою нативних властивостей, зокрема здатності до набрякання, внаслідок дії сушіння та, більшою мірою, дублення. За таких даних досягнення необхідної еластичності може бути реалізовано за рахунок пластифікації гліцерином.

Встановлено, що сухі кишкові плівки суттєво розрізняються за товщиною. Так, товщина склеєних двошарових кишкових плівок, виготовлених зі свинячих черев, коливається від 70 до 210 мкм. Вірогідно, це пов'язано з біологічно-анатомічними особливостями кишечника, технологічними чинниками обробки і не менш важливим ступенем розтягування нарізаних смуг під час намотування (натягування) на болванку для сушіння.

Висновки

Одержано результати визначення міцності зв'язку між шарами та еластичності склеєних кишкових плівок та обґрунтування доцільності додаткового рослинного дублення для їх формування.

На підставі аналізу та узагальнення відомих способів визначення міцності зв'язку між шарами склеєних матеріалів запропоновано здійснювати відокремлення шарів склеєних кишкових плівок з використанням вагового навантажування, що дозволяє одержати об'єктивні дані завдяки створенню умов для їх примусового розшарування та суттєво технічно спростити і зменшити вартість випробування порівняно із найбільш близькими технічними рішеннями.

Встановлено, що склеєні традиційним способом кишкові плівки у сухому стані мають досить високу міцність зв'язку їх шарів – 358 Н/м. Занурення у воду протягом 15 хв знижує даний показник у 3,14 рази (до 114 Н/м). Дублення у водних 0,1–3,0 %-их розчинах таніну, як захід, що на має на меті досягти необоротності властивостей, зокрема зменшення здатності до набрякання та розшарування, призводить до загального приросту значень міцності зв'язку у вологому стані 25 Н/м (21,9 %), проте, характеризується як недостатнє для вирішення завдання формування достатньої міцності склеювання у вологому стані. Висунуто припущення щодо доцільності поєднання дублення із залученням активаторів (праймерів) зчеплення.

Результатами досліджень доведено, що відносне подовження склеєних кишкових плівок у вологому стані (після висушування та повторного замочування) порівняно з фабрикатами кишок та нарізаними з них смугами зменшується. Більшою мірою зміни відносного подовження характерні для підданих дубленню склеєних кишок: відмічається зменшення відповідних значень у вологому стані до 2,8 разів; при цьому у сухому стані еластичність практично відсутня (2,8 % та 3,0 % відповідно у повздовжньому та поперечному напрямках).

Встановлено, що товщина сухих склеєних двошарових кишкових плівок, виготовлених зі свинячих черев, коливається від 70 до 210 мкм, що зумовлено біологічно-анатомічною специфікою кишечника, технологічними чинниками обробки та ступенем розтягування нарізаних смуг під час намотування (натягування) на болванку для сушіння.

Список літератури

1. Бергер, А. Д. Сучасні тенденції розвитку м'ясопереробної галузі України / А. Д. Бергер // *Інтелект XXI*. – 2017. – № 1. – С. 41–51.
2. Онищенко, В. М. Наукові та практичні аспекти виробництва і застосування натуральних ковбасних оболочок : монографія / В. М. Онищенко, Л. Ю. Шубіна, М. О. Янчева. – Х.: ХДУХТ, 2009. – 149 с.
3. Wijnker, J. J. Aspects of quality assurance in processing natural sausage casings / J. J. Wijnker. – Ridderkerk : Ridderprint, 2009. – 114 p.
4. Онищенко, В. М. Хімічний склад кишок та вміст у них токсичних елементів / В. М. Онищенко, М. О. Янчева, І. С. Островерх // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 466–472.
5. Загоровская, В. Прорыв в оболочке. Чем черевата ситуация с черевой? / В. Загоровская // *Мясная сфера*. – 2014. – № 3 (100). – С. 14–19.
6. Василенко, О. А. Рациональное использование кишечного сырья кроликов в мясной промышленности / О. А. Василенко // *Мясная индустрия*. – 2010. – № 6. – С. 29–32.
7. Сидорова, Е. В. Кишечное производство. Наука и практика / Е. В. Сидорова, И. В. Сусь. – М.: Эдиториал сервис, 2011. – 228 с.
8. Михайлов, В. М. Теоретичні та практичні передумови удосконалення технології склеєних кишкових оболочок / В. М. Михайлов, В. М. Онищенко // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2016. – 1 (23). – С. 7–15.
9. Уретья, С. Н. Пат. 2326540. Российская Федерация, А 22 С 13/00, А 22 С 17/14, А 22 С 17/16. Способ производства оболочек из свиных черев / Уретья С. Н., Лавриненко И. В., Сидорова Е. В., Носова Т. И., Денисова О. И. опубл. 20.01.2007, Бюл. № 7. – 9 с.
10. Уретья, С. Н. Пат. 2411733. Российская Федерация, А 22 С 13/00, А 22 С 17/14, А 22 С 17/16. Способ производства декоративных кишечных оболочек / Уретья С. Н., Носова Т. И., Лавриненко И. В., Денисова О. И. опубл. 20.02.2011, Бюл. № 5. – 3 с.
11. Бабаев, Ш. Я. Пат. 16888822. СССР, МПК А 22 С 13/00. Способ подготовки черев животных для изготовления оболочек колбасных изделий / Бабаев Ш. Я., Ахмедов К. А., Гусейнов А. опубл. 07.11.1991, Бюл. № 41. – 2 с.
12. Антипова, Л. В. Получение коллагеновых субстанций на основе ферментативной обработки вторичного сырья мясной промышленности / Л. В. Антипова, И. А. Глотова // *Известия вузов. Пищевая промышленность*. – 2000. – № 5–6. – С. 17–21.
13. Notbohm, H. Collagen: Primer in Structure, Processing and Assembly / H. Notbohm, J. Brinckmann, P. K. Müller. – New York : Springer Publishing, 2005. – 254 p. – doi: 10.1007/b98359.
14. Fratzl, P. Collagen: structure and mechanics / P. Fratzl. – New York : Springer, 2010. – 506 p. – doi: 10.1007/978-0-387-73906-9.
15. Nimni, M. E. Collagen: Volume I: Biochemistry / M. E. Nimni. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 309 p.
16. Oh, H. I. Hydrophobic interaction in tannin-protein complexes / H. I. Oh, J. E. Hoff, G. S. Armstrong, L. A.

- Haff // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1980. – No 28 (2). – P. 394–398. – doi: 10.1021/jf60228a020.
17. Adamczyk, B. Tannins and Their Complex Interaction with Different Organic Nitrogen Compounds and Enzymes: Old Paradigms versus Recent Advances / B. Adamczyk, J. Simon, V. Kitunen, S. Adamczyk, A. Smolande // *ChemistryOpen*. – 2017. – Vol. 6, Issue 5. – P. 610–614. – doi: 10.1002/open.201700113.
18. Khanbabaee, K. Tannins: Classification and Definition / K. Khanbabaee, T. Ree // *Natural Product Reports*. – 2001. – No. 18. – P. 641–649. – doi: 10.1039/B101061L.
19. Covington, A. D. Tanning Chemistry: The Science of Leather / A. D. Covington. – Cambridge : Royal Society Chemistry Publishing, 2009. – 483 p.
20. Михайлов, В. М. Водопоглинання кишкових плівок, оброблених рослинним дубителем / В. М. Михайлов, В. М. Онищенко, В. А. Большакова, Борисова А. О. // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Харків : ХДУХТ, 2017. – Вип. 1 (25). – С. 27–34.

Bibliography (transliterated)

1. Berger, A. D. Suchasni tendentsiyi rozvytku m'yasopererobnoyi haluzi Ukrayiny [Current trends in the meat processing industry in Ukraine], *Intelekt KHKHI*, 2017, 1, 41-51.
2. Onishchenko, V. M., Shubina, L. Yu., Yancheva, M. O. Naukovi ta praktichni aspekty vyrobnytva i zastosuvannya natural'nyh kovbasnyh obolonok: monografija [Scientific and practical aspects of the manufacture and use of natural sausage coatings], KhSUFT, Kharkiv, 2009, 149 p.
3. Wijnker, J. J. Aspects of quality assurance in processing natural sausage casings, Ridderkerk, Ridderprint, 2009, 114.
4. Onyshchenko, V. M., Yancheva, M. O., Ostroverkh, I. S. Himichnyi sklad kishok ta vmist u nih toksichnykh elementiv [Chemical composition of casings and toxic elements in them], *Advanced Technics and Technologies of Food Production, Catering and Trade*, KhSUFT, Kharkiv, 2009, 2 (10), 466-472.
5. Zagorovskaya, V. Proryv v obolochke. Chem chrevata situatsiya s cherevoy? [Breakthrough in the shell. What is the situation with chereva?], *Meat sphere*, 2014, 3 (100), 14-19.
6. Vasilenko, O. A. Ratsional'noye ispol'zovaniye kishhechnogo syr'ya krolikov v myasnoy promyshlennosti [Rational use of intestinal raw materials of rabbits in the meat industry], *Meat industry*, 2010, 6, 29-32.
7. Sidorova, E. V., Sus, I. V. Kishhechnoye proizvodstvo. Nauka i praktika [Intestinal production. Science and practice], Editorial service, Moscow, 2011, 228 p.
8. Mikhailov, V. M., Onishchenko, V. M. Teoretichni ta praktichni peredumovy udoskonalennya tekhnolohiyi skleyenykh kyshkovykh obolonok [Theoretical and practical prerequisites for the improvement of technology of glued intestinal membranes], *Progressive technique and technologies of food production of restaurant economy and trade*, KhSUFT, Kharkiv, 2016, 1(23), 7-15.
9. Uretya, S. N., Lavrinenko, I. V., Sidorova, E. V., Nosova, T. I., Denisova, O. I. The method of manufacturing casings from pork bellies [Sposob proizvodstva obolochek iz svinyh cherev], Russian Federation, Pat. № 2326540. 2007.
10. Uretya, S. N., Nosova, T. I., Lavrinenko, I. V., Denisova, O. I. Method of production of decorative intestinal

- membranes [Sposob proizvodstva dekorativnykh kishhechnykh obolochek], Russian Federation, Pat. № 2411733. 2011.
11. **Babaev, Sh. Ya., Akhmedov K. A., Guseinov, A.** Method of preparation of animals for the manufacture of sausages shells [Sposob podgotovki cherev zhivotnykh dlya izgotovleniya obolochek kolbasnykh izdeliy], USSR, Pat. № 1688822. 1991.
 12. **Antipova, L. V., Glotova, I. A.** Poluchenie kollagenovykh substantiy na osnove fermentativnoy obrabotki vtorichnogo syrya myasnoy promyshlennosti [Obtaining collagen substances based on enzymatic treatment of secondary raw material in meat industry]. *Izvestiya vuzov. Pischevaya promyshlennost*, 2000, **5-6**, 17-21.
 13. **Notbohm, H., Brinckmann, J., Müller, P. K.** Collagen: Primer in Structure, Processing and Assembly, New York, Springer Publishing, 2005, 254, doi: 10.1007/b98359.
 14. **Fratzl P.** Collagen: structure and mechanics, New York, Springer, 2010, 506, doi: 10.1007/978-0-387-73906-9.
 15. **Nimni, M. E.** Collagen: Volume I: Biochemistry, Boca Raton, CRC Press, 2017, 309 p.
 16. **Oh, H. I., Hoff, J. E., Armstrong, G. S., Haff, L. A.** Hydrophobic interaction in tannin-protein complexes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1980, **28** (2), 394–398, doi: 10.1021/jf60228a020.
 17. **Adameczyk, B., Simon, J., Kitunen, V., Adamczyk, S., Smolande, A.** Tannins and Their Complex Interaction with Different Organic Nitrogen Compounds and Enzymes: Old Paradigms versus Recent Advances, *ChemistryOpen*, 2017, **6**, 5, 610–614, doi: 10.1002/open.201700113.
 18. **Khanbabaee, K., Ree, T.** Tannins: Classification and Definition, *Natural Product Reports*, 2001, **18**, 641–649, doi: 10.1039/B101061L.
 19. **Covington, A. D.** Tanning Chemistry: The Science of Leather, Cambridge, Royal Society Chemistry Publishing, 2009, 483 p.
 20. **Mikhailov, V. M., Onishchenko V. M., Bolshakova, V. A., Borisova, A. O.** Vodopohlynannya kyshkovykh plivok, obroblynykh roslynnym dubytem [Water absorption of intestinal films treated with plant tanner], *Progressive technique and technologies of food production of restaurant economy and trade*, KhSUFT, Kharkiv, 2017, **1** (25), 27-34.

Відомості про авторів / About the Authors

Михайлов Валерій Михайлович – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі, проректор з наукової роботи, професор кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4335-1751>; e-mail: v.mikhailov@hduht.edu.ua.

Valeriy Mykhailov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Vice-Rector for Scientific Work, Professor of Department of Processes, apparatus and automation of food productions, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4335-1751>; e-mail: v.mikhailov@hduht.edu.ua.

Онищенко В'ячеслав Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, доцент кафедри технології м'яса, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8357-2201>; e-mail: onvm70@gmail.com.

Vyacheslav Onishchenko – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Associate Professor of Department of Meat Technology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8357-2201>; e-mail: onvm70@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Михайлов, В. М. Визначення міцності зв'язку між шарами та еластичності склеєних кишкових плівок / **В. М. Михайлов, В. М. Онищенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 212-217. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.31.

Please cite this article as:

Mikhailov, V., Onishchenko, V. Determination of links between layers and elastics of glued gut films. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 212-217, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.31.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Михайлов, В. М. Определение прочности связи между слоями и эластичности склеенных кишечных пленок / **В. М. Михайлов, В. М. Онищенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 212-217. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.31.

АННОТАЦІЯ Проаналізовані методи визначення міцності зв'язку між шарами склеєних матеріалів, запропоновано їх технічне спрощення та зменшення вартості з метою використання в експерименті склеєних кишкових плівок. Встановлено характеристики міцності зв'язку між шарами та еластичності склеєних кишкових плівок, виготовлених із свиных черев відомим способом і з використанням дублення таніном, як заходи по зниженню їх гідрофільності та зворотності процесу склеювання-розшарування. Визначено товщину сухих склеєних двохшарових кишкових оболонок.

Ключові слова: склеєні кишкові оболонки; міцність зв'язку між шарами; розшарування; методи визначення міцності; еластичність; свиные черви; дублення; танін.

Поступила (received) 08.03.2018

УДК 615.322

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.32

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ КУРКУМИНА

Д. М. ПИЛИПЕНКО*, Д. С. БЕЗРУКАВЫЙ, Ю. М. КРАСНОПОЛЬСКИЙ

кафедра Биотехнологии, биофизики и аналитической химии, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА
*email: daria1003@ukr.net

АННОТАЦИЯ В обзоре рассмотрены фармакологические аспекты использования природного гидрофобного соединения диферулоилметана – куркумина. Показана возможность применения куркумина для ингибирования канцерогенеза при ряде опухолевых заболеваний, а также в качестве антиоксидантного и противовоспалительного средства. Рассмотрен механизм влияния куркумина на ферментную систему и различные биологические факторы. Установлена высокая фармакологическая активность куркумина как при приеме *per os*, так и при инъекционных способах введения. Приведенные данные подтверждают возможность использования куркумина как в наноземлях, так и в липосомальной форме.

Ключевые слова: куркумин; наночастицы; липосомы; эмульсионные препараты; биодоступность; антиоксидант; противоопухолевое средство; противовоспалительное средство.

APPLICATION OF NANOBIOLOGICAL FORMS OF CURCUMIN

D. M. PYLYPENKO*, D. S. BEZRUKAVII, YU. M. KRASNOPOLSKY

Department of Biotechnology, Biophysics and Analytical Chemistry, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Pharmacological aspects of application of diferuloylmethane (curcumin) are discussed in the review. Curcumin is a natural hydrophobic compound, derived from the rhizome of *Curcuma longa*. Multiple studies over the past decade have indicated the safety and efficacy of this compound. Therapeutic potential of curcumin for inhibition of tumorgrowth and angiogenesis in a number of tumor diseases, such as hepatic cancer, lung cancer, colorectal cancer, osteosarcoma, melanoma and other types of cancer is demonstrated. Antioxidant and anti-inflammatory activities of curcumin are also shown by laboratory and clinical studies in gastrointestinal tract diseases, brain inflammatory diseases, cardiovascular disease, diabetes, autoimmune diseases. Mechanisms of the influence of curcumin on the enzyme system and various biological factors are discussed.

One of the major problems with curcumin is perceived to be the bioavailability. Nowadays it is possible to enhance bioavailability of curcumin by its encapsulated in nanobiotechnological delivery systems. The efficacy of nanoparticle-encapsulated curcumin is demonstrated by lipid nanoemulsions, solid lipid nanoparticles, liposome and polymeric nanoparticles. The applying of nanoparticles allows for the development of injectable preparations of hydrophobic curcumin. The beneficial pharmacological effect of curcumin was given by oral, intraperitoneal and intravenous administration. Moreover effective dose of nanoparticle-encapsulated curcumin is reduced compared to curcumin in free form.

These data confirm the possibility of using curcumin in nanoemulsion and liposomal form.

Keywords: curcumin; nanoparticles; liposomes; emulsified preparations; bioavailability; antioxidant; antitumor agent; anti-inflammatory agent.

Введение

Десятки компаний по всему миру ведут работы, направленные на получение терапевтических нано-эмульсионных препаратов. Наиболее интенсивно развивается направление по созданию этих препаратов на основе гидрофобных соединений, введение которых в наночастицы (NP) позволяет применять их не только *per os*, но и инъекционно. Одним из таких соединений является природное антиоксидантное соединение – куркумин (Cur). В последние годы к нему проявлен повышенный интерес, так как Cur демонстрирует лечебные свойства: антиоксидантные, противовоспалительные, противоопухолевые, снижает уровень холестерина в крови и др. [1-3].

Свойства и строение куркумина

Cur (диферулоилметан) – природное соединение ярко желтого цвета, экстрагированное из корне-

вища растения *Curcuma longa*, которое произрастает в Юго-Восточной Азии. Существует три основных типа куркуминоидов: 1,7-бис-4-гидрокси-3-метоксифенил-гепта-1,6-диен-3,5-дион (Cur I, ~ 77%), 1,4-гидрокси-3-метоксифенил-7,4-гидезоксифенил-гепта-1,6-диен-3,5-дион (Cur II, ~ 17%) и 1,7-бис-4-гидезоксифенил-гепта-1,6-диена-3,5-дион (Cur III, ~ 3%) (рис. 1).

Наиболее активно используется Cur I, легко проникающий в клеточную мембрану за счет своей гидрофобности. Cur I представлен молекулярной формулой C₂₁H₂₀O₆, с М.м. 368,37 и температурой плавления 183 °С. Cur термостабилен (выдерживает до 250 °С), но весьма чувствителен к свету. При значении pH>5 Cur I нестабилен в растворе и скорость его разложения значительно ускоряется с увеличением значения pH раствора. Основным продуктом разложения Cur является транс-6-(4'-гидрокси-3'-метоксифенил)-2,4-диоксо-5-гексенал, а ванилин (C₈H₈O₃) и феруловая кислота (C₁₀H₁₀O₄) представлены в незначительных количествах [2].

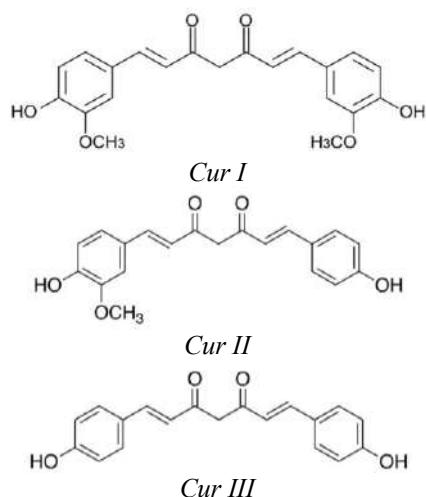


Рисунок 1. – Структура молекул куркуминоидов.

Фармакологическое действие куркумина при различных патологических состояниях (введение *per os*)

Учитывая липофильность Cur (растворение в воде $\leq 0,125$ мг/л), его первоначальные исследования проведены при введении *per os*. Cur обладает широкой фармакологической активностью: спазмолитической, противовоспалительной, антиканцерогенной, ранозаживляющей, антибактериальной, антикоагулянтной. Cur принимает участие в регуляции множества молекулярных механизмов, участвующих в процессе канцерогенеза: стимуляция апоптоза, ингибирование факторов роста раковых клеток и провоспалительных цитокинов, связывание активных форм кислорода и уменьшение воспаленного микроокружения опухоли [4]. Установлено, что Cur эффективно ингибирует активность NF- κ B и связанные с NF- κ B пути для индукции клеточного апоптоза. NF- κ B играет очень важную роль в установлении связи между воспалением и раком.

Кроме того, Cur не токсичен и хорошо переносится даже при очень высоких дозах. Изучение безопасности Cur [5] показало, что прием Cur в дозе 8 г/сут. в течение 3 месяцев не вызывает какого-либо токсического эффекта на организм человека. В данном исследовании принимали участие пациенты с раком мочевого пузыря, внутриутробным новообразованием матки (CIN), болезнью Боуэна (кожа), кишечной метаплазией желудка, оральной лейкоплакией. Cur принимали *per os* в течение 3 месяцев. Биопсию участков поражения проводили непосредственно до и через 3 месяца после начала приема Cur. Начальная доза составляла 500 мг/сут. При отсутствии токсичности дозу увеличивали до 1, 2, 4, 8 и 12 г/сут. Количества выше 8 г/сут были неприемлемы для пациентов. Концентрацию Cur в сыворотке и моче определи ВЭЖХ. Концентрация Cur в сыворотке достигала максимума через 1-2 часа после *per os* приема Cur и постепенно снижалась в течение 12 часов. Средние пиковые концентрации в сыворотке

после приема 4, 6 и 8 г Cur составляли $0,51 \pm 0,11$ мкМ, $0,63 \pm 0,06$ мкМ и $1,77 \pm 0,187$ мкМ соответственно. В моче Cur не обнаружен. Полученные результаты свидетельствуют о биологическом эффекте Cur в химиопрофилактике рака. 1 из 4 пациентов с CIN и у 1 из 7 пациентов с оральной лейкоплакией обнаружено развитие злокачественной опухоли, несмотря на прием Cur. Напротив, гистологическое улучшение предраковых поражений наблюдалось у 1 из 2 пациентов с недавно резорбированным раком мочевого пузыря, у 2 из 7 пациентов с лейкоплакией у новорожденных, у 1 из 6 пациентов с кишечной метаплазией желудка, у 1 из 4 пациентов с CIN и 2 из 6 пациентов с болезнью Боуэна.

При изучении противоопухолевой активности установлено, что наибольшей эффективностью обладал Cur при поражении клеток кишечника, груди, кожи и рака желудка. Cur индуцирует апоптоз раковых клеток путем регулирования различных сигнальных путей и остановки цикла развития опухолевых клеток. Авторы рассматривают вопрос синергизма комбинированной терапии Cur с химиотерапией [6].

Кроме исследований противоопухолевой активности Cur, накоплен обширный материал по его фармакологической активности при других заболеваниях. При введении *per os* обнаруживались терапевтические эффекты Cur у больных диабетом, сердечно-сосудистыми заболеваниями и аутоиммунными нарушениями. Установлено, что Cur эффективен против ряда воспалительных заболеваний, включая панкреатит, воспалительные заболевания кишечника, колит, гастрит, артрит и аллергические заболевания. Применение Cur продемонстрировало эффективность при ряде патологических состояний: на модели воспаленного сухожилия (тендинита). Показано, что Cur способен снижать активность интерлейкиновых ключевых медиаторов воспаления. Это соединение не вызывает столь сильных нежелательных реакций организма как нестероидные противовоспалительные препараты или инъекции стероидов. Показана эффективность Cur как антидепрессанта на животных и 60 пациентах [7]. Cur приводит к сокращению симптомов при лечении остеоартрита и ревматоидного артрита [8].

Использование Cur помогает предотвратить диабет, увеличивая чувствительность к инсулину. Авторы установили, что Cur более эффективен чем метформин [9]. По данным авторов снижение уровня глюкозы в крови в 400 раз выше по сравнению с эффективностью метформина. Куркуминоиды увеличивают фосфорилирование АМФ-активируемой протеинкиназы и её субстрата ацетил-СоА карбоксилазы в клетках гепатомы человека и гепатомы крыс.

Авторами показан гипогликемический эффект порошка корневища куркумы при добавлении в корм на модели аллоксан-индуцированного сахарного диабета у крыс в результате частичной регенерации β -клеток островков Лангерганса, уменьшения структурных повреждений клеток и межклеточного

вещества, улучшения кровоснабжения, стимуляции секреции инсулина и С-пептида, активации гликогена в печени, нормализации липидного обмена, а также снижения интенсивности всасывания углеводов в пищеварительном тракте [10]. При этом, прием порошка куркумы оказывает незначительное влияние на распределение макро- и микроэлементов в органах и тканях крыс как в норме, так и при сахарном диабете, что может свидетельствовать об отсутствии существенного влияния биоэлементов, входящих в состав растения, на гипогликемический эффект препарата [11].

В работе [12] показана клиническая эффективность Cur в качестве гепатопротектора при безалкогольной жировой болезни печени. Авторы показали, что при приеме *per os* дисперсионного препарата Cur в дозе, эквивалентной 70 мг Cur в течение 8 недель происходило значительное снижение содержания жира в печени (78,9 % против 27,5 % улучшения в группе плацебо), уменьшение индекса массы тела и содержания общего холестерина сыворотки, холестерина липопротеинов низкой плотности, аспартат-аминотрансферазы (AST), аланинаминотрансферазы (ALT), триглицеридов, глюкозы и гликозилированного гемоглобина по сравнению с группой плацебо.

Изучение гепатопротекторной активности Cur на крысах с моделью повреждения печени, вызванном введением CCl₄, показало что применение Cur *per os* в дозах 200 и 400 мг/кг снижает активность AST, ALT и щелочной фосфатазы, улучшает гистологическую структуру печени животных, уменьшает окислительный стресс и подавляет воспаление путем снижения уровней воспалительных цитокинов. Кроме того, Cur ингибирует активацию липоцитов печени [13].

Весьма перспективным направлением использования Cur является лечение болезни Паркинсона, Альцгеймера и инсульта. Показано, что Cur может частично предотвратить появление новых бляшек и значительно уменьшить существующие отложения амилоида. Кроме того, измененная морфология нейритов, возникающая в результате продуцирования β-амилоида, может быть, по крайней мере, частично восстановлена при введении Cur [14].

В двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании участвовало 40 пациентов от 50 до 90 лет, у которых были жалобы на слабую память. Участникам было случайным образом назначено применение либо плацебо, либо 90 мг Cur два раза в день в течение 18 месяцев. У больных принимавших Cur, значительно улучшилась память и внимание, в отличии от пациентов, принимающих плацебо. В тестах памяти люди, принимающие Cur, улучшили свои показатели на 28 % за 18 месяцев. У принимавших Cur, также наблюдались улучшения в настроении, а результаты их мозгового сканирования показали значительное уменьшение амилоидных образований, по сравнению с принимавшими плацебо. Авторы пришли к выводу о том, что Cur улучшает память и настроение [15].

Показано, что лекарственный препарат созданный на основе Cur позволит больным с инсультом быстрее восстановить здоровье, что подтверждено американскими учеными после успешного завершения экспериментов на лабораторных животных, у которых препарат уменьшал последствия паралича и улучшал моторику [16]. В ряде экспериментов продемонстрировано, что Cur оказывается эффективным для предотвращения болезни Паркинсона. Первым шагом к возникновению этой изнурительной болезни, является слияние α-синуклеина (α-syn). α-syn – белок, состоящий из 140 аминокислот, обнаруживаемый в головном мозге. Он не имеет четкой вторичной структуры, и возможно участвует во взаимодействиях между различными белками, хотя точные его функции неизвестны. Предполагают, что образование телец Леви связано с патологической агрегацией α-syn, обусловленной нарушением его метаболической деградации в клетке, расстройством аксонального транспорта. Тельца Леви обнаружены при болезнях Паркинсона и Альцгеймера. Cur может помочь предотвратить слияние белка - прочно связывая с α-syn и ускоряя его движение [17, 18]. Авторы, учитывая низкую биодоступность Cur при приеме *per os* и невозможность его проникновения в мозг через систему ГЭБ, говорят о возможности создания инъекционного препарата Cur и неэффективности приема таблеток.

Пероральный путь введения требует значительного количества препарата, что связано с его гидрофобностью и крайне низкой биодоступностью. Исследована фармакокинетика Cur при введении мышам *per os* и в виде инъекции внутривенно (в/вр). Установлено, что содержание Cur у мышей при введении *per os* в дозе 50 мг/кг было ниже предела обнаружения в плазме, печени и головном мозге через 30 мин, в то время инъекционное введение инъекционно в дозе 100 мг/кг приводило к появлению Cur в этих тканях в дозе 4-5 мг/г [19]. Так, биодоступность Cur при введении *per os* составляла всего 4,13 %, в то время как при в/вр введении – 35,07 % [20]. С учетом массы тела человеку необходимо вводить в день не менее 15 г субстанции. По мнению авторов перспективнее применение липосомальной (Ls) формы Cur, введенной *per os* в количестве 1,2 г на человека.

Фармакологическое исследование куркумина в наноформе

Cur в свободной форме плохо абсорбируется и быстро метаболизируется в желудочно-кишечном тракте и поэтому может быть ограничена его клиническая эффективность. Доставка лекарств при включении в состав НР представляет собой эффективный подход к улучшению фармакокинетических свойств, растворимости и стабильности, а, следовательно, повышению биодоступности лекарственных

средств. Этот подход с успехом используется для Cur в доклинических исследованиях. Композиция Cur путем инкапсулирования в мицеллы, Ls, полимерные NP, NP на основе липидов и гидрогели делает препарат водорастворимым [4].

Для улучшения пероральной биодоступности авторами предложены составы препаратов Cur, изучены их безопасность, а также потенциальные различия в поведении [21]. Исследование проводили на здоровых людях (13 женщин и 10 мужчин), которым *per os* вводили 500 мг/сут. Cur в виде трех препаратов: исходного порошка, тонкоизмельченного порошка и жидких мицеллярных эмульсий. Анализ крови и мочи в течение 24 часов с целью количественного определения куркуминоидов и также параметров безопасности показал, что наиболее эффективно усваивался мицеллярный Cur. Изменений параметров безопасности не обнаружено.

Применение Cur для лечения ЖКТ ограничивается быстрой деградацией Cur при физиологических pH. Авторы предложили гранулы на основе N-триметилхитозана и альгината натрия, содержащие Cur, для контролируемой доставки лекарственного средства. Исследования высвобождения Cur *in vitro* в растворе, моделирующем кишечную (SIF) и желудочную жидкости (SGF), показали что в течение 24 часов около 100 % Cur было выделено в SIF и только около 30 % в SGF за тот же период [22].

Для повышения биодоступности Cur при введении *per os* предложены капсулы, содержащие нанокристаллы Cur, полученные путем гомогенизации под высоким давлением. Наносуспensionю Cur стабилизировали поливиниловым спиртом и додецилсульфатом натрия. Нанокристаллы быстрее высвобождались из капсул по сравнению с капсулами микрокристаллов. Благодаря увеличению площади поверхности при pH 1,2 и 6,8 наблюдалось 50 % и 95 % растворение нанокристаллов из твердых лекарственных форм соответственно, при 10 % и 45 % растворения микрокристаллов при аналогичных значениях pH [23].

Инкапсуляция Cur в Ls позволяет получить стабильную эмульсионную форму. В работе [24] нами получены Ls-Cur методом липидной пленки в качестве липидной основы использовали фосфатидилхолины (PC), выделенные из фосфолипидов сои (SPC), подсолнечника (SFPC) и яичного желтка (EPC). Наиболее стабильная эмульсия с размером частиц 250 нм была получена из SFPC. В работе [25] изучены методы получения Ls-Cur замораживания-оттаивания и ультразвуковой обработки на основе фосфолипидов SPC, EPC и SFPC, холестерина (Chol) и полиэтиленгликоля. Полученная форма Ls-Cur со средними размерами частиц 100-120 нм стабильна в течение 2 месяцев при 4 °C и обеспечивает степень включения Cur более 80 %.

Для улучшения растворимости и стабильности Cur при физиологическом pH получены Ls-Cur на основе SPC, Chol и D- α -токоферола, ПЭГ 1000 сукци-

ната, покрытые N-триметилхитозанхлоридом. Полученные NP продемонстрировали повышенную биодоступность *in vitro* и *in vivo* по сравнению с Cur, инкапсулированным Ls без покрытия и суспензией Cur [26].

В работе [27] для повышения биодоступности Cur инкапсулировали в Ls (на основе фосфатидилэтаноламина, Chol, дицетилфосфата) и полимерные NP (полилактид-ко-гликолид – PLGA). Полученные Ls имели средний размер 140±60 нм и степень инкапсуляции 84±3 %, а NP – 35±39 % и 72±5 %. Исследование гепатопротекторной активности Ls-Cur (в/в) и PLGA-Cur (*per os*) проводили на модели ожирения печени у крыс, вызванном введением четыреххлористого углерода. По мнению авторов инкапсуляция Cur как в Ls, так и полимерные NP способствовала повышению его биодоступности и эффективности относительно уменьшения активных форм кислорода, нормализации концентрации клеточных антиоксидантных ферментов, предотвращения повреждения митохондрий и апоптоза клеток печени и предотвращения гиперэкспрессии i-NOS. При этом, гепатопротекторная активность PLGA-Cur выражена сильнее, чем Ls-Cur, благодаря меньшему размеру частиц.

Роль Cur, как проапоптического соединения для лечения рака, является областью растущего интереса. Преимуществами Cur в качестве противоракового агента являются его низкая цитотоксичность и экономическая доступность. [4] Однако *in vivo* активность Cur ограничена из-за плохой растворимости и низкой биодоступности.

В настоящее время Ls хорошо зарекомендовали себя в противоопухолевой терапии [28] при использовании цитостатических агентов. Ls улучшают фармакокинетические свойства и терапевтическую ценность лекарственных препаратов. Cur, учитывая его липофильные свойства, возможно включать в различные NP, включая Ls. Анализируя данные литературы видна возможность использования Ls-Cur для лечения рака: легких, шейки матки, простаты, молочной железы, остеосаркомы, печени и др.

Ls обеспечивают тип эффективной системы доставки лекарств на основе Cur. Ls могут усиливать противоопухолевую и фармакологическую активность Cur путем улучшения фармакокинетики и фармакодинамики и уменьшить дозировку, необходимую для нацеливания на опухоль. В частности, Cur включали в Ls с различными носителями, такими витамин А, фолиевая кислота, гиалуроновая кислота, β -циклодекстрин, диоксид кремния и конъюгаты ПЭГ. Кроме того, комбинация лекарств, инкапсулированная в Ls, может также сенсibilизировать раковые клетки. Таким образом, сочетание Cur и Ls может быть идеальной стратегией в клинической практике для лечения рака. При постоянном развитии технологической платформы получения Ls, Ls-Cur будут более оптимизированы, что позволит расширить клиническое применение Cur [2, 29-34].

Показана более высокая противоопухолевая активность катионных Ls с Cur по сравнению со свободной формой Cur. Установлено влияние Cur на иммунную систему, в частности, на повышения синтеза цитокинов [35, 2]. Авторы продемонстрировали ингибирование роста опухолевых клеток и влияние на апоптоз.

Рядом авторов проведено изучение противоопухолевой активности Ls-Cur на модели мышинной линии лейкоза Льюиса IL/2. Приведен метод получения Ls-Cur путем инъекции этанолом. Показано *in vitro*, что Ls-Cur ингибирует пролиферацию клеток IL/2 и индуцируют апоптоз и остановку клеточного цикла. Исследование противоопухолевого и ангиогенного эффектов на модели рака легкого у мышей показали, что системное введение Ls-Cur *in vivo* приводит к ингибированию роста опухоли и уменьшению ангиогенеза [36].

С целью изучения Cur при химиотерапии рака была получена наноэмульсия Cur на основе соевого масла, ЕРС, Твин 80 и куркумина. Наноэмульсия, полученная методом липидной пленки с последующей обработкой ультразвуком, была стабильна в течение 60 дней при 4 °С, характеризовалась размером частиц 47-56 % и степенью инкапсуляции Cur 90 %. Обработка культур клеток меланомы и лейкемии мышей наноэмульсией Cur показала ингибирование роста опухолевых клеток [37].

В работе [38] показана возможность доставки Cur с помощью твердых липидных NP (SLN) для лечения рака легких. Препарат синтезировали зольгель методом. SLN-Cur с размером в диапазоне от 20 до 80 % на клетках легочной аденокарциномы A549 показали увеличение биодоступности в 20 раз, относительно свободного Cur. Более того, SLN-Cur усиливали ингибирование роста клеток опухоли с 19,5 % до 69,3 %. Анализ проточной цитометрии и иммуноокрашивание подтвердили, что эффект торможения в основном был связан с апоптозом, а не некрозом.

Изучена наносуспензия (NS) для внутривенного (в/в) введения Cur. Cur-NS на основе SPC получена гомогенизацией высокого давления со средним диаметром NP - 250 нм. Лиофилизированная NS оставалась стабильной в течение 3 месяцев при 4 °С. Cur-NS продемонстрировала значительное повышение растворимости (более 600 раз) и скорости растворения (более чем в 10 раз) по сравнению со свободным Cur. На линиях клеток Hela (раковые клетки шейки матки человека) и MCF-7 (клетки аденокарциномы молочной железы) продемонстрировано повышение цитотоксичности для Cur-NS по сравнению с раствором Cur. При этом включение Cur в NS обеспечивает уменьшение местного раздражения и риска флебита, а также более низкий уровень гемолиза эритроцитов (примерно в 3 раза ниже свободного Cur) [39].

Ls-Cur демонстрировал ингибирующее действие на клетки рака молочной железы MCF-7.

Как известно, Cur способен вызвать апоптоз. Ls увеличивают биодоступность Cur, что способствует усилению его влияния на пролиферацию клеток. В другом исследовании Ls-комплекс 2-гидроксипропил- γ -циклодекстрин-Cur показал перспективный противораковый потенциал как *in vitro*, так и *in vivo* против линии клеток MCF-7. Кроме того, исследование показало, что Ls-Cur не имели побочных эффектов даже при максимальной концентрации 28 мг/мл. Более того, Cur в комбинации с паклитакселом (PTX), которые были инкапсулированы в Ls, значительно ингибировали рост клеток MCF-7 по сравнению с Cur или PTX. Было продемонстрировано, что Ls могут эффективно доставлять как Cur, так и PTX в опухолевые клетки [40].

Применение комплекса Ls-Cur с γ -циклодекстрином позволило повысить противоопухолевую активность при остеосаркоме [41]. Авторами показано, что линия клеток остеосаркомы (KHOS) является высокочувствительной к Ls форме Cur, причем IC50 составляет 6,4±0,7 мг/мл. Цитотоксические эффекты Ls были в три-четыре раза выше, чем свободный Cur (22,8±1,9 мг/мл). Данные показали, что Ls композиция способствовала поглощению Cur в клетках KHOS и была более эффективной, чем свободный Cur. В работе [42], также посвященной лечению остеосаркомы, были получены Ls с включенными в них церамидами и Cur. Комбинирование в Ls препарате церамидов и Cur представляет интерес для химиотерапии опухолей, поскольку церамиды играют особую роль в дифференцировке клеток, остановке клеточного цикла, апоптозе, ингибировании роста и старении, а Cur также демонстрирует высокую противоопухолевую активность против всех стадий рака из-за его действия на NF- κ B, TNF- α , VEGF, циклооксигеназу, MMP и многие другие молекулы сигнальной трансдукции. Исследования на культуре клеток остеосаркомы трех препаратов: Ls-Cur, Ls-церамиды и Ls-Cur-церамиды, показали, что по сравнению с Ls-Cur цитотоксический эффект улучшался в 1,5 раза с помощью Ls-Cur-церамид. При этом Ls-Cur-церамид оказались менее токсичными. Таким образом, Ls-Cur-церамид усиливают цитотоксический эффект и подтверждают потенциал комбинированной лекарственной терапии.

Авторы инкапсулировали в Ls Cur и ресвератрол и изучали их химиопревентивный эффект относительно рака предстательной железы у самцов мышей B6C3F1/J. Ls значительно повышали уровень Cur в тканях сыворотки и простаты. Исследование *in vitro* показало, что Cur и ресвератрол эффективно ингибирует рост клеток и индуцирует апоптоз. Исследования *in vivo* показали, что Ls значительно уменьшают рост аденокарциномы предстательной железы. В продолжении этих работ фирма NatriStart (Канада) в феврале 2017 года сообщила о создании первого Ls продукта, содержащего комплекс ресвератрола и Cur [43].

В работе [44] продемонстрирована эффективность Ls-Cur для лечения рака предстательной железы. Ls размером 100-150 % были получены на основе фосфолипидов: димиристоилфосфатидилхолина (DMPC), дипальмитоилфосфатидилхолина (DPPC), EPC, Chol и Cur в соотношении 9:1:1, покрытые антителами к простатическому специфическому мембранному антигену. Изучение антипролиферативной активности на двух клеточных линиях рака простаты человека (LNCaP и C42B) показало, что наиболее эффективны Ls на основе DMPC – ингибирование пролиферации >70 % в течение 24-48 часов при 37 °C. При этом эффективная доза Cur в Ls (5-10 мкМ), что в 10 раз ниже по сравнению со свободным (> 50 мкМ).

Синтезированы NP, содержащие Cur, на основе сополимера галактозилированного хитозан-поликапролактона (Gal-CH-PCL). Полученные NP с эффективностью инкапсуляции Cur >70 % и размерами 100-250 %, позволяли повысить биодоступность Cur в клетки гепатоцеллюлярной карциномы человека (HepG2) по сравнению со свободным Cur. При эквивалентной дозе Cur около 20 мг/мл, которая является относительно безопасной для нормальных клеток печени человека, результаты показали, что некоторые NP показали более чем 6-кратное увеличение способности индуцировать апоптоз и некроз клеток HepG2 в течение 72 часов по сравнению со свободным Cur [45].

Интерес представляет работа, авторы которой провели доклиническое изучение LS-Cur при колоректальном раке. При этом проведено сравнение LS-Cur с оксалиплатином (Ox) при стандартной химиотерапии этого заболевания. Обработка *in vitro* LS-Cur индуцировала дозозависимое ингибирование роста и апоптоз в двух клеточных линиях рака толстой кишки человека (клетки линий Lovo и Colo205). Обнаружен синергизм между LS-Cur и Ox при соотношении 4:1 в клетках Lovo и Colo205. *In vivo* наблюдалось эффективное ингибирование роста опухоли в ксеногенатах Lovo и Colo205, а ингибирование роста LS-Cur было большим при сравнении с Ox в клетках Colo 205. Гистохимические исследования показали, что при обработке опухолей животных LS-Cur антиангиогенный эффект проявлялся в ослаблении эндотелиального маркера CD31, фактор роста эндотелия сосудов и экспрессию интерлейкина-8. Авторами показано, что LS-Cur обладает сопоставимыми или более высокими относительно Ox эффектами ингибирования роста и стимуляции апоптоза как *in vitro*, так и *in vivo* при колоректальном раке. Авторы проводят работы по разработке лекарственного препарата LS-Cur [46].

Ls-Cur ингибировал рост клеток меланомы, рака поджелудочной железы и рака молочной железы [47, 48]. Проведено изучение противоопухолевого эффекта Ls-Cur на человеческих клетках рака поджелудочной железы MiaPaCa как *in vitro*, так и в исследованиях ксенотрансплантата на мышах.

Установлено, что ингибирующая пролиферация LS-Cur на модели *in vitro* (IC50) составляла 17,5 мкМ. В опухолях ксенотрансплантата у мышей LS-Cur при дозе 20 мг/кг в/бр по 3 раза в неделю (в течение 4 недель) вызывал подавление роста опухоли на 42 % по сравнению с контрольными животными (отсутствие введения LS-Cur). При этом наблюдался высокий антиангиогенный эффект, что сопровождалось уменьшением количества кровеносных сосудов и снижением экспрессии сосудистого эндотелиального фактора роста и белков анексина A2, определяемых иммуногистохимическими исследованиями в обработанных LS-Cur опухолях [49].

Эффективность LS-Cur по сравнению со свободным Cur показана при изучении роста ксенотрансплантатов карциномы поджелудочной железы на моделях как *in vitro*, так и *in vivo*. LS-Cur проявлял антиангиогенный эффект и снижал эффективность роста клеток опухоли в большей степени, чем свободный Cur [50].

В работе [51] использована пептидная вакцина и конъюгат Cur с ПЭГ для лечения меланомы. Введение конъюгата проводили в/в. Продемонстрирован противоопухолевый эффект комбинированной терапии. Указанная иммунотерапия сопровождалась увеличением синтеза интерферона- γ и интерлейкинов.

В Университете Джонса Хопкинса (США) созданы полимерные NP, способные преодолевать выработанную злокачественными опухолями устойчивость к традиционному противораковому препарату доксорубину (Dox). Помимо Dox, NP содержат Cur. Кроме того, использование новых NP позволяет защитить сердечную мышцу от возникновения повреждений, вызванных токсическим действием самого Dox и ограничивающих возможности химиотерапии антибиотиком, даже, если устойчивость к Dox не возникла. На крысах было показано значительное снижение токсичности Dox с Cur в NP. Полимерные NP, содержащие Cur, являются весьма перспективными лекарственными препаратами для химиотерапии [52].

Включение Cur в NP также позволяет повысить эффективность лечения заболеваний мозга [53]. Авторы утверждают, что уровень Cur в плазме и мозге при его растворении в PC, оливковом масле или стеариновой кислоте увеличивается по сравнению с введением порошка Cur. Так, применение *per os* Cur в составе липидного препарата приводило к 11-кратному увеличению уровня Cur в плазме и 4-кратному увеличению уровня в головном мозге по сравнению с равными дозами свободного Cur. Доза Cur 5 мг приводила к увеличению содержания Cur в мозге до $2,15 \pm 0,744$ мкМ через 3 часа, $5,77 \pm 1,22$ мкМ через 2 недели приема, что превышает диапазон EC50 (1-2 мкМ) для ингибирования i-NOS, IL-1 β , PGE2, и изопростаны. По мнению авторов прием *per os* может обеспечить необходимую концентрацию Cur в целевой ткани.

В работе [54] предложен неинвазивный подход для лечения заболеваний, связанных с воспалением мозга. Экзосомы, содержащие Cur (Exo-Cur), вводили интраназально для доставки в клетки микроглии. Инкапсуляция Cur приводит к значительному повышению его растворимости, стабильности и биодоступности. Результаты, полученные на модели индуцированного липополисахаридом воспаления головного мозга, показали, что у мышей, получавших интраназально Exo-Cur, наблюдали значительное уменьшение количества воспалительных микроглиальных клеток, посредством индукции апоптоза популяции CD45.2⁺ IL-1 β ⁺. А на модели экспериментального аутоиммунного энцефалита экспрессия IL-1 β в микроглиальных клетках CD45.2 значительно снижалась у экспериментальных мышей по сравнению с контрольными группами. Таким образом, интраназальное введение Exo-Cur приводило к быстрой доставке препарата в мозг, который избирательно поглощался микроглиальными клетками, а затем индуцировал апоптоз.

В работе животным с интрагипокампальным введением A β 42-Human назально вводили Ls-Cur, полученный на основе PC и Chol. В результате терапии Ls-Cur установлено угнетение активности цитокинов (TNF α , IL-6 and IL-10), ангиотензин-превращающего фермента в отделах головного мозга (лобно-фронтальная кора и гиппокамп) и сыворотке крови и восстановление мнестических свойств и памяти (условная реакция избегания) у крыс с болезнью Альцгеймера [55].

В работе [56] продемонстрировали, что инкапсуляция Cur в SLN эффективно в отношении поведенческих нарушений на модели болезни Альцгеймера у мышей, индуцированной AlCl₃. Оральный прием Cur-SLN в дозе 50 мг/кг показал 97 % восстановление мембранных липидов и 73 % нормализации уровня ацетилхолинэстеразы по отношению к контрольной группе. При этом прием свободного Cur показал восстановление 15 % и 22 %, соответственно. Гистопатология разрезов мозга групп, обработанных C-SLN, также показала значительное улучшение.

С помощью наноматериалов возможно повысить антибактериальные свойства Cur. В работе [57] получили антибактериальные гидрогели на основе акриламида и бычьего сывороточного альбумина, содержащие Cur и NP-Ag⁺ для применения в качестве противомикробного средства для обработки ран и ожогов. Ингибирование роста *E.coli* показали Cur -содержащий гидрогель, гидрогель, содержащий NP-Ag⁺, однако наибольший антибактериальный эффект проявил гидрогель, содержащий оба компонента.

Антибактериальные полиакрилонитрильные пленки, содержащие Cur, проявили антибактериальную активность *in vitro* против грамположительных штаммов (*Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis*) при ступенчатом высвобождении Cur в течении 24 часов. Было установлено, что пленка сохраняет антибактериальную активность более 30

дней. При этом анализ цитотоксичности на линии клеток эмбрионов мыши NIH/3T3 показал 100 % выживаемость в течение 48 часов после инкубации в среде, содержащей 0, 12,5, 25, 50, 100, 200 мг/мл Cur. Морфология клеток остается неизменной, изменения размера или внешнего вида клеточных компонентов или нарушения их конфигурации также не наблюдалось [58].

В настоящее время появляются коммерческие препараты Cur представленные Ls формой для приема *per os*, например, Acti Novo "Liposomal Curcumin", содержащий SFPC. В состав продукта входит этанол в количестве 10-15 %, наличие которого снижает размеры NP более, чем на 10 %. Препарат выпускается в стеклянных флаконах по 100 мл. Ежедневный прием – 10 мл. Во флаконе 1300 мг куркуминоидов, жиров около 13,3 г., из них насыщенных 1,1 г. Фосфолипидов производства «SUNFLW- PlantaCorp» не менее 97 %, Фосфора 3,3 %, Перекисное число 5, бактерий не более 2000 ед./г, грибов и дрожжей не более 100 ед./г, Cur производства «PlantaCorp». Германия. Также выпускается Ls форма Cur для приема *per os* «LipoLife». Препарат содержит в 100 мл: PC 400-500 мг, Cur – 170 мг, витамин E, калия сорбат. Перед приемом разводят водой или соком.

Заключение

Анализируя приведенные данные можно говорить о высокой и разносторонней активности Cur, обладающего противоопухолевым, противовоспалительным, антиоксидантным, ранозаживляющим, спазмолитическим, антикоагулянтным, антибактериальным действием. Исследователями установлено, что Cur ингибирует инициацию, прогрессирование, метастазирование опухолевых клеток. При этом, Cur безопасен и хорошо переносится в высоких дозах. Установлено, что терапевтические свойства Cur связаны с ферментами, такими как COX 2, AMPK, MMPs, NADPH и LOX, транскрипционными факторами, такими как NF- κ B, AP-1, β -катенин и STAT-3 и протеинкиназы и факторы роста, такими как MAPK, AKT, JAK, VEGF, ERK, PKA и Bcl-2. Однако его низкая растворимость и биодоступность, достаточно быстрый метаболизм ограничивают его применение в клинике. Для улучшения биодоступности целесообразно использовать наноформы лекарственного препарата. Применение NP в качестве носителя (SLN, полимерные NP, наногели, Ls) обеспечивает доставку Cur в клетки-мишени. Исходя из представленных в литературе данных, по нашему мнению, наиболее перспективным является использование Ls [28].

Список литературы

1. Shimatsu, A. Clinical application of "curcumin", a multi-functional substance / Shimatsu A., Kakeya H., Imaizumi A., Morimoto T. [et al.] // *Anti-Aging Medicine*. – 2012. – V. 9, № 1, – P. 43–51.

2. **Feng, T. W.** Liposomal Curcumin and its application in cancer / **T. W. Feng, R. J. Lee, L. Zhao** // *International Journal of Nanomedicine*. – 2017. – V. 12. – P. 6027–6044.
3. **Rahimi, H. R.** Novel delivery system for natural products: Nano-curcumin formulations / **H. R. Rahimi, R. Nedaeinia, A. S. Shamloo** [et al.] // *Avicenna Journal of Phytomedicine*. – 2016. – V. 6. № 4. – P. 383–398.
4. **Park, W.** New perspectives of curcumin in cancer prevention / **W. Park, A. R. Amin, Z. G. Chen, D. M. Shin** // *Cancer Prevention Research*. – 2013. – V. 6. – P. 387–400.
5. **Cheng, A. L.** Phase I clinical trial of curcumin, a chemopreventive agent, in patients with high-risk or pre-malignant lesions / **A. L. Cheng, C. H. Hsu, J. K. Lin** [et al.] // *Anticancer Research*. – 2001. – V. 21, № 4. – P. 2895–2890.
6. **Deng, Y.** Molecular mechanisms of anti-metastatic activity of curcumin / **Y. Deng, E. Verron, R. Rohanizadeh** // *Anticancer Research*. – 2016. – V. 36. № 11. – P. 5639–5647.
7. **Sunmukhai, J.** Efficacy and safety of curcumin in major depressive disorder: a randomized controlled trial. **J. Sunmukhai, V. Satoda, J. Triverdi** [et al.] // *Phytotherapy Research*. – 2014. – V. 28, № 4. – P. 579–585.
8. **Chin, K. Y.** The spice for joint inflammation: anti-inflammatory role of curcumin in treating osteoarthritis / **K. Y. Chin** // *Drug Design, Development and Therapy*. – 2016. – V. 20, № 10. – P. 3029–3042.
9. **Kim, T.** Curcumin activates AMPK and suppression in hepatoma cells / **T. Kim, J. Davis, A. J. Zhang** [et al.] // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2009. – V. 388, № 2. – P. 377–382.
10. **Айзман, Р. И.** Использование нелекарственных препаратов для коррекции углеводного и водно-минерального баланса при его нарушениях / **Р. И. Айзман, Г. А. Корошенко, А. Д. Герасёв, А. П. Гайдарова** – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. – 90 с.
11. **Гайдарова, А. П.** Распределение биоэлементов в некоторых органах и тканях крыс линии wistar в норме и при сахарном диабете / **А. П. Гайдарова, Г. А. Корошенко, А. В. Аношин, Р. И. Айзман** // *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета*. – 2015. – Т. 6. – P. 184–198.
12. **Rahmani, S.** Treatment of Non-alcoholic Fatty Liver Disease with Curcumin: A Randomized Placebo-controlled Trial / **S. Rahmani, S. Asgary, G. Askari** [et al.] // *Phytotherapy Research*. – 2016. – V. 30, № 9. – P. 1540–8.
13. **Fu, Yu.** Curcumin protects the rat liver from CCl₄-caused injury and fibrogenesis by attenuating oxidative stress and suppressing inflammation / **Yu. Fu, S. Zheng, J. Lin** [et al.] // *Molecular Pharmacology*. – 2008. – V. 73, № 2. – P. 399–409.
14. **Garcia-Alloza, M.** Curcumin labels amyloid pathology *in vivo*, disrupts existing plaques, and partially restores distorted neurites in an Alzheimer mouse model / **M. Garcia-Alloza, L. Borrelli, A. Rozkalne** [et al.] // *Journal of Neurochemistry*. – 2007. – T. 102, № 4. – P. 1095–1104.
15. **Small, G. W.** Memory and Brain Amyloid and Tau Effects of a Bioavailable Form of Curcumin in Non-Demented Adults: A Double-Blind, Placebo-Controlled 18-Month Trial / **G. W. Small, P. Siddarth, L. Zhaoping** [et al.] // *The American Journal of Geriatric Psychiatry*. – 2017. – doi: 10.1016/j.jagp.2017.10.010.
16. **Liu, Z.** Curcumin Protects against Ischemic Stroke by Titrating Microglia/Macrophage Polarization. / **Z. Liu, Y. Ran, S. Huang** [et al.] // *Frontiers in Aging Neuroscience*. – 2017. – doi:10.3389/fnagi.2017.00233.
17. **Ahmad, B.** Aggregation on of α -synuclein is kinetically controlled by intramolecular diffusion / **B. Ahmad, Y. Chen, L. J. Lapidus** // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2012. – V. 109, № 7. – P. 2336–2341.
18. **Ahmad, B.** Curcumin prevents aggregation in α -synuclein by increasing reconfiguration rate / **B. Ahmad, L. J. Lapidus** // *Journal of Biological Chemistry*. – 2012. – V. 287, № 12. – P. 9193–9199.
19. **Schiborr, C.** A validated method for the quantification of curcumin in plasma and brain tissue by fast narrow-bore high-performance liquid chromatography with fluorescence detection / **C. Schiborr, G. P. Eckert, G. Rimbach, J. Frank** // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2010. – V. 397, № 5. – P. 1917–1925.
20. **Zhang, L.-K.** Pharmacokinetics and absolute bioavailability of curcumin in rats / **L.-K. Zhang X.-Z. Wang W.-S. Li** [et al.] // *Chinese Pharmacological Bulletin*. – 2011. – V. 27, № 10. – P. 1458–1462.
21. **Schiborr, C.** The oral bioavailability of curcumin from micrinized powder and liquid micelles is a significantly increased in healthy humans and differs between sexes / **C. Schiborr, A. Kocher, D. Behnam** [et al.] // *Molecular Nutrition & Food Research*. – 2014. – V. 58, № 3. – P. 516–527.
22. **Martins, A. F.** Characterization of N-trimethyl chitosan/alginate complexes and curcumin release / **A. F. Martins, P. V. Bueno, E. A. Almeida** [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2013. – V. 57. – P. 174–84.
23. **Ravichandran, R.** Studies on dissolution behaviour of nanoparticulate curcumin formulation / **R. Ravichandran** // *Advances in Nanoparticles*. – 2013. – V. 2. – P. 51–59.
24. **Пилипенко, Д. М.** Разработка эмульсионных форм куркумина / **Д. М. Пилипенко, Е. С. Подпоринова, Ю. М. Краснопольский** // *Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции*. – X., 2017. – С. 177–178.
25. **Шульга, С. М.** Створення та характеристика ліпосомальної форми куркуміну / **С. М. Шульга** // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – Т. 7, № 5. – С. 55–61.
26. **Chen, H.** N-trimethyl chitosan chloride-coated liposomes for the oral delivery of curcumin / **H. Chen, J. Wu, M. Sun** [et al.] // *Journal of Liposome Research*. – 2012. – V. 22. – P. 100–109.
27. **Chowdhury, S. T.** Vesicular (liposomal and nanoparticulated) delivery of curcumin: a comparative study on carbon tetrachloride mediated oxidative hepatocellular damage in rat model / **S. T. Chowdhury, N. Das, S. Ghosh** [et al.] // *International Journal of Nanomedicine*. – 2016. – V. 11. – P. 1–15.
28. **Швец, В. И.** Липосомальные формы лекарственных препаратов: технологические особенности получения и применение в клинике / **В. И. Швец, Ю. М. Краснопольский, Г. М. Сорокоумова** – М.: Ремедиум, 2017. – 200 с.
29. **Kunnumakkara, A. B.** Curcumin inhibits proliferation, invasion, angiogenesis and metastasis of different cancers through interaction with multiple cell signaling proteins./ **A. B. Kunnumakkara, P. Anand, B. V. Aggarwal** // *Cancer Letters*. – 2008. – V. 269, № 2. – P. 199–225.

30. **Li, L.** Liposome-encapsulated curcumin : *in vitro* and *in vivo* effects on proliferation, apoptosis, signaling, and angiogenesis / **L. Li, F. S. Braiteh, R. Kurzrock** // *Cancer*. – 2005. – V. 104, № 9. – P. 1322–1331.
31. **Liu, J.** Recent progress in studying curcumin and its nano-preparations for cancer therapy / **J. Liu, S. Chen, L. Lv** [et al.] // *Current Pharmaceutical Design*. – 2013. – V. 19. – P. 1974–1993.
32. **Mukerjee, A.** Formulation, characterization and evaluation of curcumin-loaded PLGA nanospheres for cancer therapy / **A. Mukerjee, J. K. Vishwanatha** // *Anticancer Research*. – 2009. – V. 29, № 12. – P. 3867–387.
33. **Mulik, R. S.** Transferrin mediated solid lipid nanoparticles containing curcumin: enhanced *in vitro* anticancer activity by induction of apoptosis / **R. S. Mulik, J. Mönkkönen, R. O. Juvonen** [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2010. – V. 398, № 1. – P. 190–208.
34. **Gangwar, R. K.** Curcumin conjugated silica nanoparticles for improving bioavailability and its anticancer applications / **R. K. Gangwar, G. B. Tomar, V. A. Dhumale** [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2013. – V. 61, № 12. – P. 9632–9637.
35. **Saengkrit, N.** Influence of curcumin-loaded cationic liposome on anticancer activity for cervical therapy / **N. Saengkrit, S. Saesoo, W. Sninuanchai** [et al.] // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2014. – V. 114, № 1. – P. 349–356.
36. **Wang, L. Q.** Liposomal curcumin inhibits tumor growth and angiogenesis in Lewis lung cancer / **L. Q. Wang, H. S. Shi, Y. S. Wang** // *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. – 2013. – V. 44, № 1. – P. 46–49.
37. **Anuchapreeda, S.** Preparation of Lipid Nanoemulsions Incorporating Curcumin for Cancer Therapy / **S. Anuchapreeda, Y. Fukumori, S. Okonogi, H. Ichikawa** // *Journal of Nanotechnology*. – 2012. – V. 2012. – doi: 10.1155/2012/270383.
38. **Wang, P.** The formulation and delivery curcumin with solid lipid nanoparticles for the treatment on non-small cell lung cancer both *in vitro* and *in vivo*. / **P. Wang, L. Zhang, H. Peng** [et al.] // *Materials Science and Engineering*. – 2013. – V. 33, № 8. – P. 4802–4808.
39. **Gao, Y.** Preparation and characterization of intravenously injectable curcumin nanosuspension. / **Y. Gao, Z. Li, M. Sun** [et al.] // *Drug Delivery*. – 2011. – V. 18. – P. 131–142.
40. **Hasan, M.** Liposome encapsulation of curcumin: physico-chemical characterizations and effects on MCF7 cancer cell proliferation / **M. Hasan, N. Belhag, H. Benachour** [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2014. – V. 461, № 1. – P. 519–528.
41. **Dhule, S. S.** Curcumin – loaded γ -cyclodextrin liposomal nanoparticles as delivery vehicles for osteosarcoma / **S. S. Dhule, P. Penfornis, T. Frazor** [et al.] // *Nanomedicine*. – 2012. – V. 8, № 4. – P. 440–451.
42. **Dhule, S. S.** The Combined Effect of Encapsulating Curcumin and C6 Ceramide in Liposomal Nanoparticles against Osteosarcoma. / **S. S. Dhule, P. Penfornis, J. He** [et al.] // *Molecular Pharmaceutics*. – 2014. – V. 11. – P. 417–427.
43. **Narayanan, N. K.** Liposome encapsulation of curcumin and resveratrol in combination reduces prostate cancer incidence in PTEN knockout mice / **N. K. Narayanan, D. Nargi, C. Randolph, B. A. Narayanan** // *International Journal of Cancer*. – 2009. – V. 125, № 1. – P. 1–8.
44. **Thangapazham, R. L.** Evaluation of a nanotechnology-based carrier for delivery of curcumin in prostate cancer cells / **R. L. Thangapazham, A. Puri, S. Tele** [et al.] // *International Journal of Oncology*. – 2008. – V. 32. – P. 1119–1123.
45. **Zhou, N.** Galactosylated chitosan polycaprolactone nanoparticles for hepatocyte-targeted delivery of curcumin / **N. Zhou, X. Zan, Z. Wang** [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. V. 94. – P. 420–429.
46. **Li, R.** Liposomal curcumin with and without oxaliplatin: effects on cell growth, apoptosis, and angiogenesis in colorectal cancer / **R. Li, B. Ahmed, K. Mehta, R. Kurzrock** // *Molecular Cancer Therapeutics*. – 2007. – V. 6, № 4. – P. 1276–1282.
47. **Kurzrock, R.** Pat. 20060067998 A1 Liposomal curcumin for treatment of cancer / **R. Kurzrock, L. Li, K. Mehta, Aggarawol B. B.** – 2006.
48. **Kurzrock, R.** Pat. 02870850067998 Liposomal curcumin for treatment of cancer / **R. Kurzrock, L. Li, K. Mehta, B. B. Aggarawol**. – 2011.
49. **Ranjan, A. P.** Efficacy of liposomal curcumin in a human pancreatic tumor xenograft model: inhibition of tumorigrowth and angiogenesis / **A. P. Ranjan, A. Mukerjee, L. Helson** [et al.] // *Anticancer Research*. – 2013. – V. 33, № 9. – P. 3603–3609.
50. **Li, L.** Liposome – encapsulated curcumin: *in vitro* and *in vivo* effects on proliferation, apoptosis, signaling and angiogenesis / **L. Li, F. S. Braiteh, R. Kurzrock** // *Cancer*. – 2005. V. 104, № 6. – P. 1322–1331.
51. **Lu, Y.** Curcumin Micelles Remodel Tumor Microenvironment and Enhance Vaccine Activity in an Advanced Melanoma model / **Y. Lu, L. Miao, Y. Wang** [et al.] // *Molecular Therapy*. – 2016. – V. 24, № 2. – P. 364–374.
52. **Bisht, S.** Polymeric nanoparticle – encapsulated curcumin (nanocurcumin): a novel strategy for human cancer therapy / **S. Bisht, G. Feldmann, S. Soni** [et al.] // *Journal of Nanobiotechnology*. – 2007. – V. 11. – P. 1551–1601.
53. **Begum, A. N.** Curcumin structure-function, bioavailability, and efficacy in models of neuroinflammation and Alzheimer's disease / **A. N. Begum, M. R. Jones, G. P. Lim** [et al.] // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. – 2008. – V. 326. – P. 196–208.
54. **Zhuang, X.** Treatment of brain inflammatory diseases by delivering exosome encapsulated anti-inflammatory drugs from the nasal region to the brain / **X. Zhuang, X. Xiang, W. Grizzle** [et al.] // *Molecular Therapy*. – 2011. – V. 19. – P. 1769–1779.
55. **Sokolik, V. V.** Effect of curcumin liposomal form on angiotensin converting activity, cytokines and cognitive characteristics of the rats with Alzheimer's disease model / **V. V. Sokolik, S. M. Shulga** // *Biotechnologia Acta*. – 2015. – T. 8, № 6. – P. 48–56.
56. **Kakkar, V.** Evaluating potential of curcumin loaded solid lipid nanoparticles in aluminium induced behavioural, biochemical and histopathological alterations in mice brain / **V. Kakkar, I. P. Kaur** // *Food and Chemical Toxicology*. – 2011. – V. 49. – P. 2906–2913.
57. **Vimala, K.** Development of novel protein_Ag nanocomposite for drug delivery and inactivation of bacterial applications. International / **K. Vimala, K. Varaprasad, R. Sadiku** [et al.] // *Journal of Biological Macromolecules*. – 2014. – V. 63. – P. 75–82.
58. **Govindraj, P.** Molecular interactions and antimicrobial activity of Curcumin (Curcumin longa) loaded polyacrylonitrile films / **P. Govindraj, K. Balasubramanian** // *Materials Chemistry and Physics*. – 2014. – V. 147. – P. 934–941.

Bibliography (transliterated)

1. Shimatsu, A., Kakeya, H., Imaizumi, A., Morimoto, T., Kanai, M., Maeda, S. Clinical application of "curcumin", a multi-functional substance. *Anti-Aging Medicine*, 2012, 9(1), 43–51.
2. Feng, T. W., Lee, R. J., Zhao, L. Liposomal Curcumin and its application in cancer. *International J. of Nanomedicine*, 2017, 12, 6027–6044.
3. Rahimi, H. R., Nedaeinia, R., Shamloo, A. S., Nikdonst, S., Oskuee, R. R. Novel delivery system for natural products: Nano-curcumin formulations. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 2016, 6(4), 383–398.
4. Park, W., Amin, A. R., Chen, Z. G., Shin, D. M. New perspectives of curcumin in cancer prevention. *Cancer Prevention Research*, 2013, 6, 387–400.
5. Cheng, A. L., Hsu, C. H., Lin, J. K., Hsu, M. M., Ho, Y. F., Shen, T. S., Ko, J. Y., Lin, J. T., Lin, B. R., Ming-Shang, W. Y., Yu, H. S., Jee, S. H., Chen, G. S., Chen, T. M., Chen, T. A., Lai, M. K., Pu, Y. S., Pan, M. H., Wang, Y. J., Tsai, C. C., Hsieh, C. Y. Phase I clinical trial of curcumin, a chemopreventive agent, in patients with high-risk or pre-malignant lesions. *Anticancer Research*, 2001, 21(4), 2895–2890.
6. Deng, Y., Verron, E., Rohanzadeh, R. Molecular mechanisms of anti-metastatic activity of curcumin. *Anticancer Research*, 2016, 36(11), 5639–5647.
7. Sunmukhai, J., Satoda, V., Triverdi, J., Patel, T., Triwari, D., Panchal, B., Goel, A., Tripathi, C. B. Efficacy and safety of curcumin in major depressive disorder: a randomized controlled trial. *Phytotherapy Research*, 2014, 28(4), 579–585.
8. Chin, K. Y. The spice for joint inflammation: anti-inflammatory role of curcumin in treating osteoarthritis. *Drug Design, Development and Therapy*, 2016, 20(10), 3029–3042.
9. Kim, T., Davis, J., Zhang, A. J., He, X., Mathews, S. T. Curcumin activates AMPK and suppression in hepatoma cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2009, 388(2), 377–382.
10. Aizman, R. I., Koroschenko, G. A., Gerasev, A. D., Gajdarova, A. P. Ispolzovanie nelekarn-stvennykh preparatov dlya korrektsii uglevodnogo i vodno-mineralnogo balansu pri ego narusheniyah. [Using of nonmedicinal preparations for correction of carbohydrate and water-mineral balance at its infringements]. Novosibirsk: Novosibirsk State Pedagogical University Publ., 2014, 90 p.
11. Gajdarova, A. P., Koroschenko, G. A., Anoshin, A. V., Aizman, R. I. Rasprezhenie bioelementov v nekotorykh organakh i tkanyah krysis linii wistar v norme i pri saharnom diabete [Distribution of bioelements in certain organs and tissues of normal and diabetic wistar rats]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin], 2015, 6, 184–198.
12. Rahmani, S., Asgary, S., Askari, G., Keshvari, M., Hatamipour, M., Feizi, A., Sahebkar, A. Treatment of Non-alcoholic Fatty Liver Disease with Curcumin: A Randomized Placebo-controlled Trial. *Phytotherapy Research*, 2016, 30(9), 1540–8.
13. Fu, Yu., Zheng, S., Lin, J., Ryerse J., Chen, A. Curcumin protects the rat liver from CCl₄-caused injury and fibrogenesis by attenuating oxidative stress and suppressing inflammation. *Molecular Pharmacology*, 2008, 73(2), 399–409.
14. Garcia-Alloza, M., Borrelli, L., Rozkalne, A., Hyman, B., Bacskai, B. Curcumin labels amyloid pathology *in vivo*, disrupts existing plaques, and partially restores distorted neurites in an Alzheimer mouse model. *Journal of Neurochemistry*, 2007, 102(4), pp 1095–1104.
15. Small, G. W., Siddarth, P., Zhaoping, L., Miller, K. J., Ercoli, L., Emerson, N. D., Martinez, J., Wong, K.-P., Liu, J., Merrill, D. A., Chen, S. T., Henning, S. M., Satyamurthy, N., Huang, S.-C., Heber, D., Barrio, J. R. Memory and Brain Amyloid and Tau Effects of a Bioavailable Form of Curcumin in Non-Demented Adults: A Double-Blind, Placebo-Controlled 18-Month Trial. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2017, doi: 10.1016/j.jagp.2017.10.010.
16. Liu, Z., Ran, Y., Huang, S., Wen, S., Zhang, W., Liu, X., Ji, Z., Geng X., Ji, X., Du, H., Leak, R., Hu, X. Curcumin Protects against Ischemic Stroke by Titrating Microglia/Macrophage Polarization. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2017, doi:10.3389/fnagi.2017.00233.
17. Ahmad, B., Chen, Y., Lapidus, L. J. Aggregation on of α -synuclein is kinetically controlled by intramolecular diffusion. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2012, 109(7), 2336–2341.
18. Ahmad, B., Lapidus, L. J. Curcumin prevents aggregation in α -synuclein by increasing reconfiguration rate. *Journal of Biological Chemistry*, 2012, 287(12), 9193–9199.
19. Schiborr, C., Eckert, G. P., Rimbach, G., Frank, J. A validated method for the quantification of curcumin in plasma and brain tissue by fast narrow-bore high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010, 397(5), 1917–1925.
20. Zhang, L.-K., Wang, X.-Z., Li, W.-S., Qiu, X.-J., Hu, G.-X. Pharmacokinetics and absolute bioavailability of curcumin in rats *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2011, 27(10), 1458–1462.
21. Schiborr, C., Kocher, A., Behnam, D., Jandasek, J., Toelstede, S., Frank, J. The oral bioavailability of curcumin from micrized powder and liquid micelles is a significantly increased in healthy humans and differs between sexes. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2014, 58(3), 516–527.
22. Martins, A. F., Bueno, P. V., Almeida, E. A., Rodrigues, F. H., Rubira, A. F., Muniz, E. C. Characterization of N-trimethyl chitosan/alginate complexes and curcumin release. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 57, 174–84.
23. Ravichandran, R. Studies on dissolution behaviour of nanoparticulate curcumin formulation. *Advances in Nanoparticles*, 2013, 2, 51–59.
24. Pilipenko, D. M., Podporinova, E. S., Krasnopolskiy Yu. M. Razrabotka emulsionnykh form kurkumina. *Himiya, bio- i nanotekhnologii, ekologiya i ekonomika v pischevoy i kosmeticheskoy promyshlennosti: Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsiiyu*, 2017, 177–178.
25. Shulga, S. M. Stvorennia ta kharakterystykaliposomalnoi formy kurkuminu [Obtaining and characteristic of curcumin liposomal form]. *Biotechnologia Acta*, 2014, 7(5), 55–61.
26. Chen, H., Wu, J., Sun, M., Guo, C., Yu, A., Cao, F., Zhao, L., Tan, Q., Zhai, G. N-trimethyl chitosan chloride-coated liposomes for the oral delivery of curcumin. *Journal of Liposome Research*, 2012, 22, 100–109.

27. Chowdhury, S. T., Das, N., Ghosh, S., Ghosh, D., Chakraborty, S., Ali, N. Vesicular (liposomal and nanoparticulated) delivery of curcumin: a comparative study on carbon tetrachloride mediated oxidative hepatocellular damage in rat model. *International Journal of Nanomedicine*, 2016, **11**, 1–15.
28. Shvets, V. I., Krasnopolsky, Yu. M., Sorokoumova, G. M. Liposomalnye formy lekarstvennykh preparatov: tehnologicheskie osobennosti polucheniya i primenenie v klinike. Moscow, Remedium Publ., 2017, 200 p.
29. Kunnumakkara, A. B., Anand, P., Aggarwal, B. B. Curcumin inhibits proliferation, invasion, angiogenesis and metastasis of different cancers through interaction with multiple cell signaling proteins. *Cancer Letters*, 2008, **269**(2), 199–225.
30. Li, L., Braithe, F. S., Kurzrock, R. Liposome-encapsulated curcumin : *in vitro* and *in vivo* effects on proliferation, apoptosis, signaling, and angiogenesis. *Cancer*, 2005, **104**(9), 1322–1331.
31. Liu, J., Chen, S., Lv, L., Song, L., Guo, S., Huang, S. Recent progress in studying curcumin and its nano-preparations for cancer therapy. *Current Pharmaceutical Design*, 2013, **19**, 1974–1993.
32. Mukerjee, A., Vishwanatha, J. K. Formulation, characterization and evaluation of curcumin-loaded PLGA nanospheres for cancer therapy. *Anticancer Research*, 2009, **29**(12), 3867–387.
33. Mulik, R. S., Mönkkönen, J., Juvonen, R. O., Mahadik, K. R., Paradkar A. R. Transferrin mediated solid lipid nanoparticles containing curcumin: enhanced *in vitro* anticancer activity by induction of apoptosis. *International Journal of Pharmaceutics*, 2010, **398**(1), 190–208.
34. Gangwar, R. K., Tomar, G. B., Dhumale, V. A., Zinjarde, S., Sharma, R. B., Datar, S. Curcumin conjugated silica nanoparticles for improving bioavailability and its anticancer applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, **61**(12), 9632–9637.
35. Saengkrit, N., Saesoo, S., Sninuanchai, W., Phunpees, S., Ructanonchai, U. R. Influence of curcumin-loaded cationic liposome on anticancer activity for cervical therapy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2014, **114**(1), 349–356.
36. Wang, L. Q., Shi, H. S., Wang, Y. S. Liposomal curcumin inhibits tumor growth and angiogenesis in Lewis lung cancer. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2013, **44**(1), 46–49.
37. Anuchapreeda, S., Fukumori, Y., Okonogi, S., Ichikawa, H. Preparation of Lipid Nanoemulsions Incorporating Curcumin for Cancer Therapy. *Journal of Nanotechnology*, 2012, **2012**, doi: 10.1155/2012/270383.
38. Wang, P., Zhang, L., Peng, H., Li, Y., Xiong, J., Xu, Z. The formulation and delivery curcumin with solid lipid nanoparticles for the treatment on non-small cell lung cancer both *in vitro* and *in vivo*. *Materials Science and Engineering*, 2013, **33**(8), 4802–4808.
39. Gao, Y., Li, Z., Sun, M., Guo, C., Yu, A., Xi, Y., Cui, J., Lou, H., Zhai, G. Preparation and characterization of intravenously injectable curcumin nanosuspension. *Drug Delivery*, 2011, **18**, 131–142.
40. Hasan, M., Belhag, N., Benachour, H., Barberi-Heyob, M., Kahn, C., Jabbari, E. Liposome encapsulation of curcumin: physico-chemical characterizations and effects on MCF7 cancer cell proliferation. *International Journal of Pharmaceutics*, 2014, **461**(1), 519–528.
41. Dhule, S. S., Penfornis, P., Frazor, T., Walker, R., Feldman, J., Tan, G., He, J., Alb, A., John, V. Curcumin – loaded γ -cyclodextrin liposomal nanoparticles as delivery vehicles for osteosarcoma. *Nanomedicine*, 2012, **8**(4), 440–451.
42. Dhule, S. S., Penfornis, P., He, J., Harris, MR, Terry, T, John, V, Pochampally, R. The Combined Effect of Encapsulating Curcumin and C6 Ceramide in Liposomal Nanoparticles against Osteosarcoma. *Molecular Pharmaceutics*, 2014, **11**, 417–427.
43. Narayanan, N. K., Nargi, D., Randolph, C., Narayanan, B. A. Liposome encapsulation of curcumin and resveratrol in combination reduces prostate cancer incidence in PTEN knockout mice. *International Journal of Cancer* 2009, **125**(10), 1–8.
44. Thangapazham, R. L., Puri, A., Tele, S., Blumenthal, R., Maheshwari, R. K. Evaluation of a nanotechnology-based carrier for delivery of curcumin in prostate cancer cells. *International Journal of Oncology*, 2008, **32**, 1119–1123.
45. Zhou, N., Zan, X., Wang, Z., Wu, H., Yin, D., Liao, C., Wan, Y. Galactosylated chitosan polycaprolactone nanoparticles for hepatocyte-targeted delivery of curcumin. *Carbohydrate Polymers*, 2013, **94**, 420–429.
46. Li, R., Ahmed, B., Mehta, K., Kurzrock, R. Liposomal curcumin with and without oxaliplatin: effects on cell growth, apoptosis, and angiogenesis in colorectal cancer. *Molecular Cancer Therapeutics*, 2007, **6**(4), 1276–1282.
47. Kurzrock, R., Li, L., Mehta, K., Aggarwal, B. B. Liposomal curcumin for treatment of cancer. Patent USA no. 20060067998 A1, 2006.
48. Kurzrock, R., Li, L., Mehta, K., Aggarwal, B. B. Liposomal curcumin for treatment cancer. Patent USA no. 02870850067998, 2011.
49. Ranjan, A. P., Mukerjee, A., Helson, L., Gupta, R., Vishwanatha, J. K. Efficacy of liposomal curcumin in a human pancreatic tumor xenograft model: inhibition of tumorgrowth and angiogenesis. *Anticancer Research*, 2013, **33**(9), 3603–3609.
50. Li, L., Braithe, F. S., Kurzrock, R. Liposome – encapsuled curcumin: *in vitro* and *in vivo* effects on proliferation, apoptosis, signaling and angiogenesis. *Cancer*, 2005, **104**(6), 1322–1331.
51. Lu, Y., Miao, L., Wang, Y., Xu, Z., Zhao, Y., Shen, Y., Xiang, G., Huang, L. Curcumin Micelles Remodel Tumor Microenvironment and Enhance Vaccine Activity in an Advanced Melanoma model. *Molecular Therapy*, 2016, **24**(2), 364–374.
52. Bisht, S., Feldmann, G., Soni, S., Ravi, R., Karikar, C. Polymeric nanoparticle – encapsulated curcumin (nanocurcumin): a novel strategy for human cancer therapy. *Journal of Nanobiotechnology*, 2007, **11**, 1551–1601.
53. Begum, A. N., Jones, M. R., Lim, G. P., Morihara, T., Kim, P., Heath, D. D., Rock, C. L., Pruitt, M. A., Yang, F., Hudspeth, B., Hu, S., Faull, K. F., Teter, B., Cole, G. M., Frautschy, S. A. Curcumin structure-function, bioavailability, and efficacy in models of neuroinflammation and Alzheimer's disease. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 2008, **326**, 196–208.
54. Zhuang, X., Xiang, X., Grizzle, W., Sun, D., Zhang, S., Axtell, R. C., Ju, S., Mu, J., Zhang, L., Steinman, L., Miller, D., Zhang, H. G. Treatment of brain inflammatory diseases by delivering exosome encapsulated anti-inflammatory drugs from the nasal region to the brain. *Molecular Therapy*, 2011, **19**, 1769–1779.
55. Sokolik, V. V., Shulga, S. M. Effect of curcumin liposomal form on angiotensin converting activity, cytokines and cognitive characteristics of the rats with Alzheimer's disease model. *Biotechnologia Acta*, 2015, **8**(6), 48–56.

56. **Kakkar, V., Kaur, I. P.** Evaluating potential of curcumin loaded solid lipid nanoparticles in aluminium induced behavioural, biochemical and histopathological alterations in mice brain. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, **49**, 2906–2913.
57. **Vimala, K., Varaprasad, K., Sadiku, R., Ramam, K., Kanny, K.** Development of novel protein_Ag nanocomposite for drug delivery and inactivation of bacterial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, **63**, 75–82.
58. **Govindraj, P., Balasubramanian, K.** Molecular interactions and antimicrobial activity of Curcumin (Curcumin longa) loaded polyacrylonitrile films. *Materials Chemistry and Physics*, 2014, **147**, 934–94.

Сведения об авторах (About authors)

Пилипенко Дарья Михайловна – студент кафедры Биотехнологии, биофизики и аналитической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: daria1003@ukr.net.

Daria Pylypenko – student of the Department of Biotechnology, Biophysics and Analytical Chemistry National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: daria1003@ukr.net.

Безрукавий Дмитрий Сергеевич – студент кафедры Биотехнологии, биофизики и аналитической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: dima_b1998@meta.ua.

Dmitrii Bezrukavii – student of the Department of Biotechnology, Biophysics and Analytical Chemistry National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: dima_b1998@meta.ua.

Краснопольский Юрий Михайлович – доктор фармацевтических наук, профессор кафедры Биотехнологии, биофизики и аналитической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина.

Yuriy Krasnopolsky – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor at the Department of Biotechnology, Biophysics and Analytical Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пилипенко, Д. М. Применение нанобиотехнологических форм куркумина / **Д. М. Пилипенко, Д. С. Безрукавий, Ю. М. Краснопольский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 218-229. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.32.

Please cite this article as:

Pylypenko, D. M., Bezrukavii, D. S., Krasnopolsky, Yu. M. Application of nanobiotechnological forms of curcumin. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 218-229, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.32.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пилипенко, Д. М. Застосування нанобіотехнологічних форм куркуміну / **Д. М. Пилипенко, Д. С. Безрукавий, Ю. М. Краснопольський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 218-229. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.32.

АНОТАЦІЯ В огляді розглянуто фармакологічні аспекти використання природної гідрофобної сполуки диферулоїлметану – куркуміну. Показано можливість застосування курку міну для інгібування канцерогенезу при ряді пухлинних захворювань, а також як антиоксидантний та протизапальний засіб. Розглянуто механізм впливу куркуміну на ферментну систему та різні біологічні фактори. Встановлена висока фармакологічна активність як при прийомі *per os*, так і при ін'єкційних способах введення. Приведені дані підтверджують можливість використання куркуміну як у наноемульсіях, так і у ліпосомальній формі.

Ключові слова: куркумін; наночастинки; ліпосомы; емульсійні препарати; біодоступність; антиоксидант; протипухлинний засіб; протизапальний засіб.

Поступила (received) 26.02.2018

УДК 662.613.122

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.33

ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОЛОШЛАКОНАКОПИЧУВАЧА СУМСЬКОЇ ТЕЦ НА ГІДРОСФЕРУ

Л. Д. ПЛЯЦУК, Г. М. М'ЯКАЄВА*, О. В. М'ЯКАЄВ

Кафедра прикладної екології, Сумський державний університет, м. Суми, УКРАЇНА
*e-mail: hannamiakaieva@gmail.com

АНОТАЦІЯ Представлені дослідження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на підземні води. За результатами моніторингу встановлено, що в підземних водах першого від поверхні водоносного комплексу спостерігається зміна хімічного складу за рахунок фільтрації вод із золовідвалу. Ознаками цього є підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлоридів, сульфатів, натрію, заліза. Для запобігання забрудненню підземних і поверхневих вод запропоновано створення техногенного геохімічного бар'єру. З метою вибору матеріалу для екрану досліджувались природні глини Сумської області. Встановлена присутність в глинистих матеріалах Сумського району смектитових мінералів, які забезпечують високу сорбційну здатність до іонів важких металів. Проведені дослідження показали, що іони важких металів входять структуру глини та не вимиваються з них опадами, що дозволяє рекомендувати глини Сумського району для створення протифільтраційного екрану золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ.

Ключові слова: теплова електростанція; золовідвал; важкі метали; міграція; екран; глина.

REDUCTION OF THE INFLUENCE OF ASH AND SLUG DUMP OF SUMY TPP ON THE HYDROSPHERE

L.PLYATSUK, H. MIKAIEVA, O.MIKAIEV

Applied Ecology Department, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

ADSTRACT The aim of the work is to develop measures of reducing the impact of the ash and slug dump of the Sumy Thermal Power Plant on the environment. Investigation of the factors of impact of the ash and slug dump of the Sumy Thermal Power Plant on groundwater showed that there is a significant amount of heavy metals in the ash and slags of Sumy TPP. As a result of the contact of a slag mixture with atmospheric precipitation they can leak out, move into soluble forms and pollute soils and groundwater. The radioactivity of a mixture of ash slag is 18 mR / h. Ash and slag have the following physical and mechanical characteristics: the bulk density is 1350 kg/m³, the filtration coefficient is 3.5 m/day. The location of ash and slug dump of the Sumy Thermal Power Plant close to the Psel river and the insufficient protection of the groundwater leads to the migration of pollutants. Signs of this are the high content in the water from the observation wells of chlorides, sulfates, sodium and iron. The results of researches of groundwater of the first from the surface aquifer at the site of the ash and slug dump indicate the changes in its chemical composition by water filtration from the ash and slug dump.

We propose to create an anthropogenic geochemical barrier to prevent pollution of underground and surface water. In order to select the material for the screen, natural clays of the Sumy region were investigated. They have low filtration coefficient and high sorption properties. The presence in the clay materials of smectite minerals such as montmorillonite, bentonite has been established, they provide a high sorption ability. Studies have also shown that heavy metals are embedded in the structure of clay and not washed out from it by precipitation, it allows us to recommend clay of the Sumy region to create an anti-filtration screen of ash and slug dump of Sumy Thermal Power Plant.

Key words: thermal power plant; ash and slug dump; heavy metals; migration; screen; clay.

Вступ

Енергетика є найважливішою галуззю, яка визначає ефективність розвитку економіки і технічний рівень всієї промисловості. На сучасному етапі в світі відбувається зростання енергоспоживання на душу населення. У ХХ - початку ХХІ ст. виробництво і споживання енергії в світі подвоюється кожні 10-15 років, що призводить до збільшення техногенного впливу енергетики на навколишнє середовище. Розвиток теплової енергетики в Україні прогнозується з переважним використанням вугілля, частка якого в у 2030 році в паливному балансі становитиме 85,1% [1], що

призводить до зростання кількості відходів. Екологічний стан навколишнього середовища в районах розміщення теплоелектростанцій (ТЕС) досліджували відомі вітчизняні та закордонні науковці [2-11].

Технології спалювання вугілля на теплових електростанціях України передбачають видалення золи та шлаків гідравлічним способом та складування їх у золовідвалах. Шлаки та зола доволі токсичні, їх токсичність складається з токсичності поліароматичних вуглеводнів (в основному бенз(а)пірену), важких металів і невідомих органічних токсикантів. Концентрація оксидів важких металів в шлаку і золі на 2-3 порядки (а іноді і більше)

вище, ніж у паливі. Основну масу (96-98%) золошлакових відходів складає сума оксидів: оксид кремнію – 45-60%; оксид кальцію – 2,5-9,6%; оксид магнію – 0,5-4,8%; оксид заліза – 4,1-10,6%; оксид алюмінію – 10,1-21,8% і триоксид сірки – 0,03-2,7% [2]. Крім наведених макроелементів, що складають основну масу відходів, золошлакові відходи містять мікродомішки таких елементів, як цинк, талій, свинець, хром, марганець, кобальт, нікель, ртуть, миш'як, сурма, ванадій, стронцій, германій, бор, берилій, фтор та ін. За даними [12] в золі міститься значна кількість важких металів, які надходять з палива. Золошлаки, накопичуючись в золовідвалах в значних обсягах, створюють реальну загрозу забруднення ґрунтів, водойм, атмосферного повітря, але в той же час можуть представляти промисловий інтерес як нетрадиційна техногенна сировина.

В роботі [11] автором наведена схема взаємодії золошлакозакрипувачів з навколишнім середовищем, яка враховує відчуження територій, міграцію забруднюючих речовин крізь профіль ґрунтів, пиління з поверхні золовідвалу, міграцію забруднювачів по трофічним ланцюгам та вплив на організм людини. Суттєвий вплив інфільтрації з території золовідвалів на хімічний склад та мінералізацію підземних вод встановлено за результатами режимних спостережень. Золовідвали є джерелами надходження у підземну гідросферу фтору, селену, берилію, радіоактивних речовин та деяких інших токсичних компонентів органічного походження. Літературні дані показують [13], що порівняно із підземними водами поверхневі води золовідвалів відзначаються різко підвищеним вмістом основних макрокомпонентів, загальною заліза та фтору, дещо підвищеною загальною мінералізацією.

Проведений аналіз літературних даних показав, що золошлакові відвали теплоелектростанцій є джерелом комплексного впливу на довкілля: порушення геологічного середовища, забруднення ґрунтів при фільтрації та аераційному перенесенні забруднюючих речовин з поверхні відвалу та потенційним джерелом забруднення природних вод. В зв'язку з цим виникає необхідність розробки заходів по зменшенню техногенного впливу на навколишнє середовище в місцях складування золошлакових відходів.

Ціль роботи

Метою роботи є розробка заходів по зниженню впливу золошлакозакрипувача Сумської ТЕЦ на довкілля.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- дослідити фактори впливу золошлакозакрипувача Сумської ТЕЦ на підземні води;
- проаналізувати склад золошлакових відходів;

- розробити заходи по зменшенню впливу золошлакозакрипувача на підземні води.

Викладення основного матеріалу

ТОВ «Сумитеплоенерго», до складу якого входить Сумська ТЕЦ, є одним з найбільших забруднювачів повітря Сумської області. Викиди підприємства за 2016 р. становили 3,371 тис. тонн або 19,49 % від загального обсягу викидів по Сумській області [14], що негативно впливає на стан довкілля. Потужність виробництва електроенергії Сумською ТЕЦ в середньому становить 112988 тис. кВт/год., теплової енергії – 723250 Гкал. Як паливо на станції використовують вугілля та природний газ.

Золошлакозакрипувач Сумської ТЕЦ розташований на лівому низькому березі р. Псел. На цій ділянці покривля верхньокрейдових відкладів залягає на глибині 8-22 м від поверхні землі. Крейда перекривається четвертинними алювіальними піщано-глинистими відкладами заплавної і старичних фацій (піски від дрібних до пилюватих, супіски з малопотужними прошарками замулених, місцями заторфованих суглинків). Тріщинуваті мергельно-крейдові породи утворюють з четвертинними осадами єдиний безнапірний водоносний комплекс з рівнями залягання підземних вод 2,5-7 м від поверхні землі. Безпосередньо на майданчику золовідвалу, розріз доповнюється техногенними насипними утвореннями - золошлаковою сумішшю і ґрунтами, що складають обвалування. Рух підземних вод на цій ділянці спрямований за рельєфом на південь у бік русла р. Псел з градієнтом потоку близько 0,007.

Золовідвал представляє собою двохсекційний відстійник ємністю 195 тис. м³ з розмірами секцій у плані 150x178 м кожна, загальною площею 5,3 га. Секції золошлакові відвалу розділені дамбою. Весь золошлакозакрипувач огорожений дамбою, яка має висоту 5,5 м та ширину по гребню 3 м. Відкоси дамби закріплені посівами трав на шарі рослинного ґрунту. Для попередження розмиву низу дамб в період проходження паводка виконано мощення з каменю по шару щебеню.

Після очищення відхідних газів золошлакова суміш шляхом гідротранспортування надходить у золошлакозакрипувач, який на сьогодні вже практично заповнений [14]. Золошлаки в чаші золошлакові відвалу мають наступні фізико-механічні характеристики: насипна щільність 1350 кг/м³, коефіцієнт фільтрації – 3,5 м/добу. За даними авторів роботи [15] в золі та шлаках Сумської ТЕЦ міститься значна кількість важких металів (табл. 1). Під час контакту золошлакової суміші з атмосферними опадами вони здатні вилугуватися, переходити у розчинні форми і забруднювати ґрунти та підземні води. Радіоактивність золошлаків – 18 мР/год.

Таблиця 1 – Середній вміст важких металів у шлаках та золі Сумської ТЕЦ, мг/кг [11]

№ з/п	Тип зразка	Mn	Ni	Co	V	Cr
1	Шлаки	1000	200	40	500	400
2	Зола	1000	200	20	400	350

№ з/п	Тип зразка	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn
1	Шлаки	4	300	200	80	8
2	Зола	2	200	300	300	8

Розташування золошлакозаспопелювача Сумської ТЕЦ в безпосередній близькості від р. Псел ставить задачу контролю стану вод. З цією метою обладнана мережа пунктів спостережень за станом об'єктів гідросфери. У районі золошлаковідвалу обстежується п'ять спостережних свердловин [16].

Результати досліджень підземних вод першого від поверхні четвертинно-верхньокрейдового водоносного комплексу на ділянці золошлакозаспопелювача в 2017 році вказують на наявність трансформації їх хімічного складу навколо нього за рахунок фільтрації вод із золовідвалу [17]. Ознаками цього є підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлоридів, сульфатів, натрію, заліза.

Оцінка захищеності підземних вод в районі золошлакозаспопелювача Сумської ТЕЦ проводилась в балах (за Гольдбергом В.М.) [18]. Внаслідок слабкої вивченості фільтраційних властивостей порід зони аерації реальна якісна оцінка захищеності проводилась за трьома показниками: глибині рівня ґрунтових вод, потужності слабо проникних порід в розрізі зони аерації та коефіцієнту фільтрації цих порід. Відповідно до розрахунків для майданчика золошлакозаспопелювача категорія захищеності підземних вод II, тобто підземні води незахищені.

Недостатня захищеність підземних вод та розташування золошлакозаспопелювача Сумської ТЕЦ біля

р. Псел ставить задачу проведення заходів по попередженню потрапляння забруднюючих речовин в підземні води.

Для запобігання забруднення підземних і поверхневих вод в місцях складування відходів використовують методи, засновані на створенні техногенних геохімічних бар'єрів з матеріалів, які мають високі протифільтраційні показники та здатність до переведення забруднюючих компонентів у малорухомі форми. При цьому можливе використання природних матеріалів. З метою вибору матеріалу для протифільтраційного екрану досліджувались природні глини Сумської області, які крім низького коефіцієнта фільтрації мають високі сорбційні властивості до важких металів [19]. Вивчались два сорти глинистих матеріалів, що найбільш відрізнялися як по хімічному так і по мінералогічному складу. Перший - глина (Сумський район) з

показниками хімічного складу (%): SiO₂ –63,22; Al₂O₃ – 18,24; Fe₂O₃- 7,0; CaO, MgO- 2,67; з.п.п.- 7,65. Другий - глина (Путивльський район Сумської області) з показниками хімічного складу (%):SiO₂ – 52,65; Al₂O₃ – 38,24; Fe₂O₃- 3,27; CaO – 2,02; MgO- 2,08; з.п.п.- 2,7.

З метою визначення фазового складу досліджуваних зразків проводили рентгенофазовий аналіз на рентгенівському дифрактометрі ДРОН – 1-УМ в кобальтово Ка – випромінюванні із швидкістю 1 град / хв. Дифрактограми вказаних зразків наведені на рис.2.

З метою створення протифільтраційного екрану необхідно було встановити не тільки адсорбційну здатність глин, але і визначити ступінь входження іонів важких металів в структуру глинистих мінералів.

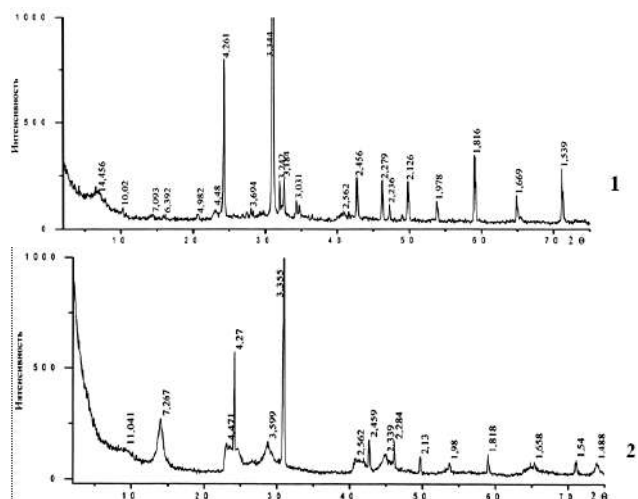


Рисунок 1 - Дифрактограми природних глинистих мінералів 1 – глина Сумського району; 2 – глина Путивльського району Сумської області

Дифрактограми свідчать, що зразок №1 містить смектитові мінерали (серія рефлексів (d/n 14,983; 14,662; 14,456;4,982; 4,48; 4,471), вміст яких ≈12%. Зразок №2 характеризується вмістом мінералу каолініту (d/n 7,319; 7,267; 7,093; 4,471; 3,599; 2,562; 2,339; 1,981,658; 1,54; 1,488), вміст якого ≈40%. Крім зазначених мінералів, в глинах у великій кількості зустрічаються α-кварц (до 50-70%)(серія рефлексів d/n 4.261; 3,349;2,456;2,281;2,286;2,128;1,978; 1,816; 1,671; 1,657;1,599;1,54;), гідролуди, польові шпати (до 10%), доломіт, кальцит, змішано-шарові силікати (до 5%).

Для дослідження здатності глин до фіксації іонів важких металів використовували адсорбенти після контакту їх з модельними розчинами, які містили іони важких металів. Використаний адсорбент висушували в сушильній шафі при температурі +100°C на протязі 1 год. Наважку висушеного адсорбенту змішували з дистильованою водою із розрахунку Т:Р~1:20. Отриману суспензію

перемішували протягом 30 хв. По закінченню процесів десорбції розчин фільтрували крізь паперовий фільтр. Фільтрат аналізували на вміст важких металів. Результати показали повну відсутність іонів важких металів в фільтраті, що свідчить про входження їх іонів в структуру глинистих мінералів.

Обговорення результатів

За результатами досліджень встановлено, що золошлаконакопичувач Сумської ТЕЦ практично заповнений золошлаковими відходами. Зола та шлак, які знаходяться в золошлаконакопичувачі, містять цілий ряд важких металів. Під час контакту золошлакової суміші з атмосферними опадами вони здатні вилугуватися, переходити у розчинні форми і забруднювати ґрунти та підземні води. Розрахунок захищеності підземних вод за Гольдбергом показав низьку захищеність підземних вод. Розташування золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ в безпосередній близькості від р. Псел та недостатня захищеність підземних вод призводить до міграції забруднюючих речовин вниз по ґрунтовому профілю. Результати моніторингових досліджень підземних вод першого від поверхні водоносного комплексу на ділянці золошлаконакопичувача вказують на зміну їх хімічного складу навколо нього за рахунок фільтрації вод із золівідвалу. Ознаками цього є підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлоридів, сульфатів, натрію, заліза.

Для запобігання забрудненню підземних і поверхневих вод запропоновано створення техногенного геохімічного бар'єру. З метою вибору матеріалу для екрану досліджувались природні глини Сумської області, які крім низького коефіцієнта фільтрації мають високі сорбційні властивості до важких металів.

Встановлена присутність в глинистих матеріалах Сумського району смектитових мінералів - монтморилоніту, бентоніту, які забезпечують високу здатність до процесів сорбції. Основу смектитів складає мінерал монтморилоніт, який має будову шаруватих силікатів з розсувною структурною коміркою в кристалічній решітці. Саме така будова забезпечує адсорбційні якості мінералів (зразок 1). У той же час, до складу іншої місцевої глини (зразок 2), в значній мірі входять шаруваті силікати з жорсткою кристалічною структурою, до якої належить каолініт. Для таких структур характерна тільки зовнішня адсорбуюча поверхня. Таким чином, глина Сумського району (зразок №1) має вищі сорбційні властивості та може більш ефективно поглинати іони важких металів, ніж глина Путивльського району (зразок №2).

З метою визначення ступеню входження іонів важких металів в структуру глинистих мінералів були проведені дослідження десорбції іонів важких металів із забруднених глинистих матеріалів. Вони показали,

що важкі метали вбудовуються в структуру глини та не вимиваються з них опадами.

Таким чином, здатність місцевих глини поглинати і утримувати іони важких металів дозволяє рекомендувати глини Сумського району для створення протифільтраційного екрану золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ. Для ефективної захисної дії екрана товщина шару глини повинна бути не менше 0,5 м.

Висновки

Проведені дослідження стану підземних вод першого від поверхні четвертинно-верхньокрейдового водоносного комплексу на ділянці золошлаконакопичувача вказують на наявність трансформації їх хімічного складу навколо нього за рахунок фільтрації вод із золівідвалу. Ознаками цього є підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлоридів, сульфатів, натрію, заліза. Дані про якість підземних вод підтверджуються оцінкою захищеності підземних вод, які за шкалою Гольберга відносяться до незахищених. Проведені дослідження показали необхідність проведення заходів по попередженню фільтрації забруднюючих речовин з тіла золошлаковідвалу.

З метою попередження потрапляння забруднюючих речовин в підземні води запропоновано створення протифільтраційного екрану з глинистих матеріалів. Дослідження глини Сумської області дозволило вибрати в якості матеріалу для екрану глину Сумського району, яка містить смектитові мінерали.

Список літератури

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» від 15 березня 2006 р., № 145-р.
2. **Прибилова, В. М.** Особливості накопичення забруднювачів в зоні впливу Змієвської ТЕС / **В. М. Прибилова, В. О. Жемерова, І. К. Решетов** // *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна: Геологія-географія-екологія* – 2010. – № 882. – С. 62.
3. **Dragović, S.** Heavy metals in soils: distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources / **S. Dragović, N. Mihailović, B. Gajić** // *Chemosphere* – 2008. – V. 74 – P. 491–495.
4. **Kodom, K.** Heavy Metal Pollution in Soils from Anthropogenic Activities / **K. Kodom**. – LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2011 – P. 120.
5. **Singh, R. K.** The leaching characteristics of trace elements in coal fly ash and an ash disposal system of thermal power plants / **R. K. Singh, N. C. Gupta, B. K. Guha** // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental*. – 2012. – 34. – P.602–608.
6. **Kanmani, S.** Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site / **S. Kanmani, R. Gandhimathi** // *Applied Water Science*. – 2013. – 3. – P. 193–205.

7. **Нечасва, Т. П.** Фактори екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля / **Т. П. Нечасва, С. В. Шульженко, Д. П. Сас, М. В. Прасюк.** // *Проблеми загальної енергетики.* – 2008. – №18. – С. 54–60.
8. **Gang, Xu.** Comprehensive evaluation of coal-fired power plants based on grey relational analysis and analytic hierarchy process / **Xu Gang, Yang Yong-ping, Lu Shi-yuan, Li Le, Song Xiaona** // *Energy Policy.* – 2011. – 39. – P. 2343–2351. – doi: 10.1016/j.enpol.2011.01.054.
9. **Xiaoyu, Liu.** Best available techniques and pollution control: a case study on China's thermal power industry / **Xiaoyu Liu, Zongguo Wen** // *Journal of Cleaner Production.* – 2012. – 23. – P. 113–121. – doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.027.
10. **Ковальчук, О. П.** Моніторинг вмісту важких металів у ґрунтах територій, прилеглих до Добровірської ТЕЦ / **О. П. Ковальчук, В. В. Снітинський, Р. С. Шкумбатюк** // *Науковий вісник НЛТУ України.* – 2017. – т. 27, № 4. – С. 87–90.
11. **Черенцова, А. А.** Оценка влияния золоотвала Хабаровской ТЭЦ-3 на компоненты окружающей среды / **А. А. Черенцова** // *Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ».* – 2012. – том 3. – №1. – С. 29–42.
12. **Жабо, В. В.** Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС / **В. В. Жабо** – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
13. **Янчев, В. К.** Оценка степени загрязнения природных вод вблизи крупных теплоэнергетических комплексов / **В. К. Янчев, С. П. Сулейманов** // *Водные ресурсы* – 1992. – №1. – С. 162–165.
14. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Сумській області у 2016 році [Електронний ресурс]. URL: <http://www.menr.gov.ua/dopovidi/regionalni/5560-rehionalni-dopovidi-pro-stand-navkolyshnoho-prirodnoho-seredovyschcha-u-2016-rotsi>
15. **Войтюк, Ю. Ю.** Закономірності розподілу важких металів в об'єктах навколишнього середовища м. Суми / **Ю. Ю. Войтюк, І. В. Кураєва, Г. А. Кроїк, О. В. Мацібора, О. В. Матвієнко** // *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія, географія* – 2016. – №22(2). – С. 18–23. – doi: 10.15421/111627.
16. **Пляцук, Л. Д.** Моніторинг підземних вод в районі розміщення Сумської ТЕЦ / **Л. Д. Пляцук, Г. М. М'якаєва, О. В. М'якаєв** // *Екологічна безпека: Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу.* – 2016. – № 2 (22). – С. 29–34.
17. Моніторинг стану підземних вод на території діяльності ТОВ «Сумитеплоенерго»: заключний звіт з НДР, ТОВ «СВНЦ Інтеллект-сервіс». – Харків. – 2017. – 32 с.
18. **Гольдберг, В. М.** Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / **В. М. Гольдберг, С. Газди.** М. недра. – 1984. – 266 с.
19. **Большанина, С. Б.** Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами / **С. Б. Большанина, Г. М. Гурець, Д. С. Балабуха, Д. В. Міляєва** // *Екологічна безпека.* – 2014. – №1(17). – С. 114–118.
- the zone of influence of the Zmevskaya TPP]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V.N. Karazina: Heolohiia-heohrafiia-ekolohii.* 2010, **882**, 62.
3. **Dragović, S., Mihailović, N, Gajić, B.** Heavy metals in soils: distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere*, **2008**, 74, 491–495.
4. **Kodom, K.** Heavy Metal Pollution in Soils from Anthropogenic Activities. Lap Lambert Academic Publishing, 2011, 120.
5. **Singh, R. K., Gupta, N. C.; Guha, B. K.** The leaching characteristics of trace elements in coal fly ash and an ash disposal system of thermal power plants. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental*, 2012, **34**, 602–608.
6. **Kanmani, S., Gandhimathi, R.** Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science*, 2013, **3**, 193–205
7. **Nechaieva, T. P., Shulzhenko, S. V., Sas, D. P., Prasiuk, M. V.** Faktory ekolohichnoho vplyvu elektroenerhetychnykh ob'iektiv na dovkillia [Factors of environmental impact of electricity generation facilities]. *Problemy zahalnoi enerhetyky*, 2008, **18**, 54–60.
8. **Gang, Xu, Yong-ping, Yang, Shi-yuan, Lu, Le, Li, Xiaona, Song.** Comprehensive evaluation of coal-fired power plants based on grey relational analysis and analytic hierarchy process. *Energy Policy*, 2011, **39**, 2343–2351, doi: 10.1016/j.enpol.2011.01.054.
9. **Xiaoyu, Liu, Zongguo, Wen.** Best available techniques and pollution control: a case study on China's thermal power industry. *Journal of Cleaner Production*, 2012, **23**, 113–121, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.027.
10. **Kovalchuk, O. P., Snitinskiy, V. V., Shkumbatyuk, R. S.** Monitoring vmistu vazhkykh metalliv u Gruntah teritoriy, prileglyh do Dobrovirskoyi TETs [Monitoring of the content of heavy metals in the soil of the territories adjacent to Dobrovirskaya CHPP] *Naukoviy vIsnik NLTU Ukrayini*, 2017, **4(27)**, 87–90.
11. **Cherentsova, A. A.** Otsenka vliyaniya zolootvala Habarovskoy TETs-3 na komponentyi okruzhayushey sredy [Assessment of the influence of the ash dump of Khabarovsk CHPP-3 on the components of the environment]. *Elektronnoe nauchnoe izdanie «Uchenyie zametki TOGU»*, 2012, **1(3)**, 29–42.
12. **Zhabo, V. V.** Ohrana okruzhayushey sredy na TES i AES [Environmental protection at the TPP and the AU]. – М.: Energoatomizdat, 1992, 240.
13. **Yanchev, V. K., Suleymanov, S. P.** Otsenka stepeni zagryazneniya prirodnih vod vblizi krupnyih teploenergeticheskikh kompleksov [Assessment of the pollution degree of natural waters close to large thermal power complexes]. *Vodnyie resursy*, 1992, **1**, 162–165.
14. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyschcha v Ukraini v 2016 rotsi. [National report on the state of the environment of Ukraine in 2015]. Available at: <http://www.menr.gov.ua/dopovidi/regionalni/5560-rehionalni-dopovidi-pro-stand-navkolyshnoho-prirodnoho-seredovyschcha-u-2016-rotsi>
15. **Voitiuk, Iu. Iu., Kuraieva, I. V., Manichev, V. I., Filatov, V. F.** Zakonomirnosti rozpodilu vazhkykh metalliv u gruntakh zony vplyvu DMK im. F.E. Dzerzhynskoho [Patterns of heavy metals distribution in soils in the zone of influence of DMK them. F.E. Dzerzhinsky]. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 2013, **13(2)**, 103–117.
16. **Plyatsuk, L. D., Miakaieva, H. M., Miakaiev, O. V.** Monitorynh pidzemnykh vod v raioni rozmishchennia

Bibliography (transliterated)

1. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku» vid 15 berezhnia 2006 r. № 145–r.
2. **Prybylova, V. M., Zhemerova, V. O., Reshetov, I. K.** Osoblyvosti nakopychennia zabrudniuvachiv v zoni vplyvu Zmiiievskoi TES [Features of accumulation of pollutants in

- Sumskoi TETs [Monitoring of groundwater in the area of the Sumy TPP]. *Ekolohichna bezpeka, Kremenchuk*, 2016, 2(22), 29–34.
17. Monitorynh stanu pidzemnykh vod na terytorii diialnosti TOV «Sumyteploenerho»: zakliuchnyi zvit z NDR, TOV «SVNTs Intel'ekt–servis», Kharkiv, 2017, 32.
18. **Goldberg, V. M., Gazdi, S.** Hidrogeologicheskie osnovy ohranyi podzemnykh vod ot zagryazneniya [Hydrogeological basis of groundwater protection from pollution]. M. Nedra, 1984, 266.
19. **Bolshanina, S. B., Hurets, H. M., Balabukha, D. S., Miliieva, D. V.** Ochyschennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnytstv sorbtsiinymy metodamy [Purification of sewage of electroplating plants by sorption methods]. *Ekolohichna bezpeka*, 2014, 1(17), 114 – 118.

Сведения об авторах (About authors)

Пляцук Леонід Дмитрович - доктор технічних наук, професор; Сумський державний університет завідувач кафедри прикладної екології; м. Суми, Україна; E-mail: plyacuk@teko.sumy.ua, info@ecolog.sumdu.edu.ua.

Leonid Plyatsuk - Doctor of Technical Sciences, Professor; Sumy State University, Head of the Department of applied ecology; Sumy, Ukraine; E-mail: plyacuk@teko.sumy.ua, info@ecolog.sumdu.edu.ua.

М'якаєва Ганна Миколаївна – аспірантка кафедри прикладної екології Сумського державного університету, м. Суми, Україна; E-mail: hannamiakaieva@gmail.com.

Hanna Miakaieva - postgraduate student, department of applied ecology, Sumy State University, Sumy, Ukraine; E-mail: hannamiakaieva@gmail.com.

М'якаєва Олександр Володимирович – аспірант кафедри прикладної екології Сумського державного університету, м. Суми, Україна; E-mail: myakayev@yahoo.com.

Oleksandr Miakaieva - postgraduate student, department of applied ecology, Sumy State University, Sumy, Ukraine; E-mail: myakayev@yahoo.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Пляцук, Л. Д. Зниження впливу золошлакоотвалу Сумської ТЕЦ на гідросферу / **Л. Д. Пляцук, Г. М. М'якаєва, О. В. М'якаєв** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 230-235. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.33.

Please cite this article as:

Plyatsuk, L., Miakaieva, H., Miakaieva, O. Reduction of the influence of ash and slug dump of Sumy TPP on the hydrosphere. *Bulletin of NTU KhPI. Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 230-235, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.33.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пляцук, Л. Д. Снижение влияния золошлакоотвала Сумской ТЭЦ на гидросферу / **Л. Д. Пляцук, А. Н. Мякаева, О. В. Мякаев** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 230-235. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.33.

АННОТАЦИЯ По результатам исследования влияния золошлакоотвала Сумской ТЭЦ на подземные воды установлено изменение химического состава за счет фильтрации вод. Признаками этого является повышенное содержание в воде с наблюдательных скважин хлоридов, сульфатов, натрия, железа. Для предотвращения загрязнения подземных и поверхностных вод предложено создание техногенного геохимического барьера. С целью выбора материала для экрана исследовались природные глины Сумской области. Проведенные исследования показали, что ионы тяжелых металлов входят в структуру глин, но не вымываются из них осадками, что позволяет рекомендовать глины Сумского района для создания противofильтрационного экрана золошлакоотвалу Сумской ТЭЦ.

Ключевые слова: тепловая электростанция; золоотвал; тяжелые металлы; миграция; экран; глина.

Надійшла (received) 10.03.2018

УДК 502/504

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.34

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ, РОЗТАШОВАНИХ ПОБЛИЗУ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ

I. О. РАБОШ^{*1}, О. В. КОФАНОВА², А. В. ПІДГОРНИЙ³

^{*1,2} кафедра інженерної екології, Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, УКРАЇНА

³ кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, УКРАЇНА

^{*1}email: 2519@i.ua

АННОТАЦІЯ Актуальність роботи визначається збільшенням техногенного навантаження на навколишнє середовище внаслідок зростання потоків автотранспортних засобів на автомагістралях міста, що призводить до забруднення міських територій, посилення рівня небезпеки здоров'ю населення й природним екосистемам. У роботі проаналізовано вплив автотранспортного комплексу на навколишнє природне середовище, досліджено хімічний склад снігового покриву територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей. Виявлено стійкий високий ступінь забруднення за рівнем кислотності (рН) та вмістом зважених часток (РМ). Проаналізовано добове навантаження досліджуваних територій за РМ, визначено вміст катіонів і аніонів у сніговому покриві та основні гідрохімічні показники відібраних зразків. Зроблено висновок щодо необхідності застосування комплексного екологічного аналізу ґрунтів та методів біоіндикації для подальших оцінок рівня забруднення територій.

Ключові слова: екологічна безпека; автотранспортний комплекс; рівень забруднення; хімічний моніторинг; сніговий покрив; навантаження зваженими частками.

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATE OF FILLING STATIONS TERRITORIES LOCATED NEAR MOTORWAYS

I. RABOSH¹, O. KOFANOVA², A. PIDGORNYI³

^{*1,2} Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

³ Department of General and Inorganic Chemistry, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The ecological crisis is one of the most serious and dangerous problems of the contemporary world and society. Anthropogenic activity leads to the widespread pollution of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere, which, in turn, leads to the serious consequences for humanity. The importance of the conducted study is determined by the increased technogenic load on the environment because of the growth of numbers of vehicles on the city highways, which leads to urban areas pollution and increased risks to public health and natural ecosystems. The purpose of the scientific research is to analyze the impact of the motor transport complex on the environment and determine the state of the snow cover of the filling stations territories located near highways in order to assess the pollution degree. The following research methods have been used for experiments: field observations, titration, gravimetric, photometric, pH-metric and statistical methods of analysis.

In the study chemical composition of the snow cover of the anthropogenically influenced territories was investigated; a stable and high degree of pollution was detected by the level of acidity (pH) and the content of particulate matter (PM). The daily load of the studied territories by PM was analyzed, the content of cations and anions in the snow cover and the basic hydrochemical parameters of selected samples were determined. The conclusion was made on the necessity of using a complex ecological analysis of soils and methods of bioindication for further assessment of the levels of territories pollution. The conducted research can be used for development of the measures for increasing the sustainability of the investigated territories.

Keywords: environmental safety; motor transport complex; pollution level; chemical monitoring; snow cover; load by particulate matter.

Вступ

Постійне зростання потоків автотранспортних засобів (АТЗ) на автомагістралях міста збільшує техногенне навантаження на навколишнє середовище і підвищує забруднення міських територій, небезпеку здоров'ю населення та природним екосистемам. Ця проблема найбільш суттєво проявляється у великих промислових регіонах, до яких відноситься й м. Київ. Ситуація погіршується збільшенням кількості приватних АТЗ, числа автозаправних станцій (АЗС),

автомійних комплексів, автостоянок, сервісів автообслуговування, розташованих усередині міських кварталів та житлових масивів. У зв'язку з цим у Стратегії національної екологічної політики України на період до 2020 р. [1] для забезпечення сталого, еколого-орієнтованого розвитку транспортного сектору прийнято низку завдань щодо підвищення екологічної безпеки країни. Основними з них є досягнення безпечного для здоров'я людини стану навколишнього середовища, впровадження екологічних видів транспорту, зменшення рівня

забруднення від автотранспортного комплексу (АТК) та оптимізація дорожнього руху на територіях великих міст. Таким чином, дослідження рівня забруднення антропогенно-порушених АТК територій міста є необхідним і важливим завданням.

Актуальність проблеми

Наймасовішим видом обслуговування автомобільного транспорту є АЗС загального користування. Комплексну оцінку їх впливу на навколишнє середовище доволі важко здійснити. Проте саме з цими об'єктами пов'язане надходження шкідливих речовин (ШР) у повітря, ґрунт та підземні води, а також небезпека для працівників АЗС і жителів прилеглих територій [2]. Теперішня мережа АЗС в Україні складає майже 9000 станцій. Найбільш потужною є мережа АЗС «Укрнафта» – близько 1600 станцій, в яку входять бренди ANP, Авиас, Сентоза, Мавекс та інші [3]. Тільки у Києві налічується понад 400 АЗС, кожна з яких є джерелом викидів шкідливих речовин (рис. 1) [4].

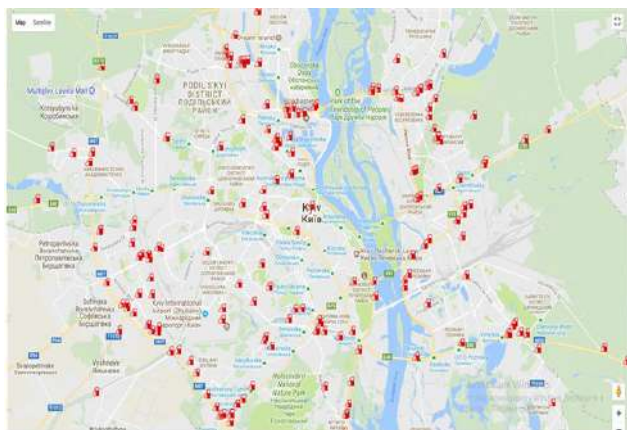


Рис. 1 – Карта розміщення АЗС у м. Києві

Зокрема, екологічну небезпеку становлять викиди летучих фракцій від автозаправних колонок і паливних резервуарів (сірководень, бензол, ксилол, толуол та етилбензол) [5]. Не менш важливою є проблема утворення забруднених зливових стоків на території АЗС і автомийних комплексів. Основними ШР, що викидаються при русі автотранспортних засобів є діоксид азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, а також бенз(а)пірен, сполуки важких металів, (особливо небезпечними є їх розчинні форми), органічні продукти неповного згоряння компонентів палива тощо. Через взаємодію дороги і коліс АТЗ на придорожній території потрапляють великі кількості твердих часток (РМ). Стирання колодок, дисків зчеплення, зносу гуми та поверхні доріг супроводжується виділенням дрібних частинок гуми і металів, а також крупинок асфальту. Зважені частки залишаються у повітрі та осідають на прилеглі до автомагістралей території [6–10]. Отже, дослідження екологічного стану територій, прилеглих до об'єктів АТК і придорожньої зони автомагістралей, є вкрай важливим завданням.

Постановка проблеми і аналіз попередніх досліджень

Значний внесок у теорію та практику наукових досліджень щодо оцінки впливу АТК на стан навколишнього середовища внесли такі вчені, як М. Д. Гольдфейн, і Н. В. Кожевников [11], М. А. Васильєва та С. Н. Дубцов [12], Л. М. Черняк [13], О. Є. Кофанов, Ю. Р. Холковський [14] та інші науковці. Авторами розроблено різні підходи до оцінки екологічного стану придорожніх територій автомагістралей, у тому числі й територій АЗС. Встановлено, що концентрація ШР на прилеглих до АТК територіях згубно позначається на стані всіх учасників дорожнього руху і, у першу чергу, на здоров'ї населення, яке проживає поблизу проїжджої частини. Ще більше ускладнює ситуацію те, що речовини, які виділяються з відпрацьованими газами (ВГ) АТЗ, в основному поширюються на рівні дихання людини, а через щільну забудову житлових районів провітрювання цієї зони сильно ускладнено.

У результаті проведених досліджень відзначається тісна залежність багатьох захворювань від вмісту в атмосферному повітрі дорожнього пилу [15]. За оцінками фахівців, для автодороги категорії II, де інтенсивність транспортного потоку більше 2000 авт./год, обсяги утворення мінерального пилу становлять 9–14 кг/(год·км) [16]. Отже, ефективним напрямком оцінки стану забруднення є моніторинг снігового покриву антропогенно навантажених територій, оскільки геохімічні аномалії у снігу відображають еколого-геохімічний стан атмосфери, контури антропогенного забруднення та дають змогу робити прогнози щодо динаміки процесу.

Мета роботи та методи досліджень

Метою роботи є визначення стану снігового покриву територій АЗС, розташованих поблизу автомагістралей, для оцінки ступеня їх забруднення. Для реалізації поставленої мети поставлено такі завдання:

- визначити кислотність досліджуваних проб снігу;
- виконати якісні реакції для виявлення наявності певних видів іонів у сніговому покриві;
- визначити масу сухого залишку та розрахувати навантаження РМ досліджуваних територій;
- визначити гідрохімічні показники проб снігу (колірність, каламутність тощо).

При проведенні експериментів використовувались такі методи досліджень, як польові спостереження, титриметричний, гравіметричний, потенціометричний та фотометричний аналізи.

Викладення основного матеріалу

Проби снігу відбирались навколо АЗС Amic Energy (просп. Перемоги, 38, м. Київ) та з обох сторін автомагістралі. Пробовідбір проводили згідно ГОСТ 17.1.5.05-85 протягом 2-х діб на початку періоду

сніготанення (наприкінці січня). Кількість проб відповідала відтворенню статистичної достовірності досліджень у відповідності з [17]. Танення зразків снігу здійснювалося при температурі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Перші 3 зразки відбиралися у трьох напрямках від АЗС: північному, східному та західному. Ще по 3 проби відібрано з південної та північної сторони автомагістралі. На рис. 2 наведена карта ділянки з розташуванням місць відбору проб.



Рис. 2 – Карта експериментальної ділянки з точками відбору проб

Паралельно для отримання даних щодо інтенсивності руху транспортного потоку (ТП) на досліджуваній ділянці автомагістралі за допомогою відеозйомки проведено натурні обстеження. Підраховано, що в години пік (17 00–18 00) кількість АТЗ дорівнює 9120 авт./год. в обох напрямках руху.

Для визначення рівня кислотності досліджуваних проб використовували серію універсальних індикаторів. Значення рН вимірювали відразу ж після відбору проб. Результати досліджень наведено на рис. 3. Відомо, що на величину рН впливають гідроксиди, кислоти, а також схильні до гідролізу карбонати і гідрогенкарбонати, гумінові речовини тощо [17]. Як наслідок, у пробах води відбуваються хімічні та біологічні перетворення, а також втрачаються вуглекислоти.

Визначення у пробах снігу вмісту певних видів іонів проводили за якісними реакціями [18]. Зокрема, для виявлення вмісту катіонів важких металів (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+}) проводили реакції з розчином натрій сульфідів та спостерігали за утворенням осадів. При цьому позитивною була лише реакція на катіони цинку: $\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{ZnS} \downarrow$. Утворення інших осадів, зокрема, чорного кольору сульфідів Плюмбуму, Купрум та Меркурію та жовтого осадку сульфідів Кадмію не спостерігалося. Спроба визначити катіони Fe^{3+} за реагентом калій роданіду також не дала позитивного результату.

Вміст катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} був виявлений у досліджуваних зразках при додаванні оксалату $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$: спостерігалося утворення білого осадку $\text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$, нерозчинного в ацетатній кислоті CH_3COOH :

$\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$. При додаванні K_2CO_3 до розчину при нагріванні спостерігали утворення білого осадку $\text{MgCO}_3 \downarrow$, $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow$ за реакцією:
 $3\text{Mg}^{2+} + 5\text{CO}_3^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{Mg}(\text{OH})_2 + 4\text{HCO}_3^-$.

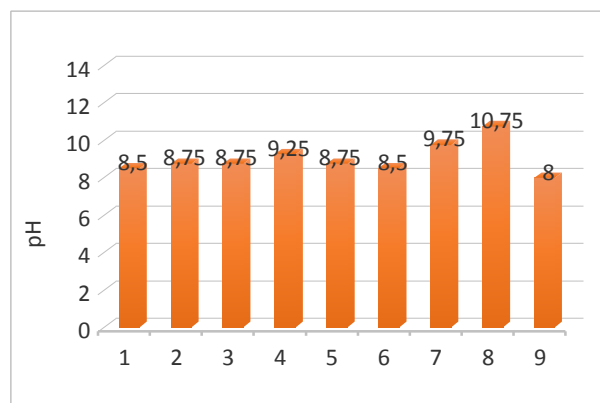


Рис. 3 – Величини рН досліджуваних проб снігу

Якісна реакція виявлення хлорид-іонів була проведена з використанням реагенту аргентум нітрату AgNO_3 у присутності нітратної кислоти. За реакцією осадження хлоридів: $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$ спостерігалося утворення білого осадку аргентум хлориду. При визначенні аніонів SO_4^{2-} була застосована реакція осадження їх розчином барій хлориду в кислому середовищі: $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow$, спостерігалося утворення білого дрібнокристалічного осадку.

Виявлення катіонів NH_4^+ не показало позитивного результату, оскільки нагрівання проб з розчином NaOH не супроводжувалося виділенням NH_3 (спостерігалося нейтральне середовище пари над розчином за універсальним індикаторним папером та відсутність специфічного різкого запаху).

Отже, якісний аналіз показав, що у всіх 9 досліджуваних пробах виявлено катіони Кальцію та Магнію, а також у незначній кількості катіони Цинку (в пробах 1–5, 7 та 8 – не більше 0,01 мг/л). Вміст в сніговому покриві Цинку може бути наслідком стирання гальмівних колодок та зношення автопокришок. У всіх зразках не виявлено катіони важких металів (не детектуються у межах чутливості методу – 0,002 мг/л) [14]. Це є дуже позитивним, оскільки важкі метали в умовах танення снігу не трансформуються, а лише перерозподіляються у компоненти екосистеми – ґрунти та завислі речовини [19]. У всіх пробах снігу виявлені аніони сульфату, хлориду (в найбільшій кількості), гідроксиди та гідросульфати.

Визначення маси сухого залишку (пил, сажа, нерозчинні солі) виконували гравіметричним методом. З кожної проби відбирали по 100 мл розчину та випарювали впродовж 2 год у сушильній шафі. Після чого розчини переносилися в тиглі (маса сухого тигля була попередньо визначена) для подальшого висушування у шафі до постійної маси. За масою сухого залишку розраховували

навантаження мінеральними домішками за формулами [18]:

$$P_s = m / S, \quad (1)$$

де m – маса зважених часток, кг;
 S – проективна площа осадження снігом, км^2 .

$$P_s = m / S \cdot t, \quad (2)$$

t – час експозиції з початку снігоставу до відбору проби, діб.

Результати вимірювань та розрахунків навантаження снігового покриву зваженими частками на експериментальній ділянці наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Маса зважених часток та навантаження снігового покриву досліджуваних територій

№ проби	Маса РМ, г	Навантаження РМ, $\text{кг}/\text{км}^2$	Навантаження РМ, $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{доба})$
1	0,0982	98,00	8,17
2	0,0731	73,00	6,08
3	0,0333	33,00	2,75
4	0,0753	75,00	6,25
5	0,0450	45,00	3,75
6	0,0156	16,00	1,33
7	0,1022	102,00	8,50
8	0,1296	129,00	10,75
9	0,0190	19,00	1,58

Молярну концентрацію еквівалентів солей Кальцію і Магнію (Т) у пробах 1, 4, 8, що характеризують різні ступені забруднення, визначали титриметричним методом [20]. Розрахунок проводили за формулою:

$$T = (c_B \times V_B / V_B) * 1000, \quad (3)$$

де c_B – молярна концентрація еквіваленту Трилону Б у розчині (0,02 моль/л); V_B – середнє значення об'єму розчину Трилону Б, мл; V_B – об'єм води, взятий для титрування, мл.

Результати визначення наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати визначення молярної концентрації еквівалентів солей Кальцію і Магнію у досліджуваних пробах

№ проби	Молярна концентрація еквівалентів солей Кальцію і Магнію, $\text{ммоль}/\text{л-екв}$	ГДК _{с.д.}
1	0,040	7-10 $\text{ммоль}/\text{л-екв}$
4	0,060	
8	0,030	

Молярна концентрація еквівалентів солей Кальцію і Магнію (табл. 2) у пробах варіює від 0,030 до 0,060 $\text{ммоль}/\text{л-екв}$, не перевищуючи допустимі норми. Небезпеку становлять найменші надлишки розчинних солей Кальцію і Магнію (понад 0,2 % від маси сухого

залишку), що створюють підвищену концентрацію іонів у сніговому покриві. Наслідком є зниження родючості ґрунту, погіршення його екологічного стану та загроза рослинним екосистемам.

Кольоровість досліджуваних проб визначали фотометричним методом, який передбачає порівняння випробовуваних зразків з розчинами, що імітують природну кольоровість. Для побудови калібрувального графіка використовували шкалу кольоровості. Визначення каламутності проводили не пізніше ніж через 24 годин після відбору проби, порівнюючи випробувані проби зі стандартними суспензіями каоліну і формазину [21]. Результати досліджень наведено в табл.3.

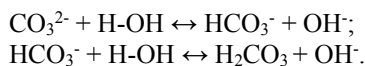
Таблиця 3 – Результати визначення кольоровості та каламутності досліджуваних проб снігу

№ проби	Основні гідрохімічні показники	
	Кольоровість	Каламутність
1	23,5	9,0
2	25,0	8,5
3	23,0	10,0
4	32,0	9,0
5	21,0	8,0
6	15,0	2,0
7	33,0	9,0
8	34,0	10,5
9	12,0	0,75

Кольоровість проб снігу варіює від 12,0 до 32,0 град. при середньому значенні 24 град., а каламутність змінюється від 0,75 до 10,5 при середньому значенні 7,42. Каламутність води зумовлена наявністю в ній тонкодисперсних нерозчинних і колоїдних домішок неорганічного та органічного походження. Підвищені значення кольоровості та каламутності досліджуваних зразків свідчать про високий вміст зважених часток неоднорідного характеру у сніговому покриві [22].

Обговорення результатів

З рис. 3 видно, що досліджувані проби снігу мають лужну реакцію середовища (рН змінюється від 8,0 до 10,75) при оптимальному діапазоні кислотності середовища для поверхневих вод 5,0–7,5 одиниць рН. Величини рН, близькі до нейтрального середовища, встановлені на ділянках, що найбільш віддалені від місць інтенсивного руху АТЗ. Отримані значення свідчать про наявність на цих територіях незначних кількостей схильних до гідролізу гідрокарбонатів Кальцію і Магнію. З наближенням до автотранспортної магістралі спостерігається підвищення лужності середовища, що вказує на наявність більшої кількості солей слабких кислот, гідроліз аніонів яких спричиняє збільшення концентрації гідроксид-іонів, наприклад:



У пробах, що відбиралися безпосередньо біля проїжджої частини автомагістралі та неподалік від перехрестя, спостерігаються максимальні значення рН середовища. На нашу думку джерелом забруднення снігу в цьому випадку є піщано-сольові суміші, що застосовуються як протижелезні засоби в зимовий період. Відповідно в цих пробах було визначено катіони Na^+ , концентрації яких співставні з концентраціями іонів Cl^- (значно перевищують кількості Mg^{2+} та Ca^{2+}). Як наслідок, більш рухливі катіони Натрію створюють більшою мірою сольове забруднення ґрунтів після танення снігу, ніж солі Кальцію і Магнію.

Таким чином, на певних експериментальних ділянках виявлено стійкий високий рівень забруднення снігового покриву, котрий може сильно вплинути на реакцію середовища ґрунту на весні.

Наявність у сніговому покриві досліджуваних територій РМ також, на нашу думку, обумовлено застосуванням протижелезних засобів та деякою мірою механічним виносом компонентів дорожнього покриття і твердих частинок (сажа, каучук тощо) зі складу автопокришок. Унаслідок надходження великої кількості пилу від автотранспортного потоку в навколишнє середовище також відбувається збільшення рівня рН середовища прилеглих територій, підвищення вмісту Кальцію, Магнію, гідрогенкарбонат-іонів тощо. При цьому утворюється карбонатний геохімічний бар'єр, на якому здатні осідати важкі метали. За отриманими результатами, при визначеній інтенсивності транспортного потоку обсяги пилового навантаження безпосередньо біля проїжджої частини становлять 6–11 $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{доба})$. Отримані значення зменшуються з віддаленістю від автомагістралі та вузлів автотранспортних потоків. Однак кількість РМ навіть у зразку, практично позбавленому техногенного навантаження, перевищує рівень ГДК_{с.д.} (0,75 $\text{мг}/\text{л}$) [22] приблизно у 20 разів.

Висновки

Таким чином, у роботі за результатами хімічного моніторингу досліджуваних територій встановлено, що основними причинами забруднення снігового покриву територій АЗС, розташованих поблизу автомагістралей, є застосування піщано-сольових сумішей у якості протижелезних засобів в зимовий період, котрі спричиняють сольове забруднення ґрунтів на весні. Стійкий високий рівень забруднення антропогенно порушених територій визначено і за показником рН середовища, і за вмістом зважених часток. Для уточнення фактичного екологічного стану антропогенно-порушених територій у подальшому планується використовувати методи біоіндикації і фізико-хімічного аналізу ґрунтів і ґрунтових витяжок. Оскільки у період сніготанення ШР, що знаходяться в снігу, мігрують у ґрунти,

поверхневі води, донні відклади тощо, вони можуть у подальшому спричинити різноманітні біологічні, фізіологічні, анатомічні та інші відхилення у розвитку екосистем. Комплексний аналіз дозволить при порівняно невисоких витратах отримати максимум інформації про джерела викидів та рівні забруднення територій, що зазнають значного впливу АТК.

Список літератури

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: Закон України від 21 грудня 2010 року N 2818-VI. URL: rada.gov.ua (дата звернення: 22.02.18).
2. Соколова, Е. В. Оценка факторов воздействия выбросов АЗС на воздушную среду их рабочей зоны и прилегающей территории / Е. В. Соколова // *Строительство и архитектура*. – 2011. – № 25 (44). – С. 392–397.
3. Кількість АЗС в Україні станом на 2017 р. [Електронний ресурс]: Державна фіскальна служба України. URL: <https://delo.ua/business/v-2017-godu-na-10-vyroslo-kolichestvo-azs-v-ukraine338904/> (дата звернення: 22.02.18).
4. Статистика АЗС в м. Києві [Електронний ресурс]: Державна фіскальна служба України. URL: <http://vsesto.com.ua/kyiv/azs/> (дата звернення: 22.02.18).
5. Івасенко, В. М. Оцінка впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище / В. М. Івасенко, Т. О. Винниченко // *Механіко-технологічні системи та комплекси*. – 2017. – № 16 (1238). – С. 123–131.
6. Влияние автомобильного транспорта на качество жизни горожан, проживающих на разной удаленности от автомобильных дорог / А. А. Деметьев А. А. Ляпкало, О. Е. Коновалов, А. М. Цурган // *Российский медико-биологический вестник им. Академика И. П. Павлова*. – 2016. – №3. – С. 67–73.
7. Fine particulate air pollution and daily mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities / R. Chen, P. Yin, X. Meng, C. Liu et al. // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. – 2017. – № 196 (1). – P. 73–81.
8. Hourly elemental concentrations in PM2.5 aerosols sampled simultaneously at urban background and road site during SAPUSS – diurnal variations and PMF receptor modelling / M. Dall'Osto, X. Querol, F. Amato, A. Karanasiou et al. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2013. – № 13 (8). – P. 4375–4392. – doi: 10.5194/acp-13-4375-2013.
9. Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley / C. D. Whiteman, S. W. Hoch, J. D. Horel, A. Charland // *Atmospheric Environment*. – 2014. – № 94. – P. 742–753.
10. Chemical speciation of PM2.5 and PM10 in South Phoenix, AZ / N. Upadhyay, A. Clements, M. Fraser, P. Herckes // *Journal of the Air and Waste Management Association*. – 2013. – № 61 (3). – doi:10.3155/1047-3289.61.3.302.
11. Гольдфейн, М. Д. Расчетный мониторинг распространения выбросов автомобильного транспорта в крупном промышленном городе [Електронний ресурс] / М. Д. Гольдфейн, Н. В. Кожевников, Н. И. Кожевникова // *Успехи современного естествознания*. – 2006. – № 4. – С. 35–36. URL: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=4168 (дата звернення: 23.01.18).
12. Оценка уровня концентрации аэрозольных частиц у автомобильной дороги и ЛЭП в сравнении с фоновыми

- показателями субмикронных частиц естественной атмосферы / **М. А. Васильева, С. Н. Дубцов, Н. В. Жохова, А. А. Палей и др.** // *Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова*. – 2016. – № 580. – С. 99–109.
- Черняк, Л. М.** Сучасні методи зменшення негативного впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище / **Л. М. Черняк, М. М. Радомська** // *Науковий технології*. – 2012. № 3. – С. 44–47.
 - Кофанов, А. Е.** Геоэкологические аспекты моделирования локального загрязнения приземного атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспортных средств / **А. Е. Кофанов, Ю. Р. Холковский** // *Горная механика и машиностроение*. – 2017. – № 4. – С. 20–33.
 - Ritchie, G. D.** A review of the neurotoxicity risk of selected hydrocarbon fuels / **G. D. Ritchie, K. R. Still** // *Toxicology and Environmental Health*. – 2001. – №4. – P. 223–312.
 - Robinson, H. K.** Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater / **H. K. Robinson, E. A. Hasenmueller, L. G. Chambers** // *Applied Geochemistry*. – 2017. – v: 83. – SI. – P. 72–85. – doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.01.018.
 - ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
 - Руководство по методам полевых и лабораторных исследований снежного покрова для изучения закономерностей длительного загрязнения местности в зоне действия антропогенных источников / **В. В. Ковкин, О. В. Шуваева, С. В. Морозов, В. Ф. Ранута**. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2012. – 74 с.
 - Исследования содержания тяжелых металлов в снеговом покрове г. Архангельска и оценка их влияния на здоровье населения / **Н. Б. Чагина, Е. А. Айвазова, Н. Л. Иванченко, Е. А. Варакин, Н. А. Соболев** // *Естествен. науки*. – 2016. – № 4. – С. 57–68. – doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.57.
 - Андрійко, О. О.** Хімія: Метод. вказівки до викон. лаборатор. практикуму для студ. техн. спец. бакалавр. циклу підготовки ден. форми навчання / **О. О. Андрійко, А. В. Підгорний, Н. А. Гуц.** – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 64 с.
 - Максимычев, А. В.** Физические методы исследования: учебно-методическое пособие / **А. В. Максимычев**. – М.: МФТИ, 2006. – 124 с.
 - Марин, Л. М.** Мониторинг загрязнения снежного покрова пылеаэрозолями в г. Тюмень / **Л. М. Марин, Т. В. Гарманова, Н. С. Ларин** // *Вестник тюменского гос. ун-та*. – 2012. – № 7. – С. 4.
 - Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 463088.
 - Kilkist AZS v Ukraini stanom na 2017 rik [The State Fiscal Service of Ukraine]. Available at: <https://delo.ua/business/v-2017-godu-na-10-vyroslo-koli-chestvo-azs-v-ukraine338904> (accessed 22 February 2018).
 - Statystyka AZS v m. Kyievi [The State Fiscal Service of Ukraine]. Available at: <http://vse-sto.com.ua/kyiv/azs/> (accessed 22 February 2018).
 - Ivasenko, V. M., Vynnychenko, T. O.** Otsinka vplyvu avtozapravnykh stantsii na navkolyshnie seredovyshe [Assessment of the impact of gas stations on the environment]. *Mekhaniko-tekhnologichni systemy ta kompleksy [Mechanic-technological systems and complexes]*, 2017, **16**(1238), 123–131.
 - Dement'ev, A. A., Lyapkalo, A. A., Kononov, O. E., Tsurgan, A. M.** Vliyaniye avtomobilnogo transporta na kachestvo zhizni gorozhan, prozhivayushchikh na raznoy udalennosti ot avtomobilnykh dorog [Influence of motor transport on the life quality of citizens living at different]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. Akademika I.P. Pavlova [Russian Medical and Biological Herald. Academician IP Pavlov]*, 2016, **3**, 67-73.
 - Chen, R., Yin, P., Meng, X., Liu, C., Wang, L., Xu, X., Ross, J.A., Zhou, M.** Fine particulate air pollution and daily mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2017, **196** (1), 73-81.
 - Dall'Osto, M., Querol, X., Amato, F., Karanasiou, A., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., Chiari, M.** Hourly elemental concentrations in PM2.5 aerosols sampled simultaneously at urban background and road site during SAPUSS -diurnal variations and PMF receptor modelling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13** (8), 4375-4392, doi: 10.5194/acp-13-4375-2013.
 - Whiteman, C. D., Hoch, S. W., Horel, J. D., Charland, A.** Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley *Atmospheric Environment*, 2014, **94**, 742-753.
 - Upadhyay, N., Clements, A., Fraser, M., Herckes, P.** Chemical speciation of PM2.5 and PM10 in South Phoenix, *AZ Journal of the Air and Waste Management Association*, 2013, **61** (3), doi: 10.3155/1047-3289.61.3.302.
 - Gol'dfein, M. D., Kozhevnikov, N. V., Kozhevnikova, N. I., Fetisova, N. A.** Raschetnyi monitoring rasprostraneniya vybrosov avtomobil'nogo transporta v krupnom promyshlennom gorode [Estimate monitoring the spread of road transport emissions in large industrial cities]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern science]*, 2006, **4**, 35–36.
 - Vasilyeva, M. A., Dubtsov, S. N., Zhokhova, N. V., Paley, A. A., Pisanko, Yu. V., Tolpygin, L. I.** Otsenka urovnya kontsentratsii aerolnykh chastits u avtomobilnoy dorogi i LEP v sravnenii s fonovymi pokazatelyami submikronnykh chastits yestestvennoy atmosfery [Assessing the level of concentration of particulate matter from road and power lines in comparison with background rates of submicron particles of natural atmosphere]. *Tруды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова [Proceedings of the main geophysical observatory Voeikov]*, 2016, **580**, 99–109.
 - Cherniak, L. M., Radomska, M. M.** Suchasni metody zmenshennia nehatyvnoho vplyvu avtozapravnykh stantsii na navkolyshnie seredovyshe [Modern methods of reducing the negative impact of gas stations on the environment]. *Naukoiemni tekhnologii [Knowledge-based technologies]*, 2012, **3**, 44-47.
 - Kofanov, O., Kholkovskiy, Yu.** Geoekologicheskie Aspekty Modelirovaniya Lokal'nogo Zagryazneniya Prizemnogo Atmosfernogo Vozdukha Otrabotavshimi Gazami

Bibliography (transliterated)

- Zakon Ukrainy «Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2020 roku» vid 21 hrudnia 2010 roku № 2818-VI [Law of Ukraine on Basic principles (strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine till 2020]. Available at: rada.gov.ua (accessed 22 February 2018).
- Sokolova, E. V.** Ocenka faktorov vozdeystviya vybrosov AZS na vozdushnuju sredu ih rabochej zony i prilegajushhej territorii [Estimation of the factors of the impact of emissions of filling stations on the air environment of their work area and the adjacent territory]. *Stroitel'stvo i arhitektura [Construction and architecture]*, 2011, **25**(44), 392–397.

- Avtotransportnykh Sredstv [Geocological Aspects Of Modeling Of Local Pollution Of Surface Atmospheric Air By Exhaust Gases Of Motor Vehicles]. *Gornaya Mekhanika I Mashinostroenie [Mining Mechanical Engineering And Machine-Building]*, 2017, **4**, 20–33.
15. **Ritchie, G. D., Still, K. R.** A review of the neurotoxicity risk of selected hydrocarbon fuels / *Toxicology and Environmental Health*, 2001, **4**, 223-312.
 16. **Robinson, H. K., Hasenmueller, E. A., Chambers, L. G.** Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*, 2017, **83**, SI, 72–85, doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.01.018.
 17. HOST 17.1.5.05–85. Obschye trebovaniya k otboru prob poverkhnostnykh y morskykh vod, lda y atmosferykh osadkov.
 18. **Kovkyn, V. V., Shuvaeva, O. V., Morozov, S. V., Ranuta, V. F.** Rukovodstvo po metodam polevikh y laboratornykh yssledovaniy snezhnogo pokrova dlia yzucheniya zakonernosti dlytelnoho zahriazneniya mestnosti v zone deistviya antropohennykh ystochnykov [Manual on methods of field and laboratory studies of snow cover to study the patterns of long-term pollution in the area of anthropogenic sources]. Novosybyrsk: Novosyb. hos. un-t, 2012, 74 p.
 19. **Chahyna, N. B., Aivazova, E. A., Yvanchenko, N. L., Varakyn, E. A., Sobolev, N. A.** Yssledovaniya sodержaniya tiazhelikh metallov v snehovom pokrove h. Arkhangel'ska y otsenka ykh vliyaniya na zdorove naseleniya [Studies of the content of heavy metals in the snow cover in Arkhangel'sk and an assessment of their impact on public health] *Estestv. nauky [Natural Sciences]*, 2016, **4**, 57–68, doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.57.
 20. **Andriiko, O. O., Pidhornyi, A. V., Huts N. A.** Khimii: Metod. vkazivky do vykon. laborator. praktykumu dlia stud. tekhn. spets. bakalavr. tsyklu pidhotovky den. formy navchanniya [Methodical instructions for the implementation of the laboratory workshop]. – K.: NTUU «KPI», 2006, 64 p.
 21. **Maksymychev, A. V.** Fyzycheskye metody yssledovaniya: uchebno-metodycheskoe posobyе [Physical methods of study: a teaching aid]. M.: MFTY, 2006, 124 p.
 22. **Maryn, L. M., Harmanova, T. V., Laryn, N. S.** Monytorynh zahriazneniya snezhnogo pokrova pileaerozoliamy v h. Tiumen [Monitoring of snow cover contamination with dust aerosols in Tyumen]. *Vestnyk tiumenskoho hos. un-ta*, 2012, **4**.
 23. Sanytarnie pravyla y normi okhrani poverkhnostnykh vod ot zahriazneniya: SanPyN 463088.

Відомості про авторів (About authors)

Рабощ Ірина Олександрівна – аспірант кафедри інженерної екології; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: 2519@i.ua.

Iryna Rabosh – Ph. D. student, Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: 2519@i.ua.

Кофанова Олена Вікторівна – д. пед. н., к. х. н., професор кафедри інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: alexina555@gmail.com.

Olena Kofanova – Doctor of Pedagogical Sciences, Ph. D. in Chemistry, Professor of Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: alexina555@gmail.com.

Підгорний Андрій Вадимович – к. х. н., доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: A.V.Podgornij@gmail.com.

Andriy Pidgorny – Ph. D. in Chemistry, Docent of the Department of General and Inorganic Chemistry, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: A.V.Podgornij@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Рабощ, І. О. Оцінка екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей / **І. О. Рабощ, О. В. Кофанова, А. В. Підгорний** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 236-242. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.34.

Please cite this article as:

Rabosh, I., Kofanova, O., Pidgorny, A. Assessment of ecological state of filling stations territories located near motorways. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 236-242, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.34.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Рабощ, И. А. Оценка экологического состояния территорий автозаправочных станций, расположенных вблизи автомагистралей / **И. А. Рабощ, Е. В. Кофанова, А. В. Подгорный** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 236-242. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.34.

АННОТАЦИЯ Проведен анализ влияния автотранспортного комплекса на окружающую среду и здоровье человека. Исследован химический состав снежного покрова территорий автозаправочных станций, расположенных вблизи автомагистралей. Определены уровень кислотности (рН) исследуемых проб талой воды, масса сухого остатка и основные гидрохимические показатели образцов. Выявлен устойчивый высокий уровень загрязнения по показателю рН и содержанию взвешенных частиц. Установлены значения нагрузки взвешенными частицами исследуемых территорий в сутки и определено содержание основных катионов и анионов в снежном покрове. Сделан вывод о необходимости применения комплексного экологического анализа почв и методов биоиндикации для дальнейших исследований. Ключевые слова: экологическая безопасность; автотранспортный комплекс; уровень загрязнения; химический мониторинг; снежный покров; нагрузки взвешенными частицами.

Надійшла (received) 01.03.2018

УДК [637.146.34:637.247]:
[663.674:637.345–022.45]– 021.465

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.35

БИОТЕХНОЛОГИЧНІ АСПЕКТИ ОТРИМАННЯ ЙОГУРТНОЇ ОСНОВИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО МОРОЗИВА

А. А. ТРУБНИКОВА*, Т. Є. ШАРАХМАТОВА, К. О. МАМИНТОВА, О. С. ЦУПРА

кафедра технології молока, жирів та парфумерно-косметичних засобів, ОНАХТ, м.Одеса, УКРАЇНА
*email: sc228004@ukr.net

АНОТАЦІЯ У роботі обґрунтовано вибір закваски для виробництва йогуртної основи як компонента низьколактозного морозива, представлені дослідження технологічних властивостей йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива. Проаналізовані інформаційні джерела щодо використання мікроорганізмів, які найактивніше продукують фермент лактазу при виробництві йогуртної основи, і обґрунтований вибір композиції мікробіологічних культур за β -галактозидазною активністю та кислотоутворенням. Вивчена можливість використання маслянки з підвищеною масовою часткою сухих речовин в якості основного компоненту для виробництва суміші морозива. Встановлена раціональна концентрація сухого знежиреного безлактозного молока, що входить до рецептури йогуртної основи (5,0 % від її маси). Досліджено процес ферментації молочної основи DVS культурами (YF-903+La-5) та DVS закваскою «Йогурт» VIVO. Зразки сквашеної йогуртної основи із застосуванням закваски DVS «Йогурт» VIVO мають більш щільний згусток та кращі технологічні показники - піноутворювальну здатність та стійкість піни. Визначені показники (смак, запах, консистенція), які будуть впливати на якість морозива. Визначені основні фізико-хімічні показники отриманої йогуртної основи (масова частка лактози та масова частка білків), що забезпечують раціональний вміст у готовому низьколактозному морозиві основних компонентів хімічного складу (збільшений вміст білків (5,41 %), цукрів: глюкози та галактози (3,47 %) та знижений вміст лактози (3,01 %). Отримані зразки йогуртної основи характеризувались високим вмістом корисної мікрофлори (біфідо- та лактобактерій). Найбільш вірогідне число лактобактерій – $2,5 \cdot 10^8$ КУО/см³, біфідобактерій – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см³. Отримана йогуртна основа проявляє пробіотичну дію. Наведена технологічна схема виробництва пробіотичної йогуртної основи з маслянки.

Ключові слова: йогуртна основа; маслянка; низьколактозне морозиво; показники якості; піноутворювальна здатність; стійкість піни; молочнокислі мікроорганізми

BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF A YOGURT BASE FROM BUTTERMILK FOR THE PRODUCTION OF LOW-LACTOSE ICE CREAM

A. TRUBNIKOVA*, T. SHARAKHMATOVA, K. MAMINTOVA, O. TSUPRA

Department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The work substantiates the choice of leaven for the production of yoghurt base as a component of low-lactose ice-cream, researches of technological properties of the yoghurt base for production of low-lactose ice-cream are presented. The sources of information on the use of microorganisms that are most active in the production of lactase enzyme in the production of yogurt base are analyzed, and the choice of composition of micro-biological cultures based on β -galactosidase activity is substantiated. The possibility of using a buttermilk with an increased mass fraction of dry matter as the main component of a mixture of ice cream is studied. A rational concentration of dry, defatted, de-lactose milk is established, which is included in the formulation a yogurt base (5.0% of its weight). The process of fermentation of the milk basis of DVS cultures (YF-903 + La-5) and DVS Yogurt VIVO was investigated. Samples of the fermented yoghurt base with the use of DVS "Yogurt" VIVO ferment have a more dense clot and the best technological indicators - the foaming ability and foam stability. The indicators (taste, smell, consistency) that will affect ice cream are determined. The main physicochemical parameters of the obtained yoghurt base (the mass fraction of lactose and the mass fraction of proteins) were determined, which will ensure a rational content in the finished low-lactose ice cream of the main components of the chemical composition (increased content of proteins (5.41%), sugars: glucose and galactose (3, 47%) and reduced lactose content (3.01%). The obtained samples of yogurt base were determined by high content of useful microflora (Bifidobacterium and lactobacilli). The most probable number of lactobacilli is $2.5 \cdot 10^8$ CFU/cm³, Bifidobacterium is $3.0 \cdot 10^9$ CFU/cm³. The resulting yogurt base has a probiotic effect. The given technological scheme of production of probiotic yogurt basis from buttermilk.

Key words: yoghurt base; buttermilk; low-lactose ice cream; quality indices; foam forming ability; foam stability; lactic acid microorganisms

Вступ

Молочні продукти – необхідна складова щоденного раціону харчування. За своїм хімічним

складом молоко – унікальний продукт харчування, так як в ньому містяться всі речовини, без яких організм людини не може нормально розвиватися [1].

У молоці міститься до 5 % лактози, яка нормалізує процеси бродіння в кишково-шлунковому

тракті та сприяє всмоктуванню в кишечник кальцію та інших мінеральних речовин. Однак для того, щоб лактоза приносила користь, необхідно, щоб вона правильно засвоювалась. Цьому сприяє фермент лактаза, що міститься в організмі людини. Під дією цього ферменту лактоза розщеплюється на прості цукри – глюкозу і галактозу, які легко засвоюється організмом. Деякі люди страждають на непереносимість лактози і внаслідок цього відчувають дискомфорт після вживання молока та молочних продуктів. Це пов'язано із зниженим утворенням ферменту лактази в кишечнику або недостатньою його активністю. Симптоми порушення засвоєння лактози, викликані відсутністю (алактазія) або недостатністю лактази (гіполактазія), називають непереносимістю лактози.

За оцінками [2, 3] 70–75% населення світу страждають від лактазної недостатності. Поширення цієї патології в Україні складає в залежності від регіонів 15-35% дорослого населення [4].

Люди, що страждають на лактозну непереносимість вимушені обмежувати або повністю виключати з раціону харчування традиційні молочні продукти, або приймати препарати лактази постійно. Обмеження споживання молочних продуктів позбавляє людей легкодоступних джерел кальцію, вітаміну D, магнію, калію, білків та інших поживних речовин. Кальцій необхідний в будь-якому віці для зростання і підтримки кісток. Брак споживання кальцію у дітей і дорослих може призвести до остеопороза. Тільки в молочних продуктах кальцій легко засвоюється. Крім того, молоко і молочні продукти знижують ризик гіпертонії, колоректального раку і діабету [5-14].

Оскільки більшість людей з непереносимістю лактози можуть переносити деяку кількість лактози в своєму раціоні, їм не потрібно повністю відмовлятися від молока та молочних продуктів. Вважається, що дорослі і підлітки з малою абсорбцією лактози, можуть споживати 12 г лактози на добу, збільшення споживання лактози може викликати різноманітні прояви порушення травлення, ускладнити фізичний стан здоров'я чутливої людини, тим самим знизити рівень якості життя [15].

Тому необхідність розробки спеціалізованих низьколактозних молочних продуктів (в тому числі і морозива) для цієї групи людей є цілком обґрунтованою.

Виробництво морозива, як в Україні, так і за її межами є доволі процвітаючою галуззю та має перспективи для розширення асортименту, удосконалення існуючих рецептур. Але такі захворювання як лактозна непереносимість, ожиріння не дають можливості хворим споживати морозиво, одержане за традиційною технологією. Тому видалення лактози з молочної сировини, зменшення калорійності морозива за рахунок зниження вмісту жиру, підвищення біологічної цінності морозива та надання йому функціональних властивостей за

рахунок введення мікрофлори закваски, пребіотиків і інших інгредієнтів дозволить розширити асортимент, коло споживачів та збільшити попит на морозиво, яке приносить не тільки задоволення, але й користь.

В країнах ЄС вміст лактози в низьколактозних продуктах не повинен перевищувати 1г на 100 г готового продукту (в Україні нормативи не прийняті). Згідно з термінологією (ДСТУ 2212): молоко низьколактозне – молоко, в якому частково гідролізована або частково вилучена лактоза.

Молочна промисловість деяких країн, в тому числі і України, випускає молоко, в якому лактоза попередньо розщеплена (ферментом β -галактозидазою) на глюкозу та галактозу. Таке безлактозне молоко можна використовувати у виробництві молочних продуктів та морозива [16].

Існують технології отримання низьколактозних заморожених десертів та м'якого морозива з використанням ферментних препаратів β -галактозидази, де пропонується проводити гідроліз лактози до 50 % [17–21].

Виробництво морозива з молочнокислими бактеріями є одним із шляхів зниження вмісту лактози. В кисломолочних продуктах лактози менше, тому що при сквашуванні молока із частини лактози утворюється молочна кислота. Тому, люди, що страждають на гіполактазію, нормально засвоюють кисломолочні напої (в 100 г кисломолочних напоїв міститься 3,8–4 г лактози) [16].

На молочному ринку України найбільш динамічним по зростанню споживання є йогурт – кисломолочний продукт з високою масовою часткою сухих речовин, який грає важливу роль в харчуванні людей, які страждають на лактазну недостатність. Цей продукт, на відміну від молока, не викликає негативної реакції у людей з нестачею ферменту лактази, причому даний ефект обумовлений не тільки присутністю в ньому лактази мікрофлори заквасок, а й складом йогурту. Йогурти сприяють виведенню з організму шкідливих речовин і в цілому нормалізації травлення. Епідеміологічні дослідження свідчать про зниження ризику захворювання на рак кишечника при регулярному споживанні йогуртів. Антимутагенні властивості йогурту пов'язані з продуктами його ферментації. Японські вчені встановили, що йогурти ефективні при лікуванні легких випадків радіоактивного опромінення. Дослідження останніх років показали, що традиційні заквашувальні бактерії, що входять до складу йогуртів, знищують бактерії, що провокують виразки шлунку і дванадцятипалої кишки. Дослідники відзначають необхідність щоденного вживання йогуртів для підтримки в травному тракті нормальної мікрофлори [22].

Існує три способи отримання йогуртового морозива [16]. За першим способом йогуртове морозиво отримують змішуванням 30 % йогурта з 70 % традиційного морозива; за другим способом – вихідна суміш компонентів заквашується йогуртовими культурами перед фризераванням;

третій спосіб передбачає внесення йогуртових культур в готове морозиво. Однак морозиво, отримане за третім способом не можна назвати йогуртовим.

Також до перспективних напрямків вдосконалення технології морозива відноситься комплексне використання вторинної молочної сировини, зокрема маслянки. Раціональне використання вторинних молочних ресурсів (маслянки, знежиреного молока, молочної сироватки) дозволяє найбільш повно використовувати складові частини молока, збільшити ресурси сировини, підвищити рівень ефективності виробництва та рівень забезпечення населення молочними продуктами.

Маслянка є високоякісною дістичною молочною сировиною, яка утворюється на стадіях збивання або сепарування вершків при виробництві вершкового масла методами збивання або перетворення високожирних вершків, і являє собою їх рідку частину, що не збивається.

Специфічною особливістю маслянки, в порівнянні зі знежиреним молоком, є більш високий вміст молочного жиру (приблизно в 10 разів). Молочний жир маслянки тонкодиспергований, основна маса жирових кульок не перевищує розміри 1 мкм. У розподілі ліпідного комплексу характерним є переважання у всіх продуктах насичених і ненасичених тригліцеридів (78,4–92,9 %). При виготовленні масла способом збивання в нього переходить менша частина фосфоліпідів (0,76–0,87 %), а в маслянку – більша (1,66–1,70 %). У той же час спосіб перетворення високожирних вершків дозволяє збагатити масло фосфоліпідами (1,56 %), а в маслянці кількість їх знижується (0,97 %). Цінність маслянки зумовлена переходом до неї оболонки жирових кульок. Маслянка може служити джерелом високоцінного молочного білка, що містить амінокислоти, які володіють ліпотропними властивостями (метіонін, цистин та ін.). Біологічні властивості білків маслянки особливо ефективно проявляються в поєднанні з комплексом присутніх у ній вітамінів В₁, В₂, В₁₂, С, Е, пантотенової кислоти й ін. В маслянці міститься до 5 % лактози, яка бере участь у нормалізації процесів бродіння в кишечнику, що попереджає інтенсивний розвиток гнильних процесів і аутоінтоксикації в результаті всмоктування продуктів гнильного розпаду. Маслянка містить повний комплекс мінеральних речовин, в тому числі всі мікроелементи, присутні у незбираному молоці. В цілому більш повноцінною є маслянка, отримана при виробленні вершкового масла методом збивання [23,24].

Високі харчова та біологічна цінність маслянки обумовлюють необхідність її повного збору та використання виключно для виробництва продуктів харчування.

Мета роботи та методи досліджень

Метою роботи є отримання йогуртної основи із зниженим вмістом лактози та високими технологічними та пробіотичними властивостями для виробництва низьколактозного морозива.

Для досягнення поставленої мети було поставлено та виконано наступні завдання:

– проаналізувати інформаційні джерела щодо використання мікроорганізмів, які продукують фермент лактазу, і обґрунтувати вибір композицій мікробіологічних культур з метою отримання йогуртної основи із зниженим вмістом лактози та пробіотичними властивостями для виробництва низьколактозного морозива;

– підібрати раціональну кількість сухого знежиреного безлактозного молока для нормалізації молочної основи, яка визначає концентрацію сухих речовин у морозиві;

– обґрунтувати вибір інгредієнта для нормалізації йогуртної основи за масовою часткою СЗМЗ;

– дослідити динаміку кислотоутворення при сквашуванні молочної основи традиційною для йогурту мікрофлорою (*S. thermophilus*, *L. bulgaricus*), у композиції з біфідобактеріями і ацидофільною паличкою у складі DVS культури;

– визначити піноутворювальну здатність та стійкість піни йогуртної основи;

– визначити органолептичні, фізико-хімічні і мікробіологічні властивості суміші маслянки зі знежиреним безлактозним молоком.

Об'єктами досліджень були: маслянка, отримана способом періодичного збивання (ТОВ «Гормолзавод №1», м. Одеса); сухе знежирене безлактозне молоко (Valio Ltd, Фінляндія), що має наступний склад: масова частка жиру – 1,0 %; масова частка цукрів – 40 % (в т.ч. масова частка лактози – 0,1 %); масова частка білків – 47 %; масова частка мінеральних речовин – 1,2 %; сухі бактеріальні закваски FD DVS YF-L903 (*Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*), FD DVS La-5 (*Lactobacillus acidophilus* La-5) («Хр.Хансен», Данія); суха бактеріальна закваска «Йогурт» (VIVO) (*Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* + *Lactobacillus acidophilus* + *Bifidobacterium lactis*) (ТОВ «ВІВО-АКТИВ», Україна).

Методи досліджень, які використовували при проведенні експериментів: титрована кислотність – за ГОСТ 3624-92; органолептичні показники – за ДСТУ 3662-97; масова частка сухих речовин – за ДСТУ 8552:2015; активна кислотність – потенціометричним методом – за ДСТУ 8550:2015; масова частка білка – рефрактометричним способом за [25] та формольним титруванням за [25]; масова частка жиру – безцентрифужним методом (по Г. Ініхову) за [25]; масова частка лактози – йодометричним методом за [25]; масова частка мінеральних речовин – за [26];

піноутворювальна здатність за ГОСТ 23409.26-78; мікробіологічні показники: кількість бактерій групи кишкових паличок – за ДСТУ IDF 73 А; найбільш вірогідне число молочнокислих мікроорганізмів – за ГОСТ 9225-84; кількість біфідобактерій – за ДСТУ 7355:2013.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Нині асортимент пробіотичних штамів для виробництва молочних продуктів значно розширився й представлений живими клітинами молочнокислих бактерій або інактивованою пробіотичною мікрофлорою, продуктами метаболізму або стимуляторами росту мікрофлори (пребіотиками), а також синбіотиками – комбінованими препаратами, що містять пробіотики і пребіотики [27]. Доцільним вважається використання комбінованих пробіотиків, симбіотичні штами яких мають широкий спектр фізіологічних ефектів. Такі пробіотики забезпечують можливість запобігти або знизити ризик розвитку багатфакторних захворювань, оскільки пробіотичні властивості є штамоспецифічними [27, 28].

Клінічними дослідженнями показано, що комбіновані пробіотики мають більш виражений ефект, ніж пробіотики, що містять монокультуру пробіотичних бактерій [28,29].

За даними звіту об'єднаного комітету експертів ФАО/ВООЗ (2001), *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* є ефективними при запальних захворюваннях кишечника. Сучасні дослідження свідчать, що *Lactobacillus acidophilus* має протиінфекційні властивості стосовно патогенів: *Shigella*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Rotavirus*, *H. pylori*. У дослідженнях *in vitro* показано, що *Lactobacillus acidophilus* мають здатність інгібувати ріст аеробних бактерій шляхом секреції молочної кислоти [28–33].

За останні роки значно збільшилась кількість дітей і дорослих, які страждають непереносимістю лактози через дефіцит ферменту лактази, становить інтерес використання молочнокислих мікроорганізмів, які здатні продукувати позаклітинно цей фермент і розщеплювати лактозу у молочній сировині до моноцукрів: галактози та глюкози, які легше засвоюються організмом. Таким чином у молочних продуктах знижується вміст лактози.

Згідно літературного аналізу, молочнокислі культури мають досить високу β -галактозидазну активність в порівнянні з іншими мікроорганізмами, найвищу активність зброджувати лактозу мають термофільний стрептокок, болгарська паличка та ацидофільна паличка [35–39].

Згідно з даними [36] серед молочнокислих стрептококів найбільшою активністю зброджувати лактозу володіють термофільні молочнокислі стрептококи. Фермент β -галактозидаза, що виробляється *Streptococcus thermophilus*, більш активно гідролізує лактозу молока, проявляючи при

цьому високу активність і стабільність. Чисті культури *Streptococcus thermophilus* зброджують глюкозу гліколітичним шляхом з утворенням L (+) – ізомерів молочної кислоти. Галактоза, що утворюється при ферментному гідролізі лактози, не утилізується даними мікроорганізмами і залишається в продукті. Масова частка лактози, що розщеплюється *S. thermophilus*, становить 0,8–1,2 %; залишковий вміст лактози в кисломолочних продуктах, отриманих ферментацією цими культурами, становить 3,6–3,9 %.

Доведено, що *S. Thermophilus* активно гідролізує лактозу, є кислотоутворювачем, забезпечуючи тим самим бактерицидний ефект відносно патогенних мікроорганізмів, а також здатний синтезувати і виділяти полісахариди [36,37].

Lactobacillus bulgaricus має виражену протеолітичну активність і виділяє валін – амінокислоту, яка стимулює розвиток *Streptococcus thermophilus*. При збродженні глюкози переважно утворює D (–)– ізомери молочної кислоти (вже виділені штами *L. bulgaricus*, що утворюють L (+)–молочну кислоту); галактозу не розщеплюється. Штами *Lactobacillus bulgaricus* утворюють також ацетальдегід, який надає продуктам специфічний смак і аромат, і антибіотичні речовини, що пригнічують небажану мікрофлору в кишечнику. Своім розвитком термофільний стрептокок випереджає болгарську паличку, знижуючи окислювально-відновний потенціал і pH молока, що створює сприятливі умови для розвитку *Lactobacillus bulgaricus* [34,36].

Lactobacillus acidophilus є сильним кислотоутворювачем, при ферментації молока розщеплює 0,9–1,0 % лактози, утворюючи L (+) або DL–ізомери молочної кислоти. Збродження лактози чистими культурами *Lactobacillus acidophilus* здійснюється гліколітичним шляхом з утилізацією глюкози і галактози [32, 36].

Біфідобактерії володіють низькою β -галактозидазною активністю, тому погано розвиваються в молоці. Активізація зростання біфідобактерій в молоці за рахунок високої β -галактозидазної активності інших заквашувальних культур пов'язана з підвищенням власної β -галактозидазної активності біфідобактерій. В цих умовах біфідобактерії набувають властивість накопичувати необхідні для свого зростання сполуки: глюкозу і олігосахариди. У зв'язку з цим культивування біфідобактерій спільно з молочнокислими культурами, що володіють високою β -галактозидазною активністю, зокрема, з *Lactobacillus acidophilus* є доцільним [31, 36,39]. Спільне культивування лакто– і біфідобактерій стимулює накопичення летких жирних кислот і діацетила, що покращує органолептичні властивості продукту.

Тому в якості заквашувальних культур було обрано: *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* та пробіотики - *Bifidobacterium lactis* та *Lactobacillus acidophilus*. Було проаналізовано

заквашувальні препарати, які містять зазначені молочнокислі мікроорганізми, та вибрані закваски: суха закваска безпосереднього внесення «Йогурт» VIVO (ТОВ «ВІВО-АКТИВ»), до складу якої входять змішані культури *Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* + *Lactobacillus acidophilus* + *Bifidobacterium lactis*, та сухі бактеріальні закваски безпосереднього внесення фірми «Хр.Хансен» (Данія): FD DVS YF-L903, до складу якої входять змішані культури *Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, у комбінації з закваскою FD DVS La-5, яка містить монокультури *Lactobacillus acidophilus*.

Таким чином, вибір композицій мікробіологічних культур, які найактивніше продукують β -галактозидазу та проявляють пробіотичну дію з метою отримання йогуртової основи із зниженим вмістом лактози для виробництва низьколактозного морозива є актуальною проблемою і зумовила необхідність проведення досліджень у цій галузі.

Виклад основного матеріалу

Йогуртну основу виробляли із маслянки, яка відповідала вимогам ТУ У 46.39.079-96 «Маслянка-сировина. Технічні умови».

Оскільки йогурт з маслянки в подальшому буде використаний як один з основних компонентів для виробництва низьколактозного морозива, то головне завдання – отримати йогурт з якомога нижчим вмістом лактози і з граничною кислотністю (згідно з вимогами ДСТУ 4343:2004) для поліпшення органолептичних властивостей морозива.

Сквашували суміш до значення кислотності – 125...135°Т (до рН 4,6).

Процес ферментації проводили за традиційною технологією отримання йогурту.

Нормалізацію маслянки за сухими речовинами проводили додаванням сухого знежиреного безлактозного молока, що розроблене для людей з непереносимістю лактози, відповідно до рецептур, зазначених в табл. 3.

Сухе знежирене безлактозне молоко має наступний склад: масова частка жиру – 1,0 %; масова частка цукрів – 40 % (в т.ч. масова частка лактози – 0,1 %); масова частка білків – 47 %; масова частка мінеральних речовин – 1,2 %.

Додавання саме сухого знежиреного безлактозного молока дозволяє отримати йогуртну основу із підвищеним вмістом сухих речовин (в першу чергу білків) та СЗМЗ, та знизити вміст лактози у суміші. Збільшення загального вмісту сухих речовин в маслянці, особливо білків, та використання в заквасках енергійних кислотоутворювачів призведе до формування більш щільних міцних згустків, і тенденція до відокремлення сироватки буде, таким чином, знижена.

Вміст СЗМЗ у маслянці 8,6 %. Для йогурту мінімальний вміст СЗМЗ повинен бути 9,5 %, для морозива – 10 %. Тому збільшити СЗМЗ можливо завдяки внесенню в маслянку сухого знежиреного безлактозного молока.

Вміст сухого знежиреного безлактозного молока варіювали в межах 2,5...7,5 % з інтервалом 2,5%.

Таблиця 1 – Рецептура на йогурт, кг на 100 кг продукту

Найменування компонента	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Маслянка-сировина	97,5	95,0	92,5
Сухе знежирене безлактозне молоко	2,5	5,0	7,5
Закваска DVS, ум. од. акт.	100,0	100,0	100,0
Всього:	100,0	100,0	100,0

Сухе знежирене безлактозне молоко (згідно рецептури) попередньо розчиняли в невеликій кількості маслянки при температурі 35...40 °С, суміш залишали для набухання протягом 20...40 хв. Розчинене сухе знежирене безлактозне молоко вносили в основний об'єм підігрітої до температури 35...40 °С маслянки, перемішували і фільтрували. Отриману суміш пастеризували при температурі 85...87 °С з витримкою 5...10 хв. Цей режим забезпечує знищення патогенної мікрофлори в молочній суміші, більшої частини вегетативної сапрофітної мікрофлори, сприяє інактивації ферментів, гормонів, токсинів. Створюються сприятливі умови для розвитку мікрофлори закваски і поліпшується консистенція продукту. Підготовлені зразки суміші охолоджували до температури заквашування 37...40 °С (заявлена виробником) і вносили закваску DVS «Йогурт» VIVO або комбінацію заквашувальних культур DVS: YF-L903 + La-5. Суміш розливали в стерильні ємності об'ємом 0,4 дм³, сквашували при температурі 37...40 °С. Закінчення сквашування визначали за утворенням щільного згустку з активною кислотністю 4,6 од.рН, при ферментації також здійснювали контроль титрованої кислотності. Отриманий продукт охолоджували до температури 4...6 °С.

Раціональну кількість сухого знежиреного безлактозного молока для нормалізації молочної основи, яка визначає концентрацію сухих речовин у морозиві, вибирали за органолептичними показниками (смак, запах, консистенція) в зразках йогуртної основи, які в основному будуть впливати на сенсорні характеристики морозива, за кількістю лактози, за піноутворювальною здатністю та стійкістю піни.

Масова частка сухих речовин суттєво впливає на органолептичні показники отриманих зразків

йогуртної основи, особливо на консистенцію згустку. Так, при концентрації доданого сухого знежиреного безлактозного молока в кількості 2,5 % згусток нагадував консистенцію нев'язкого тягучого йогурту. Із збільшенням масової частки сухого знежиреного безлактозного молока до 5,0 %, в зразках поліпшується консистенція – підвищується в'язкість і щільність згустків. Але збільшення концентрації сухого знежиреного безлактозного молока до 7,5 % призвело до отримання згустку з хорошою щільністю, але неоднорідною, борошністою консистенцією. Тому з подальших досліджень виключено зразок № 3.

Вміст лактози у зразках йогуртної основи до та після сквашування наведений в табл. 2.

Таблиця 2 – Масова частка лактози (%) у зразках йогуртної основи, отриманої із використанням закваски «Йогурт» VIVO

Зразок	Масова частка лактози в молочній суміші до сквашування, %	Масова частка лактози в молочній суміші після сквашування, %
Зразок 1	4,39 ± 0,06	3,10 ± 0,06
Зразок 2	4,29 ± 0,06	3,01 ± 0,06
Зразок 3	4,18 ± 0,06	2,88 ± 0,06

Масова частка лактози в процесі сквашування зменшилась на 28...33 %, пояснюється молочнокислим бродінням, під час якого на молочний цукор діє фермент лактаза, який виділяється молочнокислими бактеріями.

Отримана йогурта основа у перспективі планується до використання як інгредієнт низьколактозного морозива. Оскільки морозиво молочне (згідно ДСТУ 4733:2007) – збитий та заморожений харчовий продукт, вироблений з молока та/або продуктів його перероблення з додаванням необхідних для його виробництва інгредієнтів (з масовою часткою сухих речовин не менше 28,5%), важливими технологічними характеристиками отриманої йогуртної основи є піноутворювальна здатність та стійкість піни (табл. 5).

Піноутворювальна здатність – кількість піни, що виражена об'ємом або висотою стовпа, яка утворюється з постійного об'єму розчину при дотриманні певних умов протягом заданого часу. Стійкість піни – здатність піни зберігати загальний об'єм, дисперсний склад після закінчення певного проміжку часу.

Піноутворюючі властивості молочної сировини залежать від її кількісного та якісного складу. Молочні білки за своєю суттю є ефективними піноутворювачами й унаслідок поверхневої активності та здатності до додаткової гідратації як позитивно, так і негативно впливають на піноутворюючу здатність молочної сировини. Усі

важливі властивості білків визначаються їх просторовою структурою [40].

Жирова фаза молочної сировини відіграє роль поверхнево-активної речовини та, сорбуючись на межі поділу фаз, сприяє піноутворенню. Особливістю хімічного складу сколотин є наявність фосфоліпідів, які мають властивості зменшувати поверхневий натяг на межі «рідина-повітря», сприяючи отриманню пінної структури за умови механічного збивання. Носієм функціональних властивостей фосфоліпідів сколотин є лецитин, що перебуває у вигляді білково-лецитинового комплексу в оболонці жирової кульки. Лецитину притаманні важливі технологічні властивості, зокрема він виконує функції природного піноутворювача та сприяє утворенню дрібнозернистих і стійких піни. Наявність фосфоліпідів синергетично впливає на піноутворюючі властивості білків сколотин [23,40].

Лактоза не має піноутворювальної активності. Але змінивши свої властивості під дією температури або молочнокислої мікрофлори, лактоза може суттєво впливати на здатність молочних систем утворювати піни. Чим більшою мірою лактоза піддається гідролізу, тим більше зростає піноутворююча властивість системи [40–42].

Здатність до піноутворення залежить від кислотності середовища. Маси, що містять білок, проявляють максимальну піноутворювальну здатність в ізоелектричній точці (ІЕТ), яка відповідає рН для молочних білків 4,58 – 4,60. При зниженні рН молоко володіє кращими піноутворювальними властивостями [42].

Піни отримували шляхом збивання йогуртної основи за температури 20 °С протягом 30 сек.

Піноутворювальна здатність маслянки-сировини становила 4,2±2,0 %, а стійкість піни – 20 хв. Нестійкість піни маслянки-сировини пояснюється тим, що вміст макромолекул білків у маслянці не є достатнім для утворення стійкої піни. Нестійкість пояснюється також невисокою в'язкістю маслянки. Тому для вирішення цієї проблеми в маслянку додавали сухе знежирене безлактозне молоко, що має високу концентрацію білків (47%).

Таблиця 3 – Піноутворювальна здатність (%) та стійкість піни (хв.) у зразках йогуртної основи, отриманої із використанням закваски «Йогурт» VIVO

Зразок	Піноутворювальна здатність (ПУЗ), %	Стійкість піни, хв.
Зразок 1	9,7±2,0	68,0±1,5
Зразок 2	12,2±2,0	96,0±1,5
Зразок 3	15,3±2,0	103,0±1,5

Із збільшенням концентрації сухого знежиреного безлактозного молока у йогуртній основі від 2,5 % до 7,5 % піноутворювальна здатність та стійкість піни збільшуються (табл. 3). Це, насамперед, пов'язано із збільшенням кількості білків, які є поверхнево-активними речовинами і сприяють підвищенню її в'язкості та кращому поглинанню дисперсної фази в піну при механічному збиванні йогуртної основи.

Зразок 3 (згідно рецептури кількість сухого знежиреного безлактозного молока – 7,5 % від маси суміші) мав найвищу піноутворювальну здатність та стійкість піни, але мав занадто в'язку консистенцію, СЗМЗ зразка 3 становило 14,8 %, що забагато. До того ж, сухе знежирене безлактозне молоко має високу вартість, тому подальші дослідження проводитиме із зразком 2 (кількість сухого знежиреного безлактозного молока – 5,0 % від маси суміші).

В табл. 6 наведені технологічні показники для зразків йогуртної основи, отриманої із застосуванням різних бактеріальних заквасок.

Незначне збільшення піноутворювальної здатності та стійкості піни (табл.6) в зразку 2, сквашеному закваскою DVS «Йогурт» VIVO, пояснюється гідролізом лактози під дією молочнокислих мікроорганізмів, при якому накопичуються продукти гідролізу лактози, що мають

полярні участки молекули (карбонільні угруповання). Чим більше накопичується продуктів гідролізу під дією молочнокислої мікрофлори, тим більше зростає піноутворювальна здатність системи.

Таблиця 4 – Піноутворювальна здатність (%) та стійкість піни (хв.) у зразках йогуртної основи, отриманої із застосуванням різних бактеріальних заквасок

Зразок	Піноутворювальна здатність (ПУЗ), %	Стійкість піни, хв.
Зразок 2 з закваскою DVS «Йогурт» VIVO	12,2±2,0	96,0±1,5
Зразок 2 з комбінацією заквасок: FD DVS YF-L903 + FD DVS La-5	10,1±2,0	87,0±1,5

В процесі сквашування йогуртної основи (зразок 2) обраними заквасками визначали рівень кислотності через кожну годину. Результати досліджень наведені на рис. 1 (зміни активної кислотності йогуртної основи при сквашуванні) та рис. 2 (зміни титрованої кислотності йогуртної основи при сквашуванні).

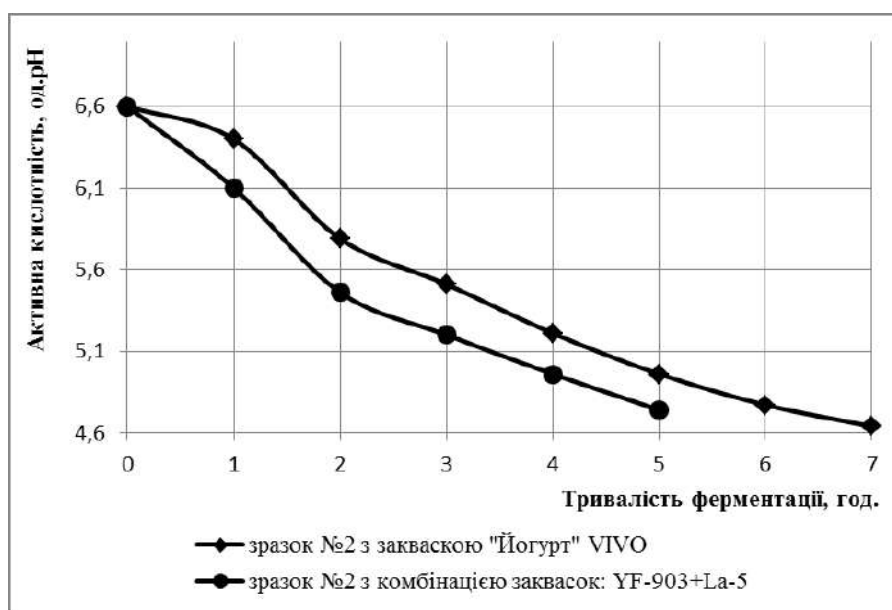


Рис. 1 – Зміна активної кислотності зразків йогуртної основи при ферментації

Сквашування молочної основи комбінацією заквасок: FD DVS YF-L903 + FD DVS La-5 завершується через 5 годин (до кислотності 125 °Т (рН 4,68), а закваскою «Йогурт» VIVO – через 7 годин (до кислотності 134 °Т (рН 4,6). Протягом зазначеного часу в усіх досліджуваних зразках досягається ізоелектричний стан білків під впливом або тільки молочної кислоти, або суміші

молочної й оцтової кислот, накопичених мікрофлорою заквашувальних культур при зброджуванні лактози. Молочну кислоту накопичують Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus, Lactobacillus acidophilus, а суміш молочної й оцтової кислот – Bifidobacterium lactis. Активна кислотність зразків складає 4,62 – 4,68 рН.

Консистенція та структура йогурту суттєво залежать від здатності заквашувальних культур утворювати високов'язкі екзогенні полісахариди. Найбільшу їх кількість продукують *L. acidophilus*, *L. bulgaricus* та *S. thermophilus*.

Порівняння отриманої йогуртної основи з різними видами закваски показало, що зразки із

застосуванням закваски «Йогурт» VIVO мають кращі технологічні показники (вищу піноутворювальну здатність та стійкість піни) та хороші органолептичні властивості, ніж зразки з комбінацією заквашувальних культур DVS: FD YF-903 + La-5.

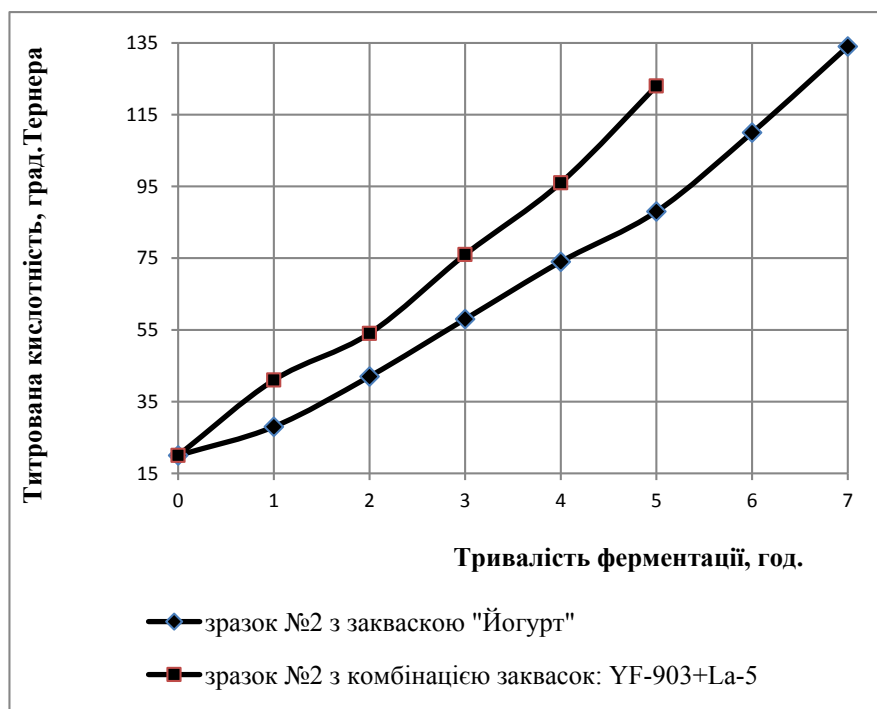


Рис. 2 – Зміна титрованої кислотності зразків йогуртної основи при ферментації

Зразки сквашеної йогуртної основи із застосуванням закваски «Йогурт» VIVO мають чистий, виражений кисломолочний смак і запах, колір – молочно-білий, рівномірний по всій масі; однорідну, ніжну, в'язку, сметаноподібну консистенцію, без газоутворення, без відділення сироватки. Кількість лактози після ферментації в зразку із застосуванням закваски «Йогурт» VIVO складала 3,01 %.

Згустки зразка 2 з комбінацією заквашувальних культур DVS: YF-L903 + La-5 мають однорідну, щільну, злегка тягучу, без газоутворення, без відділення сироватки консистенцію та менш виражений кисломолочний смак і запах.

Для подальших досліджень обрано зразок сквашеної йогуртної основи із застосуванням закваски «Йогурт» VIVO.

Технологічний процес виробництва йогуртної основи складався з наступних етапів, які зображені на рис. 3.

Фізико-хімічні та мікробіологічні показники отриманої йогуртної основи з маслянки наведені в табл. 5 та 6.

Таблиця 5 – Фізико-хімічні показники йогуртної основи з маслянки

Найменування показника	Значення показника
Масова частка сухих речовин, % в тому числі:	13,34 ± 0,01
– масова частка жиру, %	0,53 ± 0,1
– масова частка лактози, %	3,01 ± 0,06
– масова частка білків, %	5,41 ± 0,05
– масова частка мінеральних речовин, %	0,72 ± 0,05
Титрована кислотність, °Т	134 ± 1
Активна кислотність, од.рН	4,62±0,01

Таблиця 6 – Мікробіологічні показники сквашеної йогуртної основи

Найменування показника	Значення показника
Найбільш вірогідне число молочнокислих мікроорганізмів, КУО/см ³	(2,5±0,9)·10 ⁸
Кількість біфідобактерій, КУО/см ³	(3,0±0,2)·10 ⁹
Бактерії групи кишкових паличок в 0,1 см ³	Відсутні

Визначення БГКП у 0,1 см³ зразків сквашеної йогуртної основи свідчить про їх відсутність у дослідженому об'ємі, що доводить правильність вибору режиму пастеризації вихідної йогуртної основи. А кількість лакто- і біфідобактерій свідчить про високу пробіотичну дію.

Отже, параметри ферментації йогуртної основи, складеної із маслянки та сухого знежиреного

безлактозного молока, закваскою «Йогурт» VIVO з підвищеними пробіотичними властивостями наступні: температура (37...40) °С, тривалість 7 годин. Отримана ферментована йогуртна основа в подальшому буде використана як компонент при розробці низьколактозного морозива.

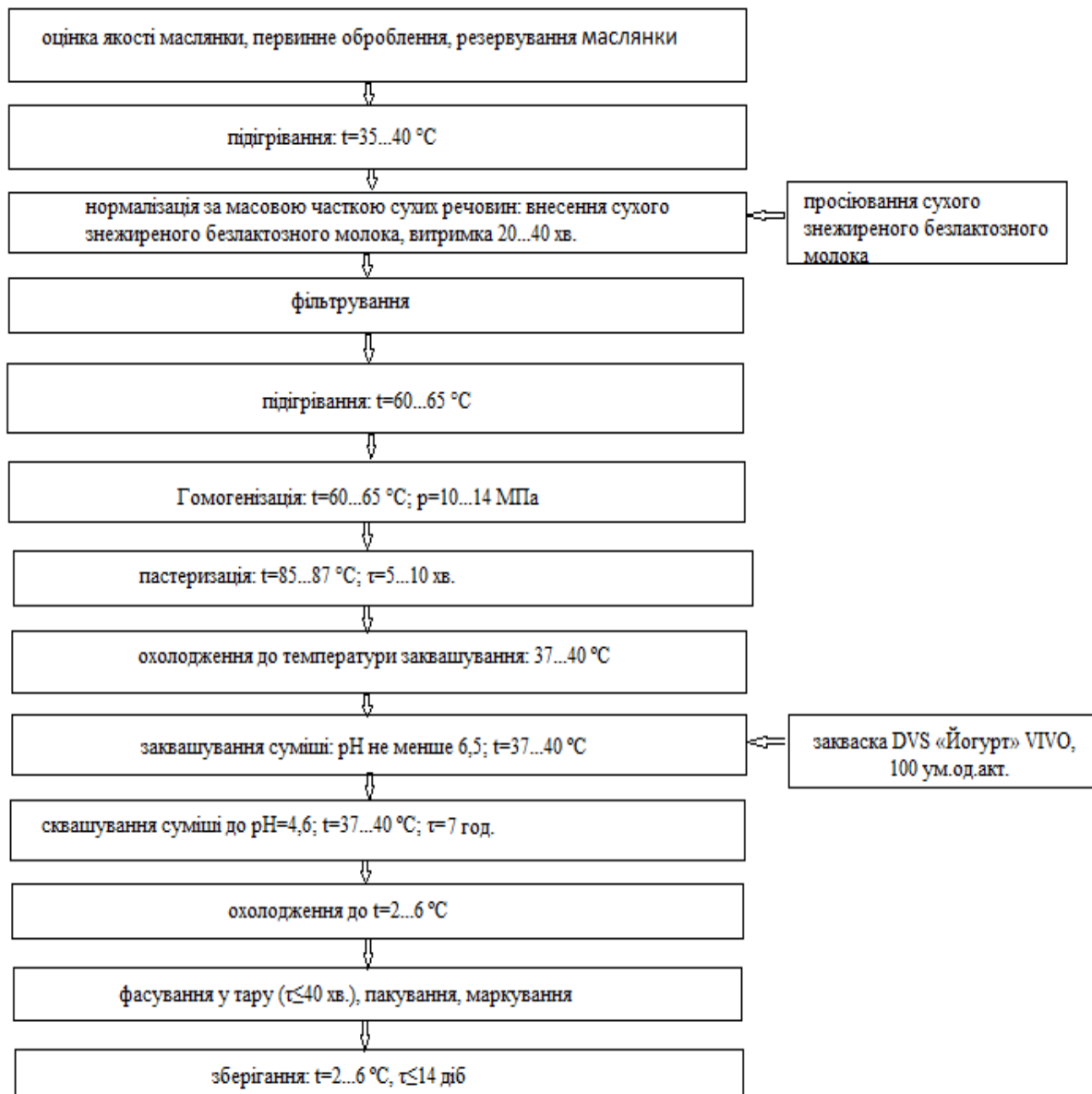


Рис. 3 - Технологічний процес виробництва йогуртної основи з маслянки

Висновки

1. Найактивнішими мікробіологічними культурами, які продукують фермент лактазу, з метою отримання йогуртової основи із зниженим вмістом лактози для виробництва низьколактозного морозива є заквашувальні культури до складу яких

входять: *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, а *Bifidobacterium lactis* надає продукту пробіотичні властивості. Для досліджень обрано DVS культури (YF-903+La-5) та закваску «Йогурт» VIVO, які містять дані культури.

2. Встановлено раціональна масова частка сухого знежиреного безлактозного молока, що входить до рецептури йогуртної основи – 5,0 % від її маси, що забезпечує підвищення СЗМЗ до 12,5 %.

Встановлено, що сквашування йогуртної основи з комбінацією заквашувальних культур DVS: FD YF-903 + La-5 проходить за 5,0 годин (до pH 4,68), а з закваскою «Йогурт» VIVO – за 7 годин (до pH 4,62). Зразки сквашеної йогуртної основи із застосуванням закваски «Йогурт» VIVO мають кращі технологічні показники (вищу піноутворювальну здатність та стійкість піни) та хороші органолептичні властивості, ніж зразки з комбінацією заквашувальних культур DVS: FD YF-903 + La-5.

3. Основні фізико-хімічні показники ферментованої йогуртної основи (збільшений вміст білків (5,41 %) та знижений вміст лактози (3,01%) мають вирішальне значення, що забезпечує вміст у готовому низьколактозному морозиві основних компонентів хімічного складу.

4. Отримані зразки ферментованої йогуртної основи характеризувались високим вмістом корисної мікрофлори (найбільш вірогідне число молочнокислих мікроорганізмів – $2,5 \cdot 10^8$ КУО/см³, біфідобактерій – $3,0 \cdot 10^9$ КУО/см).

Наступні етапи роботи: визначення співвідношення йогуртної основи та рідкого безлактозного концентрату з маслянки, отриманого мембранними методами із збереженням вмісту мінеральних речовин, у складі низьколактозного морозива; підбір додаткових компонентів для морозива (цукрозамінників, стабілізаторів тощо); розробка технології низьколактозного морозива та її промислова апробація, розробка нормативних документів на морозиво низьколактозне.

Список літератури

1. **Suchy, F. J.** NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health / **F. J. Suchy, P. M. Brannon, T. O. Carpenter, J. R. Fernandez, et al.** // *NIH Consensus and State-of-the-science Statements*. – 2010. – Т. 27. – №. 2. – С. 1-27.
2. **Delacouer, H.** Diagnosis of genetic high resolution melting analysis / **H. Delacouer, et al.** // *Ann Biol Clin (Paris)*. – 2017. – 75(1) – 67-74.
3. **Corgneau, M.** Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers / **M. Corgneau, J. Scher, L. Ritie-Pertusa, D. T. Le, et al.** // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2017. – 57. – №. 15. – P. 3344-3356. –doi:10.1080/10408398.2015.1123671.
4. України 3. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо відповідальності за корупційні правопорушення» від 7 квітня 2011 року № 3207-VI //Електронний ресурс].—2011. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua>.
5. **Heuman, M. B.** Lactose intolerance in infants, children, and adolescents / **M. B. Heuman, B. Melvin** // *Pediatrics*. – 2006. – Т. 118. – №. 3. – P. 1279-1286.
6. **Zaitlin, P.** Mistaken beliefs and the facts about milk and dairy foods / **P. Zaitlin, J. Dwyer, G. R. Gleason** // *Nutrition Today*. – 2013. – Т. 48. – №. 3. – P. 135-143. – doi: 10.1097/NT.0b013e3182941c62.
7. **Misselwitz, B.** Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment / **B. Misselwitz, D. Pohl, H. Frühauf, M. Fried, et al.** // *United European gastroenterology journal*. – 2013. – Т. 1. – №. 3. – P. 151-159.
8. **Nicklas, T. A.** Self-perceived lactose intolerance results in lower intakes of calcium and dairy foods and is associated with hypertension and diabetes in adults // **T. A. Nicklas, H. Qu, S. O. Hughes, M. He, et al.** // *The American journal of clinical nutrition*. – 2011. – Т. 94. – №. 1. – P. 191-198. – doi:10.3945/ajcn.110.009860.
9. **Heaney, R. P.** Dairy intake, dietary adequacy, and lactose intolerance / **R. P. Heaney** // *Advances in nutrition*. – 2013. – Т. 4. – №. 2. – P. 151-156. – doi:10.3945/an.112.003368.
10. **Пеухкури, К.** Данные исследований непереносимости лактозы / **К. Пеухкури, Х. Хапонен** // *Молочные продукты Valio Zero Lactose*. – 2008. – С. 5.
11. **Di Rienzo, T.** Lactose intolerance: from diagnosis to correct management / **T. Di Rienzo, G. D'angelo, F. D'avversa, M. C. Campanale, et al.** // *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. – 2013. – Т. 17. – №. 2. – P. 18-25.
12. **Lomer, M.** Lactose intolerance in clinical practice—myths and realities / **M. C. Lomer, G. C. Parkes, J. D. Sanderson** // *Alimentary pharmacology & therapeutics*. – 2008. – Т. 27. – №. 2. – P. 93-103. – doi: 10.1111/j.1365-2036.2007.03557.x.
13. **Matthews, S. B.** Systemic lactose intolerance: a new perspective on an old problem / **S. B. Matthews, J. P. Waud, A. G. Roberts, A. K. Campbell** // *Postgraduate Medical Journal*. – 2005. – Т. 81. – №. 953. – P. 167-173. – doi: 10.1136/pgmj.2004.025551.
14. **Matthews, S. B.** Systemic lactose intolerance: a new perspective on an old problem / **S. B. Matthews, J. P. Waud, A. G. Roberts, A. K. Campbell** // *Postgraduate Medical Journal*. – 2005. – Т. 81. – №. 953. – P. 167-173. – doi: 10.1136/pgmj.2004.025551.
15. **Suchy, F. J.** NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health / **F. J. Suchy, P. M. Brannon, T. O. Carpenter, J. R. Fernandez, et al.** // *NIH Consensus and State-of-the-science Statements*. – 2010. – Т. 27. – №. 2. – P. 1-27. – doi:10.7326/0003-4819-152-12-201006150-00248.
16. **Лифляндский, В. Г.** Новейшая энциклопедия здорового питания / **В. Г. Лифляндский**. – СПб.: Издательский Дом «Нева», 2004. – 384 с.
17. **Срешова, В. Д.** Разработка технологии низколактозного мороженого: дис. канд. техн. наук: 27.10.11. Ставрополь, 2011. 152 с.
18. Пат. 4333954 США A23G9/00; A23G9/32; A23G9/02; A23G9/04. Soft ice cream and process for production thereof / Trzeciecki, Jan (Naerum, DK) заявл. 11.07.1980.; опубл. 06.08.1982.
19. **Шарахматова, Т. С.** Розробка технології безлактозного морозива, збагаченого пробіотичними культурами / **Т. С. Шарахматова** // *Харчова наука і технологія*. – 2010. – №. 2. – С. 83-87.
20. **Храмцов, А. Г.** Исследования в области получения безлактозных молочных продуктов / **А. Г. Храмцов, И. А. Евдокимов, И. К. Куликова, В. Д. Ерешова** – *Материалы Международной научно-практической*

- конференції «Молочная индустрия-2009». – М.: АНО «Молочная промышленность». – 2009.
21. **Евдокимов, И. А.** Получение продуктов с пониженным содержанием лактозы / **И. А. Евдокимов, И. К. Куликова, В. Д. Ершова** // *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*. – 2010. – №. 2. – С. 64-68.
22. **Носкова, В. И.** Разработка йогурта низколактозного маложирного: дис. канд. техн. наук: 05.18.04. М., 2006. 183 с.
23. **Храмцов, А. Г.** Технология продуктов из вторичного молочного сырья / **А. Г. Храмцов, С. В. Василисин, С. А. Рябцева, Т. С. Воротникова**. – 2009.
24. **Вышемирский, Ф. А.** Пахта: минимум калорий-максимум биологической ценности / **Ф. А. Вышемирский, Н. Н. Ожгихина** // *Молочная промышленность*. – 2011. – №. 9. – С. 54-56.
25. **Инихов, Г. С.** Методы анализа молока и молочных продуктов / **Г. С. Инихов, Н. П. Брино**. – М.: Пищевая промышленность. – 1971. – Т. 275.
26. **Марх, А. Т.** Технохимический контроль консервного производства / **А. Т. Марх, Т. Ф. Зыкина, В. Н. Голубев**. – М.: Агропромиздат. – 1989. – Т. 304. – С. 7.
27. **Корниенко, Е. А.** Современные принципы выбора пробиотиков / **Е. А. Корниенко** // *Детские инфекции*. – 2007. – Т. 6. – №. 3.
28. **Надточий, Л. А.** Инновации в биотехнологии. Часть 2. Пищевая комбинаторика. – учебно-методическое пособие / **Л. А. Надточий, О. Ю. Орлова**. – СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, – 2014. – 43 с.
29. **Хамагаева, И. С.** Исследование пробиотических свойств комбинированной закваски / **И.С. Хамагаева, И.В. Бояринцева, Н.Ю. Потапчук** // – *Техника и технология пищевых производств*. – 2013. – № 1. – С. 1-5.
30. **Абатуров, А. Е.** Бактерицидная активность пробиотических средств / **А. Е. Абатуров, О. Н. Герасименко, И. Л. Высочина, Е. Л. Кривуша, Е. А. Агафонова, и др.** // *Здоровье ребенка*. – 2013. – №. 8 (51).
31. **Juvonen, R.** Microbiological spoilage and safety risks in non-beer beverages / **R. Juvonen, V. Virkajärvi, O. Priha, A. Laitila** // *VTT Tiedotteita-Research Notes*. – 2011. – Т. 2599.
32. **Ирkitова, А. Н.** Свойства, экологические аспекты и практическое значение ацидофильной палочки / **А. Н. Ирkitова, Я. Р. Каган, И. Я. Сергеева** // *Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока* – 2011. – № 8. – С. 207–239.
33. **Корниенко, Е. А.** Применение пробиотиков в педиатрии: анализ лечебного и профилактического действия с позиций доказательной медицины / **Е. А. Корниенко** // *Лечащий врач*. – 2015. – Т. 9.
34. **Гинзбург, О. П.** Третье поколение йогуртных культур уoflex®-новые возможности / **О. П. Гинзбург** // *Переработка молока*. – 2011. – №. 9. – С. 8-9.
35. **Фадеева, Н. А.** Роль микрофлоры тонкой кишки в развитии вторичной лактазной недостаточности: дис. канд. мед. наук: 14.01.28. М., 2014. 152 с.
36. **Дидух, Н. А.** К вопросу производства ферментированных молочных напитков диабетического назначения / **Н. А. Дидух, Н. А. Могилянская** // *Молочна промисловість*. – №3(46) – 2008. – С.44-47.
37. **Потемська, О. І.** β-галактозидазна активність бактерій, як критерій відбору штамів до складу бактеріальних препаратів / **О. І. Потемська, Н. Ф. Кігель, С. Г. Даниленко, К. В. Копилова** // *Харчова наука та технологія*. – 2017. – Т. 11. – №. 3.
38. **Tsuda, H.** Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food Guidelines for the evaluation of probiotics in food / **H. Tsuda, T. Miyamoto** // *Food science and technology research*. – 2010. – Т. 16. – №. 1. – P. 87-92.
39. **Полтавська, О. А.** Біфідобактерії I Іх Біологічні Властивості / **О. А. Полтавська, Н. К. Коваленко** // *Мікробіологія і біотехнологія*. – 2008. – №. 1 (2). – С. 8-17.
40. **Просеков, А. Ю.** Концептуальные аспекты пенообразования в молочных системах / **А. Ю. Просеков** // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2002. – №. 2. – С. 24-27.
41. **Дейниченко, Г. В.** Вплив стабілізаторів на процес піноутворення в модельних системах коктейлів на основі сколотин / **Г. В. Дейниченко, Т. І. Юдіна, О. В. Старостеле** // *Обладнання та технології харчових виробництв*. – 2013. – Вип. 31. – С. 155-163.
42. **Иванец, В. Н.** Исследование пенообразующих свойств молока при обработке в роторно-пульсационном аппарате / **В. Н. Иванец, Г. Е. Иванец, Е. А. Светкина** // *Техника и технология пищевых производств*. – 2012. – №. 2 (25).

Bibliography (transliterated)

1. **Suchy, F. J., Brannon, P. M., Carpenter, T. O., Fernandez, J. R., et al.** NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health. *NIH Consensus and State-of-the-science Statements*, 2010, **27**(2), 1-27.
2. **Delacouer, H., et al.** Diagnosis of genetic high resolution melting analysis, *Ann Biol Clin (Par-is)*, 2017, **75**(1), 67-74.
3. **Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, D. T., et al.** Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2017, **57**(15), 3344-3356, doi:10.1080/10408398.2015.1123671.
4. **Ukraini Z.** Pro vnesennya zmin do deyakikh zakonodavchikh aktiv Ukraini shchodo vidpovidalnosti za koruptsiyni pra-voporushennya» vid 7 kvitnya 2011 roku № 3207-VI, *Yeletkronniy resurs*], 2011, Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua>, 2011.
5. **Heyman, M. B., Melvin, B.** Lactose intolerance in infants, children, and adolescents, *Pediatrics*, 2006, **118**, 3, 1279-1286.
6. **Zaitlin, P., Dwyer, J., Gleason, G. R** Mistaken beliefs and the facts about milk and dairy foods, *Nutrition Today*, 2013, **48**, 3, 135-143, doi: 10.1097/N0b013e3182941c62
7. **Misselwitz, B., Pohl, D., Frühauf, H., Fried, et al.** Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment, *United European gastroenterology journal*, 2013, **1**, 3, 151-159.
8. **Nicklas, A., Qu, H., Hughes, O., He, et al.** Self-perceived lactose intolerance results in lower intakes of calcium and dairy foods and is associated with hypertension and diabetes in adults., *The American journal of clinical nutrition*, 2011, **94**, 1, 191-198, doi:10.3945/ajcn.110.009860.

9. **Heaney, R. P.** Dairy intake, dietary adequacy, and lactose intolerance, *Advances in nutrition*, 2013, 4, 2, 151-156, doi:10.3945/an.112.003368.
10. **Peukhkuri, K., Khaponen, Kh.** Dannye issledovaniy neperenosimosti lak-tozy, *Molochnye produkty Valiio Zero Lactose*, 2008, 5.
11. **Di, Rienzo, D'angelo, G., D'aversa, F., Cam-panale, M. C., et al.** Lactose intolerance: from diagnosis to correct management, *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2013, 17, 2, 18-25.
12. **Lomer, M. C. E., Parkes, G. C., Sanderson, J. D.** Lactose intolerance in clinical practice—myths and realities, *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 2008, 27, 2, 93-103, doi: 10.1111/j.1365-2036.2007.03557.x.
13. **Matthews, B., Waud, J. P., Roberts, A. G., Campbell, A. K.** Systemic lactose intolerance: a new perspective on an old problem, *Postgraduate Medical Journal*, 2005, 81, 953, 167-173, doi: 10.1136/pgmj.2004.025551.
14. **Matthews, B., Waud, J. P., Roberts, A. G., Campbell, A. K.** Systemic lactose intolerance: a new perspective on an old problem, *Postgraduate Medical Journal*, 2005, 81, 953, 167-173, doi: 10.1136/pgmj.2004.025551.
15. **Suchy, F. J., Bran-non, P. M., Carpenter, O., Fernandez, J. R., Gilsanz, V., Gould, J. B., Miller, N. J.** NIH consensus development conference statement: lactose intolerance and health, NIH Consensus and State-of-the-science Statements., 2010, 27, 2, 1-27, doi:10.7326/0003-4819-152-12-201006150-00248.
16. **Liflyandskiy, V. G.** Noveyshaya entsiklopediya zdorovogo pitaniya, SPb.: Izdatelskiy Dom «Neva», 2004, 384 s.
17. **Ereshova, V. D.** Razrabotka tekhnologii nizkolaktoznogo morozhenogo: dikand. tekhn. nauk: 27.10.11, Stavro-pol, 2011, 152 s.
18. Pat. 4333954 SShA A23G9/00; A23G9/32; A23G9/02; A23G9/04. Soft ice cream and process for production thereof, Trzeciecki, Jan (Naerum, DK) zayavl. 11.07.1980.; opubl. 06.08.1982.
19. **Sharakhmatova, E.** Rozrobka tekhnologii bezlaktoznogo moroziva, zbagachenogo probiotichnimi kulturami, *Kharchova nauka i tekhnologiya*, 2010, 2, 83-87.
20. **Khramtsov, A. G., Yevdokimov, I. A., Kulikova, I. K., Yereshova, V. D.** Issledovaniya v oblasti polucheniya bezlak-toznykh molochnykh produktov Materi-aly Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Molochnaya industriya-2009». – M.: ANO «Molochnaya promyshlennost», 2009.
21. **Yevdokimov, I. A., Kulikova, I. K., Ereshova, V. D.** Poluchenie produktov s ponizhennym soderzhaniam laktozy. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal-nogo universiteta*, 2010, 2, 64-68.
22. **Noskova, V. I.** Razrabotka yogurta nizkolaktoznogo malozhirnogo: dikand. tekhn. nauk: 05.18.04. M., 2006. 183 s.
23. **Khramtsov, A. G., Vasilisin, V., Ryab-tseva, A., Vorotnikova, S.** Tekhnologiya produktov iz vtorichnogo molochnogo syrya, 2009.
24. **Vyshemirskiy, F. A., Ozhgikhina, N. N.** Pakhta: minimum kaloriy-maksimum biologicheskoy tsennosti, *Molochnaya promyshlennost*, 2011, 9, 54-56.
25. **Inikhov, G. S., Brijo, N. P.** Metody analiza moloka i molochnykh produktov, M.: Pishchevaya pro-myshlennost, 1971, 275.
26. **Markh, A., Zykina, F., Golubev, V. N.** Tekhnokhimicheskiy kontrol konservnogo pro-izvodstva, M.: Agropromizdat, 1989, 304, 7.
27. **Kornienko, Ye. A.** Sovremennyye printsipy vybora probiotikov, *Detskyye infektsii*, 2007, 6, 3.
28. **Nadtochiy, L. A., Orlova, O. Yu.** Innovatsii v biotekhnologii. Chast 2. Pishchevaya kombinatorka. uchebno-metodicheskoe posobie, SPb, Izd-vo Un-ta ITMO, 2014, 43.
29. **Khamagaeva, I. S., Boyarintseva, I. V., Potapchuk, N. Yu.** Issledovanie probioticheskikh svoystv kombinirovannoy zakvaski, *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2013, № 1, 1-5.
30. **Abaturov, A. Ye., Gerasimenko, O. N., Vysochina, I. L., Krivusha, Ye. L., Agafonova, Ye. A., Girina, I. A., Uzilevskaya, I. A.** Bakteritsidnaya aktivnost probioticheskikh sredstv, *Zdorove rebenka*, 2013, 8 (51).
31. **Juvonen, R., Virkajärvi, V., Priha, O., Laitila, A.** Microbiological spoilage and safety risks in non-beer beverages, *VTT Tiedotteita-Research Notes*, 2011, 2599.
32. **Irkítova, A. N., Kagan, Ya. R., Sergeeva, I. Ya.** Ekologicheskie aspekty i prak-ticheskoe znachenie atsidofilnoy palochki, *Aktualnye problemy tekhniki i tekhnologii pererabotki moloka*, 2011, № 8, 207–239.
33. **Kornienko, Ye. A.** Primenenie probiotikov v pediatrii: analiz lechebnogo i profilakticheskogo deystviya s pozi-tsiy dokazatelnoy meditsiny, *Lechashchyy vrach*, 2015, 9.
34. **Ginzburg, O. P.** Trete pokolenie yogurtnykh kultur yoflex®-novyye vozmozhnosti, *Pererabotka moloka*, 2011, 9, 8-9.
35. **Fadeeva, N.A.** Rol mikroflory tonkoy kishki v razvi-tii vtorichnoy laktaznoy nedostatochnosti: dikand. med. nauk: 14.01.28. M., 2014. 152 s.
36. **Didukh, N. A., Mogilyanskaya, N. A.** K voprosu proizvodstva fermentirovannykh molochnykh napitkov diabeticheskogo naznacheniya, *Molochna promislolist*, 2008, №3(46), 44-47.
37. **Potemskaya, O. I., Kigel, N. F., Danilenko, S. G., Kopilova, K. V.** β-Galaktozidazna Aktivnost Baktyeriy, Yak Krityeriy Vidboru shtamiv do skladu bakteryialnikh pryeparativ, *Kharchova nauka ta tekhnologiya*, 2017, 11, 3.
38. **Tsuda, H., Miyamoto, T.** Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food Guidelines for the evaluation of probiotics in food, *Food science and technology research*, 2010, 16, 1, 87-92.
39. **Poltavska, O. A., Kovalenko, N. K.A.** Bifidobakterii i ix Biologichni vlastivosti, *Mikrobiologiya i biotekhnologiya*, 2008, 1 (2), 8-17.
40. **Prosekov, A. Yu.** Kontseptualnye aspekty penoobrazovaniya v molochnykh sistemakh, *Khranenie i pererabotka selkhozsyrya*, 2002, 2, 24-27.
41. **Deynichenko, G. V., Yudina, I., Starostelev, O. V.** Vplyv stabilizatoriv na protses pinout-vorennya v modelnikh sistemakh kokteyliv na osnovi sko-lotin, *Obladnannya ta tekhnologii kharchovykh virobnytstv*, 2013, 31, 155-163.
42. **Ivanets, V. N., Ivanets, G. Ye., Svetkina, Ye. A.** Issledovanie penoobrazuyushchikh svoystv moloka pri obrabotke v rotorno-pulsatsionnom apparate, *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2012, 2 (25).

Сведения об авторах (About authors)

Трубнікова Анастасія Анатоліївна – аспірант кафедри технології молока, жирів та парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; E-mail: sc228004@ukr.net.

Anastasia Trubnikova – postgraduate of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Kanatnaya, 112, Odessa, Ukraine, 65039; E-mail: sc228004@ukr.net.

Шарахматова Тетяна Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології молока, жирів та парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; E-mail: sharahmatova@ukr.net.

Tetyana Sharakhmatova - PhD, Associate Professor of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Kanatnaya, 112, Odessa, Ukraine, 65039; E-mail: olchiktsupra@gmail.com.

Мамінтова Карина Олександрівна – магістр кафедри технології молока, жирів та парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; E-mail: mamintovak@gmail.com.

Karina Mamintova – the undergraduate of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Kanatnaya, 112, Odessa, Ukraine, 65039; E-mail: mamintovak@gmail.com.

Цупра Ольга Сергіївна – магістр кафедри технології молока, жирів та парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; E-mail: olchiktsupra@gmail.com.

Olha Tsupra – the undergraduate of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Kanatnaya, 112, Odessa, Ukraine, 65039; E-mail: olchiktsupra@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Трубнікова, А. А. Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива / **А. А. Трубнікова, Т.Є. Шарахматова, К. О. Мамінтова, О. С. Цупра** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 243-255. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.35.

Please cite this article as:

Trubnikova, A., Sharahmatova, T., Mamintova, K., Tsupra, O. Biotechnological aspects of a yogurt base from buttermilk for the production of low-lactose ice cream. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 243-255, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.35.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Трубнікова, А. А. Биотехнологические аспекты получения йогуртной основы для производства низьколактозного мороженого. / **А. А. Трубнікова, Т.Є. Шарахматова, К. О., Мамінтова, О. С. Цупра** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 243-255. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.35.

АННОТАЦІЯ В роботі обоснован вибір закваски для виробництва йогуртної основи як компонента низьколактозного мороженого, представлені дослідження технологічних властивостей йогуртної основи для виробництва низьколактозного мороженого. Проаналізовані інформаційні джерела по використанню мікроорганізмів, які активно продуцують фермент лактазу при виробстві йогуртної основи, і обоснован вибір композиції мікробіологічних культур по β-галактозидазній активності та кислотообразованню. Вивчена можливість використання пахти з підвищеною масовою долей сухих речовин як основного компонента для виробництва суміші мороженого. Встановлена раціональна концентрація сухого обезжиреного безлактозного молока, що входить до рецептури йогуртної основи (5,0% від її маси). Досліджено процес ферментації молочної основи DVS культурами (YF-903 + La-5) і DVS закваскою «Йогурт» VIVO. Зразки сквашеної йогуртної основи з використанням закваски DVS «Йогурт» VIVO мають більш щільну структуру і кращі технологічні показники – пенообразуючу здатність і стійкість пени. Визначено показники (вкус, запах, консистенція), які будуть впливати на якість мороженого. Визначено основні фізико-хімічні показники отриманої йогуртної основи (масова частка лактози і масова частка білків), що забезпечують раціональне вміщення в готовому низьколактозному мороженому основних компонентів хімічного складу (підвищене вміщення білків (5,41%), сахароза: глюкоза і галактоза (3,47%) і знижене вміщення лактози (3,01%). Отримані зразки йогуртної основи характеризувалися високим вміщенням корисної мікрофлори (біфідобактерій і лактобактерій). Найбільш ймовірне число лактобактерій – $2,5 \cdot 10^8$ КОЕ / см³, біфідобактерій – $3,0 \cdot 10^9$ КОЕ / см³. Отримана йогуртна основа має пробіотичні властивості. Приведена технологічна схема виробництва пробіотичної йогуртної основи з пахти.

Ключові слова: йогуртна основа; пахта; низьколактозне морожене; показники якості; пенообразуюча здатність; стійкість пени; молочнокислі мікроорганізми.

Поступила (received) 20.02.2018

УДК 628.316.12: 66.081.3

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.36

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОСФОРИЛЬОВАНОГО СОРБЕНТУ ПРИ ВИЛУЧЕННІ ІОНІВ Cu(II) В ПРИСУТНОСТІ СОЛЕЙ ЖОРСТКОСТІ

О. П. ХОХОТВА*, П. В. ЛИШТВА

кафедра екології та технології рослинних полімерів, інженерно-хімічний факультет, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, УКРАЇНА

*e-mail: khokhotva@bigmir.net

АНОТАЦІЯ Отримано фосфоровмісний вуглецевий сорбент карбонізацією соснової тирси, просякнутої розчинами $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ або сумішшю $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ і карбаміду. Кінетика сорбції найкраще описується рівнянням псевдо-другого порядку. Ізотерми сорбції, отримані для фосфоровмісного сорбенту в H^+ - і Na^+ -формах, а також необробленої соснової тирси, описуються рівнянням Ленгмюра. Сорбент у Na^+ -формі мав значення сорбційної ємності 20,6 мг/г – найвище серед досліджених сорбентів, найнижче – у необробленої тирси – 7,7 мг/г. Досліджено ефективність отриманих матеріалів при вилученні іонів міді з однокомпонентних розчинів та у присутності іонів кальцію.

Ключові слова: соснова тирса; фосфорилування; важкі метали; адсорбція; кінетика; ізотерми; солі жорсткості.

INVESTIGATION OF SORPTION PROPERTIES OF PHOSPHORYLATED SORBENT AT THE REMOVAL OF Cu(II) IONS IN THE PRESENCE OF HARDNESS SALTS

О. КХОКХОТВА*, П. ЛЫШТВА¹

Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, Faculty of Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Activated carbon has been used in water treatment technologies for many decades on a final stage of treatment process. It is well-known, however that activated carbon is an expensive material. Although any carbonaceous material with high carbon content and low ash is feasible for the production of activated carbon, in practice a limited number of carbon precursors exist as the principal sources, i.e. wood, coal and coconut shells. Agricultural by-products are potentially attractive feedstock because they are highly available and renewable raw materials and generated as low-cost byproducts. The research has been focused on the utilization of locally available biomass materials for the production of carbons with good adsorbing properties. Phosphorus-containing carbon sorbent was synthesized by carbonization of pine sawdust, soaked in 10% $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ solution or a mixture of $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ and carbamide. The effect of contact time on the efficiency of Cu(II) sorption by the obtained material from the model aqueous solutions was investigated. The equilibrium in the system sorbent-sorbate was reached in 1.5 hours, though half of the copper content was absorbed during the first 30 minutes. Experimental data were processed according to the pseudo-first pseudo-second-order kinetic models. Sorption of copper by phosphorylated carbon sorbent derived from pine sawdust from aqueous solutions was quite fast. Kinetics of the copper ions sorption was best described by pseudo-second order kinetic model. Sorption isotherms obtained for phosphorus-containing sorbent in H^+ - and Na^+ -forms, as well as the original untreated pine sawdust, had a maximum of sorption and can be well described by Langmuir equation. During the sorption process pH of solutions fell to 3,2-3,5. Sorbent in Na-form had maximum sorption capacity 20,6 mg/g – the highest value among the studied sorbents, the lowest one was in case of untreated sawdust – 7,7 mg/g. Efficiency of copper ions removal was investigated in the presence of Ca^{2+} .

Keywords: pine sawdust; phosphorylation; heavy metals; adsorption; kinetics; isotherms; hardness salts.

Вступ

Раціональне використання водних ресурсів є однією з актуальних задач екології, у вирішенні яких значна роль відводиться очищенню промислових оборотних і стічних вод. При цьому особливе значення має контроль за вмістом важких металів, які є одними з біологічно найнебезпечніших компонентів. Сорбційне очищення вод від металів є найбільш дієвим способом, що дозволяє не тільки знешкодити промислові стоки, а й повернути у виробництво очищену воду і цінні компоненти.

Активоване вугілля широко використовується в практиці очищення природних і стічних вод. Деякі сорти вугілля, наприклад, БАУ [1], можна використовувати для видалення з води іонів важких металів. Активоване вугілля отримують піролізом

сировини – зокрема, деревини, шкаралупи кокосового горіха, бітуму.

Останнім часом все більша увага приділяється фосфоровмісним катіонообмінникам, до особливостей яких відноситься висока спорідненість поглинутих важких металів до фосфорильного кисню. Вихідні матеріали просочують піролітичними добавками, найчастіше з яких застосовують фосфорну кислоту [2-5] для збільшення пористості, міцності, сорбційної здатності, виходу вугілля, зниження температури карбонізації. В результаті карбонізації у присутності активатора в структуру вуглецевої поверхні впроваджуються гетероатоми фосфору, що призводить до суттєвого покращення сорбційних властивостей вуглецю внаслідок зростання кількості кислотних поверхневих груп [6, 7].

Для створення фосфоровмісних сорбентів особливий інтерес представляє використання природних целюлозовмісних матеріалів. Великі запаси, поновлюваність, невисока вартість, прийнятна емність по токсикантам, можливість утилізації, а в окремих випадках і регенерації таких природних сорбентів роблять їх використання в промисловості економічно доцільним. У літературі є ряд робіт [8, 9], присвячених окисленню і фосфорилюванню целюлози для надання їй іонообмінних властивостей по відношенню до катіонів ряду металів у водних розчинах. Дослідники таких матеріалів вважають, що при окисленні целюлози, виділеної з рослин, значно підвищується концентрація карбоксильних груп, що беруть участь в іонообмінному процесі. Однак такі сорбенти мають невисоку сорбційну емність і ефективно виявляють себе лише в дуже розведених розчинах. Фосфорилювання целюлози призводить до включення в її структуру однієї, двох, трьох фосфатних груп, які і формують основний обмінно-сорбційний потенціал одержуваних матеріалів.

У літературі опубліковано мало відомостей, що стосуються хімічної модифікації самої деревини та інших целюлозовмісних природних матеріалів, а також лігніну як складової частини деревини, з метою отримання сорбційних матеріалів [10-13]. Проте використання таких сорбентів для практичних цілей ефективніше з ряду причин: 1), отримання сорбентів на основі тільки чистої целюлози, як це пропонується в ряді робіт, досить дороге, оскільки вимагає окремих технологічних стадій виділення целюлози з деревини; 2) деревна тирса є відходом деревообробних виробництв, має зручну для іонітів форму, велику кількість функціональних груп як в структурі целюлози, так і лігніну, що є центрами прищеплення функціональних іонообмінних груп; 3) має низьку вартість. Дані про хімічну модифікацію деревини з метою надання їй іонообмінних властивостей і про механізм сорбції катіонів в структурі такого сорбенту у публікаціях практично відсутні.

Мета роботи

Застосування фосфорної кислоти як активатора має істотний недолік – це агресивна рідина, яка потребує при поводженні з нею підвищених заходів безпеки. Зазначеного недоліку позбавлені амонійні солі цієї кислоти. Метою роботи є отримання фосфоровмісного сорбційного матеріалу на основі соснової тирси із застосуванням $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ в якості активатора карбонізації, дослідження сорбції іонів міді з монокомпонентних розчинів та у присутності солей кальцію.

Методика експерименту

Вихідною сировини для отримання вуглецевого сорбенту була тирса сосни *Pinus sylvestris*. Наважки тирси просочували розчинами

$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ з концентрацією 2-14% (співвідношення тирса:розчин = 1:6) протягом 24 годин. В окремих дослідах розчин для просочування містив 10% $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ і 5% карбаміду. Після цього зразки висушували при 105 °С і витримували при 170 °С протягом 1 годин. Після охолодження зразки відмивали гарячою дистильованою водою до нейтральної рН і відсутності фосфатів у промивних водах, висушували і зберігали в ексікаторі.

Для дослідження сорбційних властивостей отриманих вуглецевих матеріалів наважки вугілля по 1 г поміщали у модельні розчини CuSO_4 об'ємом 100 см³ з різними концентраціями і перемішували 2 год, після чого розчини фільтрували і визначали залишкову концентрацію міді у фільтраті фотометричним методом з діетилдитіокарбаматом натрію [14], а також вимірювали рН. На основі отриманих даних розраховували величини питомої сорбції (мг/г).

Для дослідження кінетики сорбції наважку отриманого вуглецевого матеріалу 1 г поміщали у модельні розчини CuSO_4 об'ємом 350 см³ з концентрацією 166 мг/дм³ і перемішували при сталій температурі 20 °С на магнітній мішалці, відбираючи проби через певні проміжки часу, у яких після фільтрування визначали залишкову концентрацію Cu(II) . Отримані дані були проаналізовані на відповідність кінетичним моделям псевдо-першого (Лагергрена) (1) та псевдо-другого порядку (2), які у лінійній формі мають вигляд:

$$\ln(q_{\max} - q_t) = \ln q_{\max} - k_1 t, \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{\max}^2} + \frac{1}{q_{\max}} t, \quad (2)$$

де q_t – кількість міді, адсорбованої в момент часу t , мг/г; q_{\max} – максимальна величина адсорбції йону металу, мг/г; k_1 – константа Лагергрена швидкості реакції псевдо-першого порядку, хв⁻¹; k_2 – константа швидкості реакції псевдо-другого порядку, г/(мг·хв).

Для побудови ізотерми сорбції наважки отриманого вуглецевого матеріалу по 1 г поміщали у модельні розчини CuSO_4 об'ємом 100 см³ з різними концентраціями Cu(II) у діапазоні 100-2500 мг/дм³ і перемішували протягом 2 год на магнітних мішалках, після чого розчини фільтрували і визначали залишкову концентрацію Cu(II) у фільтраті, а також вимірювали рН. На основі отриманих даних розраховували величини питомої сорбції (мг/г), будували ізотерми адсорбції Cu(II) . Параметри ізотерм Ленгмюра і Фрейндліха сорбції Cu(II) розраховували з відповідних графічних залежностей у лінійній формі (3) і (4) відповідно.

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{K_L a_m} \frac{1}{C_p} + \frac{1}{a_m}, \quad (3)$$

$$\lg a = \lg K_F + \frac{1}{n} \lg C_p, \quad (4)$$

де a – величина адсорбції, мг/г; a_m – гранична величина адсорбції в моношарі, мг/г; C_p – рівноважна

концентрація металу, мг/дм^3 ; K_L – константа рівняння Ленгмюра; K_F – константа рівняння Фрейндліха; n – константа інтенсивності сорбції, пов'язана з неоднорідністю енергії системи й розміром сорбованих часток.

Обговорення результатів

Зі збільшенням концентрації модифікатора $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ сорбційні властивості фосфоровмісних вуглецевого матеріалу зростають (рис. 1).

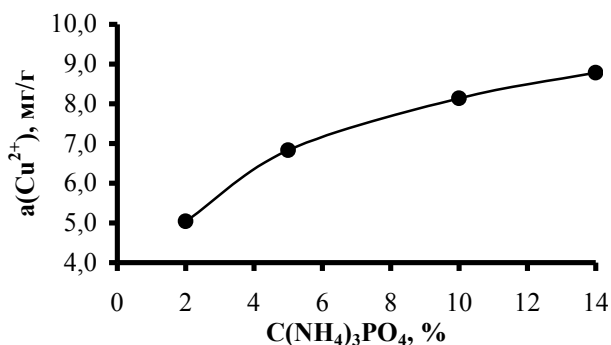


Рис. 1 – Вплив концентрації $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ при карбонізації основи тирси на величину питомої сорбції Cu^{2+} ($\text{C}_{\text{поч.}} = 137 \text{ мг/дм}^3$)

В процесі сорбції рН розчинів міді знижувалося з 5,35 до 3,8-3,4 в залежності від концентрації модифікатора. Оскільки в процесі вилучення іонів міді задіяні кілька механізмів, основними з яких є іонний обмін і комплексоутворення, за зниженням рН в процесі сорбції можна визначити, що у випадку 2%-го $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ на іонний обмін припадає 8% сорбованої міді і зі збільшенням концентрації ця частка зростає до 11,4% у випадку 14%-го $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.

Підвищення концентрації модифікатора вище 10% не призводить до значного росту питомої сорбції, але суттєво збільшує витрату води на промивку, тому для подальших дослідів вуглецевий сорбент готували з використанням 10%-го $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.

Рівновага у системі сорбент-сорбат встановлювалася через 1,5 год з початку перемішування фаз, при цьому половина вмісту міді вилучалася протягом перших 30 хв (рис. 2).

На першій стадії відбувається іонний обмін, при якому слабкі кислоти фосфатні групи виконують катіонообмінні функції. Дисоціація таких груп досить ефективно протікає до рН 3,5-4,2 і супроводжується швидким іонним обміном. На кривих сорбції це відображається у значному зниженні рН розчину в перші хвилини сорбції. Однак по мірі підкислення розчину дисоціація фосфорнокислих функціональних груп утруднюється і процес обміну іонів наближається до рівноважного стану. Йони водню залишаються в приповерхневому шарі і ускладнюють відщеплення кожного наступного протона від ще непродисоційованих груп Р-О-Н, процес сорбції

$\text{Cu}(\text{II})$ загальмовується. Це відображається у вигляді більш пологої ділянки на кривій сорбції. Кожен елементарний акт іонізації груп Р-О-Н призводить до ще більшого накопичення заряджених частинок на поверхні сорбенту і, відповідно, до уповільнення процесу іонного обміну.

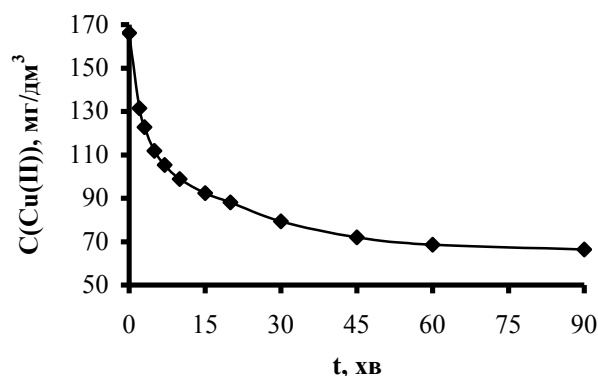


Рис. 2 – Залежність залишкової концентрації $\text{Cu}(\text{II})$ від часу сорбції

Неоднорідність структури сорбенту – нерегулярне розташування гідрокси-, фосфатних та інших кисневмісних груп на поверхні карбонізованої деревини, здатних впливати на ступінь дисоціації кислотних груп – обумовлюється наявністю у складі деревини лігніну. У слабкокислотних і нейтральних розчинах функціональна група дисоційована переважно по I ступені. Можна припустити, що у слабкокислих розчинах функціональні групи -ОН, Р-ОН також можуть утворювати з сорбованим катіоном координаційні зв'язки, міцність яких буде залежати від природи катіона. Утворення зв'язків у таких комплексах відбувається за рахунок йонної взаємодії іонів металу з іонізованими гідроксогрупами Р-ОН і координаційної – за рахунок фосфорильного кисню Р=О. На міцність таких комплексів, їх стійкість істотно впливають кислотність середовища, природа матеріалу, іонна сила розчину. Крім того, не слід виключати можливість комплексоутворення у водних розчинах і гідроліз сорбованих іонів металів.

Рівняння (1) і (2) у графічному вигляді показані на рис. 3 і 4. Сорбція $\text{Cu}(\text{II})$ на карбонізованому фосфоровмісному сорбенті краще описується кінетичною моделлю псевдо-другого порядку, що в свою чергу свідчить про певну частку хемосорбції, яка супроводжує процес вилучення міді з розчину. Розрахована величина максимальної питомої ємності найближча до експериментально отриманого значення. Початкова швидкість сорбції $h = 2,33 \text{ мг/(г}\cdot\text{хв)}$.

Розраховані параметри моделей зведено у табл.1.

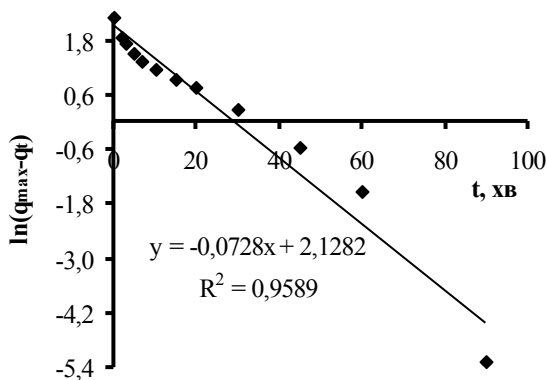


Рис. 3 – Кінетична модель псевдо-першого порядку

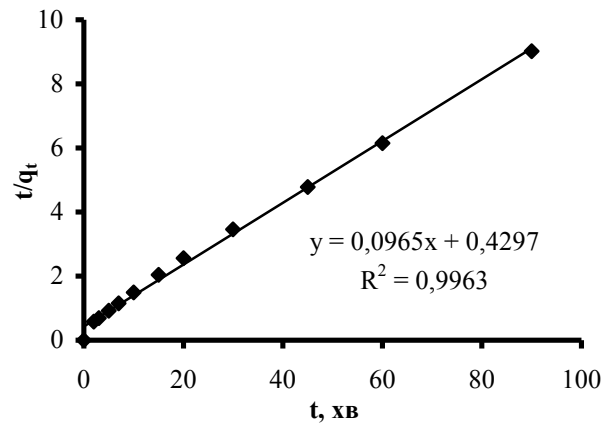


Рис. 4 – Кінетична модель псевдо-другого порядку

Таблиця 1 – Параметри кінетичних моделей псевдо-першого і псевдо-другого порядків для сорбції іонів Cu(II) фосфоровмісним вуглецевим сорбентом

$q_{\text{експ}}$, мг/г	Кінетична модель						
	псевдо-першого порядку			псевдо-другого порядку			
	k_1 , хв ⁻¹	$q_{\text{модель}}$, мг/г	R^2	k_2 , г/(мг·хв)	$q_{\text{модель}}$, мг/г	h , мг/(г·хв)	R^2
9,97	0,0728	8,40	0,959	0,0217	10,36	2,33	0,996

Оскільки фосфорильований сорбент, як було вказано вище, проявляє катіонообмінні властивості, після відмивання до нейтрального рН він знаходиться в H^+ -формі. Частина отриманого сорбенту витримували у 10%-му розчині NaCl для переведення у Na^+ -форму, після чого відмивали і висушували.

Ізотерми адсорбції Cu(II) на фосфорильованому сорбенті в H^+ - і Na^+ -формах представлені на рис. 5. Для порівняння наведено ізотерму сорбції Cu(II) на необробленій сосновій тирсі. Ізотерми мають Ленгмюрівський вигляд, розраховані параметри ізотерм наведені у табл. 2.

Найкраща кореляція експериментальних даних з моделлю Ленгмюра – коефіцієнт детермінації $R^2 > 0,95$ і розраховані значення максимальної сорбційної ємності близькі до експериментально отриманих.

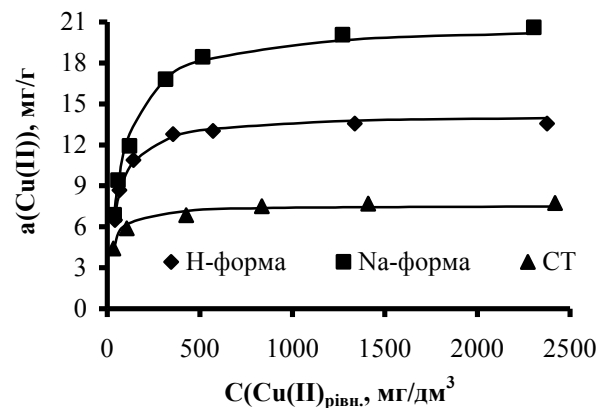


Рис. 5 – Ізотерми адсорбції Cu(II) карбонізованим фосфоровмісним сорбентом в H^+ - і Na^+ -формах та необробленою сосною тирсою (СТ)

Таблиця 2 – Параметри ізотерм сорбції Cu(II) на фосфоровмісному сорбенті та необробленій тирсі сосни

Сорбент	a_m експерим, мг/г	Ізотерма					
		Ленгмюра			Фрейндліха		
		K_L	a_m , мг/г	R^2	$1/n$	K_F	R^2
сорбент у H^+ -формі	13,56	0,0214	14,25	0,9923	0,1664	1338,75	0,8106
сорбент у Na^+ -формі	20,61	0,0133	20,83	0,9943	0,2611	550,94	0,9053
необроблена тирса	7,75	0,0424	7,56	0,9778	0,1296	1232,54	0,9319

Сорбційна ємність необробленої тирси обумовлена наявністю як іонообмінних центрів карбоксильних і фенольних кислотних груп, так і присутністю відносно невеликої кількості гетероатомів нітрогену, які здатні утворювати з металами координаційні зв'язки. З іншого боку, під час сорбції на необробленій тирсі у розчин виділялися поліфенольні сполуки, які надавали очищуваному

розчину світло-жовтого забарвлення і внаслідок комплексоутворення з Cu(II) сприяли десорбції вилученої з розчину міді. У той же час під час карбонізації в присутності фосфату амонію або фосфорної кислоти частково обвуглювалися полімерні компоненти вихідного матеріалу, вносилися як фосфатні кислотні центри, так і створювалися додаткові центри комплексоутворення,

що сумарно призводило до зростання сорбційної ємності. Сорбент в у H^+ -формі в процесі сорбції виділяв протони, рН знижувалася до 3,2-3,5 і падіння рН не було пропорційним зниженню концентрації $Cu(II)$, що свідчить про відносно невеликий вклад іонного обміну у процесах вилучення міді з водних розчинів фосфорильованим сорбентом. Фосфорильований вуглецевий сорбент у Na^+ -формі мав найвище значення сорбційної ємності серед досліджених сорбентів, оскільки зниження рН в процесі сорбції було не великим і у системі був практично відсутній зворотній конкуруючий процес заміщення сорбованої міді виділеними протонами.

Традиційно для фосфорильовання деревини використовують ортофосфорну кислоту у суміші з

карбамідом для зниження деструктивної дії кислоти на лігноцелюлозний матеріал [15]. Тому частину наважок соснової тирси було модифіковано сумішшю 10%-го $(NH_4)_3PO_4$ та 5%-го карбаміду і випробувано сорбційні властивості отриманого вуглецевого матеріалу. Кожну порцію фосфорильованого сорбенту ділили навпіл і одну з половин переводили у Na^+ -форму. Таким чином отримали ряд сорбентів, отриманих фосфорильованням в присутності карбаміду і без нього в H^+ - і Na^+ -формі, властивості яких порівнювали по ефективності вилучення іонів міді з розчинів з однаковою початковою концентрацією. Результати наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняння сорбційних властивостей зразків фосфорильованого сорбенту в H^+ - і Na^+ -формі.

№	Модифікатор	Форма	$C(Cu(II))_{поч.}$, мг/дм ³	рН _{поч.}	рН _{кін.}	а, мг/г
1	10%-й $(NH_4)_3PO_4$	H^+	153	5,43	3,37	8,86
2		Na^+			3,98	9,76
3	H^+	3,66			9,58	
4	Na^+	4,73			10,66	

При переході з H^+ -форми в Na^+ -форму питома сорбція дещо зростала при одночасному меншому падінні величини рН. Присутність карбаміду під час модифікації також позитивно впливала на сорбційні властивості отриманих матеріалів. Менша кислотність очищеної води означає меншу необхідність корекції рН перед поверненням у водооборотний цикл або перед скидом.

Як відомо, присутність інших електролітів, особливо іонів жорсткості, суттєво впливає на ступінь вилучення іонів важких металів у процесах, де одним

з механізмів є іонний обмін. За значного надлишку солей кальцію досягнути помітного зниження вмісту іонів міді у катіонообміннику практично неможливо.

Була визначена здатність зразків фосфорильованого вуглецевого сорбенту, отриманих у попередній серії дослідів, вилучати іони міді з розчинів $CuCl_2$ в присутності іонів кальцію, що містили ~ 1 г/дм³ кальцію у вигляді $CaCl_2$. Залишковий вміст Ca^{2+} визначали комплексометричним титруванням при рН=12 з мурексидом. Результати наведені у табл. 2.

Таблиця 4 – Вилучення іонів $Cu(II)$ фосфорильованим вуглецевим сорбентом в H^+ - і Na^+ -формі в присутності іонів Ca^{2+} ($C_{поч.} = 970$ мг/дм³).

№	Модифікатор	Форма	$C(Cu(II))_{поч.}$, мг/дм ³	рН _{поч.}	рН _{кін.}	$C(Ca^{2+})_{зал.}$, мг/дм ³	а, мг/г
1	10%-й $(NH_4)_3PO_4$	H^+	150	5,98	3,21	920	7,66
2		Na^+			3,33	900	8,38
3	H^+	3,22			920	8,29	
4	Na^+	3,95			890	9,11	

Порівнюючи дані у табл. 3 і 4 видно, що у випадку сорбції в присутності кальцію падіння рН в очищених розчинах більше, однак зниження питомої сорбції міді, порівняно з сорбцією у відсутності кальцію, було на 13,5-14,5 %, що приблизно відповідає частці міді, вилученої за іонообмінним механізмом. Очевидно, ця обмінна ємність заповнилася іонами Ca^{2+} , а $Cu(II)$ вилучався переважно за механізмом хелатоутворення.

Іони міді, сорбовані фосфорильованим вуглецевим сорбентом, практично не переходять назад у розчин при тривалому контакті з водою. Так наважкою сорбенту 1 г, отриманого з використанням 10%-го $(NH_4)_3PO_4$, при сорбції міді зі 100 см³ модельного розчину з початковою концентрацією 137 мг/дм³ було вилучено 8,13 мг іонів міді, а при наступному її контакті з 20 см³ дистильованої води протягом тижня при періодичному струшуванні у

розчин перейшло лише 2,3 мкг, що становить 0,03% від адсорбованої кількості.

Висновки

Сорбція міді фосфорильованим вуглецевим сорбентом, отриманим з соснової тирси, з водних розчинів відбувається досить швидко. Кінетика процесу вилучення іонів міді найкраще описується рівняння псевдо-другого порядку. Ізотерми адсорбції міді фосфорильованим вуглецевим сорбентом мають чіткий максимум насичення і описуються моделлю Ленгмюра. Найбільша сорбційна ємність у сорбенту в Na^+ -формі, найменша у необробленої соснової тирси, з якої виготовляли сорбент.

Основним механізмом у вилученні іонів міді є фосфорильованим вуглецевим сорбентом є хелатоутворення за донорно-акцепторним механізмом з неподіленними електронними парами кисню, нітрогену і фосфору. Сорбція краще протікала у випадку використання як модифікатора суміші 10%-го $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ і 5%-го карбаміду з наступним переведення отриманого вуглецевого сорбенту в Na^+ -форму. Процес вилучення іонів $\text{Cu}(\text{II})$ зразками фосфорильованого вуглецевого сорбенту виявився малочутливим до присутності іонів Ca^{2+} .

Список літератури

1. Сорбция ионов тяжелых металлов из воды активированными углеродными адсорбентами / А. Р. Гимаева, Э. Р. Валинурова, Ф. Х. Кудашева, Д. К. Игдавлетова // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т. П. – № 3. – С. 350 – 356.
2. Toles, C. A. Phosphoric Acid Activation of Nutshells for Metal and Organic Remediation: Process Optimization / C. A. Toles, W. E. Marshall, M. M. Johns // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* – 1998. – № 72. – P. 255 – 263. – doi: 10.1002/(SICI)1097-4660(199807)72:3<255::AID-JCTB890>3.0.CO;2-P.
3. Aggarwal, P. The Production of Active Carbon from Corn Cob by Chemical Activation / P. Aggarwal, D. Dollimore // *Thermal Analysis*. – 1997. – № 50. – P. 525 – 531. – doi: 10.1007/BF01979025.
4. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs / A. Abdel-Nasser, El-Hendavy, S.E. Samra, B. S. Girgis // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects*. – 2001. – № 180. – P. 209 – 221. – doi: 10.1016/S0927-7757(00)00682-8.
5. Surface chemistry of phosphorus-containing carbons of lignocellulosic origin / A. M. Puziy, O. I. Poddubnaya, A. Martínez-Alonso, F. Suárez-García, Juan M. D. Tascón // *Carbon*. – 2005. – № 43 (14). – P. 2857 – 2868. – doi: 10.1016/j.carbon.2005.06.014.
6. Пузий, А. М. Способы получения, структура и физико-химические свойства фосфорилированных углеродных адсорбентов / А. М. Пузий // *Теоретическая и экспериментальная химия*. – 2011. – т. 47, № 5. – С. 265 – 278.
7. Puziy, A. M. Adsorption by phosphorus-containing carbons / A. M. Puziy, J. M. D. Tascón // *Novel Carbon Adsorbents*. – Amsterdam: Elsevier, 2012. – P. 245 – 267.

8. Байклз, Н. Целлюлоза и ее производные / Н. Байклз, Л. Сегал. – М.: Наука, 1974. 504 с.
9. Никитин, Н. И. Химия древесины и целлюлозы / Н. И. Никитин. – М-Л: Изд-во академии НАУК СССР, 1962, 711 с.
10. Ставицкая, С. С. Адсорбция ионов меди углеродными адсорбентами, модифицированными фосфорной кислотой при различных температурах / С. С. Ставицкая, В. М. Викарчук, М. Ф. Ковтун, О. И. Поддубная, А. М. Пузий // *Химия и технология воды*. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 203-210.
11. Хмылко, Л. И. Сорбенты на основе лигнина и целлюлозосодержащих материалов / Л. И. Хмылко, С. Е. Орехова // *Свиридовские чтения: сб. ст.* – 2012. – Вып. 8. – С. 232-239.
12. Highly acidic phosphorus-containing porous carbons: synthesis and physicochemical properties / N. D. Lysenko, P. S. Yaremov, M. V. Ovcharova, V. G. Ilyin // *Journal of Materials Science*. – 2012. – Volume 47, Issue 7. – pp. 3089–3095. – doi:10.1007/s10853-011-6142-z.
13. Vykov, G. L. A sorbent based on phosphorylated lignin / G. L. Vykov, B. G. Ershov // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2010. – Volume 83, Issue 2. – pp. 316–319. – doi:10.1134/S1070427210020254.
14. Хохотва, О. П. Видалення з води іонів міді модифікованим феритним сорбентом / О. П. Хохотва, Ю. І. Аветісян // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. – 2014. – № 23. – С. 133 – 136.
15. Лунева, К. Н. Термические превращения системы $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-CO}(\text{NH}_2)_2$ / К. Н. Лунева, Л. И. Петровская, Н. И. Рекашова // *Журнал прикладной химии*. – 2000. – т. 10. – С. 1585 – 1589.

Bibliography (transliterated)

1. Gimaeva, A. R., Valinurova, Je. R., Kudasheva, F. H., Igdavletova, D. K. Sorbcija ionov tzhzhelyh metallov iz vody aktivirovannymi uglerodnymi adsorbentami, *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*, 2011, T.P, № 3, 350 – 356.
2. Toles, C. A., Marshall, W. E., Johns, M. M. Phosphoric Acid Activation of Nutshells for Metal and Organic Remediation: Process Optimization, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1998, № 72, 255 – 263.
3. Aggarwal, P., Dollimore, D. The Production of Active Carbon from Corn Cob by Chemical Activation, *Thermal Anal*, 1997, № 50, 525 – 531.
4. Abdel-Nasser, A., Hendavy, E. I., Samra, E., Girgis, B. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects*, 2001, № 180, 209 – 221.
5. Puziy, A. M., Poddubnaya, O. I., Martinez-Alonso, A., Suárez-García, F., Tascón, J. M. D. Surface chemistry of phosphorus-containing carbons of lignocellulosic origin, *Carbon*, 2005, № 43 (14), 2857 – 2868.
6. Puziy, A. M. Sposoby poluchenija, struktura i fiziko-himicheskie svojstva fosforilirovannyh uglerodnyh adsorbentov *Teoreticheskaja i jeksperimental'naja himija*, 2011, V. 47, № 5, 265 – 278.
7. Puziy, A. M., Tascón, J. M. D. Adsorption by phosphorus-containing carbon *Novel Carbon Adsorbents*, Amsterdam: Elsevier, 2012, P. 245 – 267.
8. Bikales, M., Segal, L. Celljuloza i ee proizvodnye. M.: Nauka, 1974. 504 p.

9. **Nikitin, N. I.** Himija drevesiny i celljulozy. M-L: Izd-vo akademii nauk SSSR, 1962, 711.
10. **Stavickaja, S. S., Vikarchuk, V. M., Kovtun, M. F., Poddubnaja, O. I., Puzij, A. M.** Adsorbciya ionov medi uglerodnymi adsorbentami, modifitsirovannymi fosfornoj kislotoj pri razlichnyh temperaturah. *Himija i tehnologija vody*, 2014, V. **36**, № 3, 203-210.
11. **Hmylko, L. I., Orehova, E.** Sorbenty na osnove lignina i celljulozosoderzhashchih materialov. *Sviridovskie chtenija: sb. st.*, 2012, **8**, 232-239.
12. **Lysenko, N. D., Yaremov, P., Ovcharova, M. V., Ilyin, V. G.** Highly acidic phosphorus-containing porous carbons: synthesis and physicochemical propertie. *Journal of Materials Science*, 2012, **47**, 7, 3089–3095.
13. **Bykov, G. L., Ershov, B. G.** A sorbent based on phosphorylated lignin. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2010, **83**, 2, 316–319.
14. **Khokhotva, O. P., Avetisyan, Y. I.** Vydalennya z vody ioniv midi modyfikovanym ferytnym sorbentom, *Problemy vodopostachannya, vodovidvedennya ta hidravliki*, 2014, **23**, 133 – 136.
15. **Luneva, K. N., Petrovskaja, L. I., Rekashova, N. I.** Termicheskie prevrashhenija sistemy $H_3PO_4-CO(NH_2)_2$. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2000, **10**, 1585 – 1589.

Відомості про авторів (About authors)

Хохотва Олександр Петрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів; м. Київ, Україна; e-mail: khokhotva@bigmir.net.

Oleksandr Khokhotva – Ph. D., Docent, Associate Professor, Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: khokhotva@bigmir.net.

Лиштва Павло Валерійович - студент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна; e-mail: pavell95ua@yahoo.com.

Pavlo Lyshtva – student of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: pavell95ua@yahoo.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Хохотва, О. П. Дослідження властивостей фосфорильованого сорбенту при вилученні іонів Cu(II) в присутності солей жорсткості / **О. П. Хохотва, П. В. Лиштва** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 256-262. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.36.

Please cite this article as:

Khokhotva, O., Lyshtva, P. Investigation of sorption properties of phosphorylated sorbent at the removal of Cu(II) ions in the presence of hardness salts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 256-262, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.36.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Хохотва, А. П. Исследование свойств фосфорилированного сорбента при извлечении ионов Cu(II) в присутствии солей жесткости / **А. П. Хохотва, П. В. Лиштва** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 256-262. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.36.

АННОТАЦИЯ Получен фосфорсодержащий сорбент карбонизацией сосновых опилок, пропитанных растворами $(NH_4)_3PO_4$ или смесью $(NH_4)_3PO_4$ и карбамида. Кинетика сорбции лучше всего описывается уравнением псевдо-второго порядка. Изотермы сорбции, полученные для фосфорсодержащих сорбентов в H^+ и Na^+ -формах, а также необработанных сосновых опилок, описываются уравнением Ленгмюра. Сорбент в Na^+ -форме имел значение сорбционной емкости 20,6 мг/г – самое высокое среди исследованных сорбентов, самое низкое – у необработанной опилок – 7,7 мг/г. Исследована эффективность полученных материалов при извлечении ионов меди из однокомпонентных растворов и в присутствии ионов кальция.

Ключевые слова: сосновые опилки; фосфорилирование; тяжелые металлы; адсорбция; кинетика; изотермы; соли жесткости.

Надійшла (received) 07.03.2018

УДК 661.12 + 615.45

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.37

РАСТВОРИМОСТЬ СИЛДЕНАФИЛА ЦИТРАТА В СИСТЕМАХ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ–ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ

А. А. ЧЕРНЫЙ¹, Д. С. ОЛЕЙНИКОВ¹, Р. П. САВЯК¹, В. Г. ТИМКО¹, С. А. КОНДРАТОВ^{2*}

¹ Научно–производственная фирма «Микрохим», г. Рубежное, Луганская обл., УКРАИНА

² Кафедра высшей математики и компьютерных технологий Института химических технологий Восточноукраинского национального университета им. В.Дала, г. Рубежное, Луганская обл., УКРАИНА

*e-mail: kondratovsa@gmail.com

АННОТАЦИЯ Исследованы закономерности растворения силденафила цитрата в смесях вода–полиэтиленгликоль с молекулярными массами 200, 400 и 600, полиэтиленгликоль–400 – 1,2–пропиленгликоль, а также подкисленные до pH 4 системы полиэтиленгликоль–400 – 1,2–пропиленгликоль. При подкислении системы ПГ–ПЭГ до pH 4 растворимость силденафила цитрата достигает 24 % масс. Показано, что кривые растворимости в системе ПЭГ–вода хорошо описываются моделью Жуйбана–Акри. Для систем ПГ–ПЭГ–400 предложена модифицированная модель Жуйбана–Акри. На основе оптимального состава смеси растворителей разработана рецептура производства силденафила цитрата в форме спрея.

Ключевые слова: силденафила цитрат; полиэтиленгликоль; пропиленгликоль; растворимость; спрей; математические модели

THE SOLUBILITY OF SOLDENAFIL CITRATE IN PROPYLENE GLYCOL– POLYETHYLENE GLYCOL SYSTEMS

A. CHORNYI¹, D. OLEYNIKOV¹, R. SAVYAK¹, V. TIMKO¹, S. KONDRATOV²

¹ Research and Production Company "Microkhim", Ltd, Rubezhnoye, UKRAINE

² Department of mathematics and computer technologies Institute of Chemical Technology of Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Rubezhnoye, UKRAINE

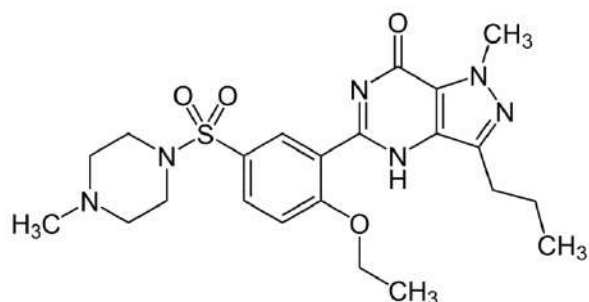
ABSTRACT The aim of the work is to study the dissolution curves of sildenafil citrate in binary media containing polyethylene glycols, to reveal the regularities of dissolution, to select the optimal solvent composition, to develop mathematical models of the process, to develop the sildenafil citrate preparation in a spray form on the basis of the results of studies. The regularities of the dissolution of sildenafil citrate in water-polyethylene glycol mixtures (molecular weights 200, 400, 600) and polyethylene glycol-400–1,2-propylene glycol system were investigated. It was found that the solubility curves of the systems studied have an extreme nature. The position of the maximum in the PEG-water systems (80-90 % by weight of PEG) does not depend on the molecular weight of the polymer. In the PG-PEG system, the shift in the position of the maximum to the region of ~ 10% occurs together with a simultaneous increase in the solubility about 2 times in the comparison of water systems. If the PG-PEG-400 system is acidified to pH 4, the solubility of SFC increases, reaching a maximum of 24 % by weight at the point of maximum. It was shown that the solubility curves in the PEG-water system are well described by the Jouyban–Acree model. For PG-PEG-400 systems, the agreement between the data and the model is unsatisfactory. The modified version of the Jouyban–Acree was proposed. The degree function of the pair product is the concentration of the components of the solvent mixture used in the modified model. The procedure for calculating of parameters by non-linear least-squares methods with the help of Excel was proposed. The model allows us to describe satisfactorily the solubility of SFC in PG-PEG-400 systems. The formulation of production of sildenafil citrate in the form of a spray based on the optimal composition of the solvent mixture has been developed. The industrial release of the spray is organized.

Keywords: sildenafil citrate; polyethylene glycol; propylene glycol; solubility; spray; mathematical models

Введение

Эректильная дисфункция является одной из основных медицинских проблем мужчин среднего и пожилого возраста. Распространенность ее среди мужчин разного возраста составляет 10–20 % [1, 2]. Эти показатели делают лечение и профилактику эректильной дисфункции одной из важных социальных задач.

Для лечения этого заболевания с 1998 г. в клинической практике применяется разработанный фирмой Pfizer силденафила цитрат (SFC) (I), который является основой таблетированного препарата с торговым названием "Viagra®". При приеме вовнутрь препарат быстро всасывается, его биодоступность составляет 41 %, время достижения максимальной концентрации в крови составляет 60 мин, время половинного выведения – 4 часа [3].



(I)

Силденафила цитрат за почти 20 лет клинического применения показал высокую эффективность (до 80 %) и безопасность у различных категорий больных с ЭД.

Таблетированная форма имеет недостатки. Так, при приеме силденафила цитрата одновременно с употреблением пищи с высоким содержанием жиров, скорость всасывания значительно снижается, а время достижения максимальной концентрации (T_{max}) увеличивается на 60 мин. При этом максимальная концентрация в крови в среднем уменьшается на 29% [4]. Это снижает эффективность препарата. В связи с этим разработка лекарственных форм силденафила, альтернативных таблетированной форме, является актуальной задачей.

2 Анализ литературных данных и постановка проблемы

Наиболее интересной альтернативой таблетированной форме SFC может быть препарат в форме спрея для введения в полость рта. Полость рта является удобным и безболезненным участком для введения лекарственного средства с высокой проницаемостью и поступлением в большом количестве в кровь [5]. Это приводит к быстрому началу действия лекарственного препарата, что существенно для SFC, когда требуется быстрая доставка и редкий прием. Кроме того, скорость всасывания и биодоступность действующего вещества в этом случае не зависят от пищи, которую употребляет человек.

К настоящему времени запатентованы несколько композиций SFC для применения в виде спрея. В [6] предложена водная жидкая композиция на основе раствора SFC, содержащая пропиленгликоль, полиэтиленгликоль и глицерин, с pH от 4 до 6. Однако содержание SFC в не превышает 1 %, что требует большого объема введения. В [7] предложена композиция на основе раствора SFC и его фармацевтически-приемлемых солей в водно-органических растворах, содержащих полярные органические растворители: этанола, пропиленгликоля (ПГ) или полиэтиленгликоля (ПЭГ), органическую или неорганическую кислоту для обеспечения pH 1,5–3, а также пропеллент и вкусовые

добавки. В [8] предлагается готовить спрей силденафила в виде тонкой дисперсии с содержанием твердой фазы 0,1–25 %. Композиция содержит водно-органический растворитель (пропиленгликоль, полиэтиленгликоль, этанол), пропеллент и вкусовые добавки. Однако в этом случае композиция имеет меньшую биодоступность по сравнению с раствором и имеет тенденцию к расслоению и возможности забивания сопла распылителя.

В настоящее время не найдено достаточно эффективной системы фармацевтически приемлемых растворителей для получения достаточно высокой (не менее 10 % масс.) концентрации силденафила цитрата.

Силденафил цитрат довольно слабо растворим в воде и этаноле (4–5 г/л при 20 °C) [9]. В то же время известно, что в смеси полярных растворителей кривые растворения носят обычно экстремальный характер, с наличием в середине кривой одного, а иногда двух максимумов, в которых растворимость выше, чем в каждом из индивидуальных компонентов [10–14]. Не является исключением и SFC: в системе вода–этанол растворимость в точке максимума возрастает до 14 г/л [9]. В физико-химической фармакологии разработаны подходы к управлению растворимостью препаратов, в первую очередь путем изменения кислотности среды [12,13]. Это позволяет надеяться найти состав смеси растворителей, обеспечивающих достаточную концентрацию SFC.

Среди растворителей, которые можно применять для приготовления лекарственных препаратов, наибольший интерес представляют полиэтиленгликоли (ПЭГ). Эти соединения обладают рядом уникальных свойств, как компонентов лекарственных препаратов, которые не ограничиваются только их растворяющими свойствами [15].

Цель работы

Исследование кривых растворения силденафила цитрата в бинарных средах, содержащих полиэтиленгликоли, выявление закономерностей растворения, среды, подбор оптимального состава растворителя, разработка математических моделей процесса, разработка на основе результатов исследований препарата силденафила цитрата в спрей-форме.

Методы эксперимента

В работе использовали:

- силденафила цитрат фармакопейный производства Гетеро Драгз Лимитед, Индия;
- полиэтиленгликоли – 200, 400, 600 фармакопейные производства BASF, Германия.
- 1,2-пропиленгликоль фармакопейный производства BASF, Германия.

Пределную концентрацию сildenфила цитрата в растворах определяли путем растворения избыточного количества сildenфила цитрата в исследуемом растворителе. Растворение сildenфила осуществляли при интенсивном перемешивании и постоянной температуре 20 °С в течение 24 часов. Полученную суспензию отфильтровывали. Содержание сildenфила цитрата в растворе определяли методом ВЭЖХ в соответствии с [16].

Анализ проб проводили на жидкостном хроматографе SHIMADZU LC-2010 СНТ с УФ-детектором (Япония). Используемая колонка – Zorbax SB-C18 4,6 мм×150 мм×5 мкм (США). Подвижная фаза: метанол – 25 %, ацетонитрил – 17 %, 0,05 М раствор триэтиламина с рН 3,0 – 58 %.

Исследование закономерностей растворимости SFC

На первом этапе получили и проанализировали кривые растворения SFC, используя в качестве среды бинарные смеси вода–ПЭГ с молекулярными массами 200, 400, 600, и 1,2–пропиленгликоль (ПГ) – ПЭГ–400.

Как следует из рис. 1, растворимость SFC в смеси ПЭГ – вода в зависимости от состава носит экстремальный характер: на кривых растворимости имеется четко выраженный максимум. Можно отметить следующие особенности. Растворимость SFC в системе ПЭГ–вода увеличивается в ряду:

$$\text{ПЭГ-200} < \text{ПЭГ-400} < \text{ПЭГ-600},$$

то есть, с увеличением молекулярной массы соразстворителя. В чистом ПЭГ растворимость при 20 °С также несколько увеличивается с ростом молекулярной массы: для ПЭГ–200, 400, 600 она составляет, соответственно, 3,3; 3,5 и 4,2 % масс. Второй особенностью является то, что положение максимума (80–90 % ПЭГ, рис. 1) практически совпадает для ПЭГ–200, 400 и 600. При этом, отношение растворимости в точке максимума и в чистом ПЭГ линейно зависит от молекулярной массы полимера (рис. 2). Уравнение прямой (рис. 2):

$$S_{\text{отн}} = 1,0595 + 8,8203 \cdot 10^{-4} \cdot M_{\text{ПЭГ}}, \quad (1)$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,996$.

При переходе от системы вода–ПЭГ к системе ПГ–ПЭГ происходят следующие изменения (рис. 1):

- увеличивается растворимость SFC: кривая растворимости в ПГ–ПЭГ–400 лежит выше, чем кривые растворимости в системе вода–ПЭГ. Вследствие этого относительная максимальная растворимость в системе ПГ–ПЭГ–400 ($S_{\text{отн}} = 3,1$) существенно выше, чем в системе вода–ПЭГ;

- положение максимума растворимости сдвигается в сторону низкой концентрации ПЭГ–400 и наблюдается при массовой доле $f_{\text{ПЭГ}} = 0,1$;

В результате этих исследований удалось увеличить растворимость SFC с 3–4 % в чистых растворителях до 10–11 % в системе ПГ–ПЭГ–400.

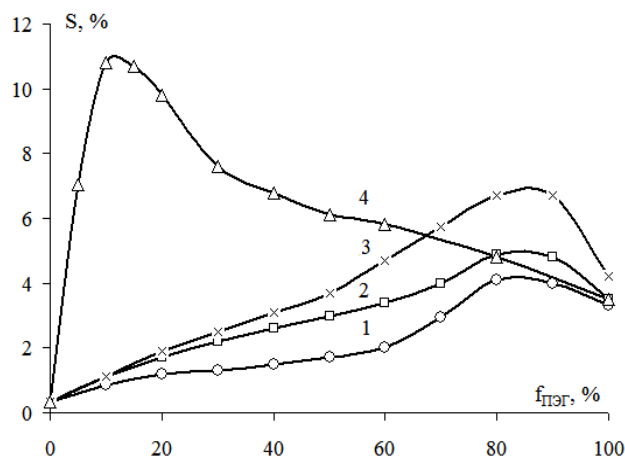


Рис. 1 – Растворимость сildenфила цитрата (S , % масс.) от массовой доли ПЭГ в системах: вода – ПЭГ–200 (1), вода–ПЭГ–400 (2), вода–ПЭГ–600 (3), пропиленгликоль–ПЭГ–400 (4)

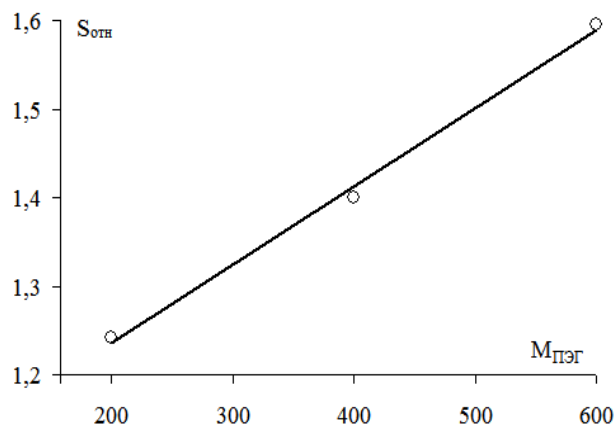


Рис. 2 – Зависимость отношения максимальной растворимости SFC в системе ПЭГ–вода к растворимости в чистом ПЭГ ($S_{\text{отн}}$) от молекулярной массы полимера ($M_{\text{ПЭГ}}$)

Для исследования возможности дальнейшего увеличения растворимости изучено влияние кислотности среды. На первом этапе проведено изучение растворимости SFC в растворах хлористоводородной кислоты при рН 3–6, то есть, в диапазоне, допускаемым фармакологией для препаратов, принимаемых per os.

Как следует из данных табл. 1, с уменьшением рН от 6 до 4 наблюдается резкий рост растворимости (в 70 раз), а дальнейшее уменьшение рН не увеличивает растворимости.

Таблица 1 – Растворимость силденафила цитрата в растворе хлористоводородной кислоты

pH раствора	Растворимость, % масс.
6	0,01
5	0,2
4	0,7
3	0,7

Тем не менее растворимость остается низкой и недостаточной для практического применения. Поэтому далее проведено исследование влияние кислотности на растворимость SFC в системе ПГ – ПЭГ–400. При этом возникает проблема количественного учета кислотности в неводной среде. Поэтому исследования проводили при одинаковом значении «псевдо–pH» = 4, который контролировали универсальной индикаторной бумагой. Более точный контроль кислотности может быть выполнен посредством измерения pH с хлорсеребряным и стеклянным электродами. Было установлено, что диапазону перехода окраски для pH 4 по универсальной индикаторной бумаге отвечает показание pH–метра 2–2,2. Органолептически восприятие кислотности раствора HCl в смеси ПГ–ПЭГ при этом значении псевдо–pH субъективно не отличалась таковой для водного раствора HCl с pH 4. Рассмотренный подход не позволяет количественно учесть истинную кислотность среды, но дает возможность получать воспроизводимые результаты в контролируемых условиях.

Кривая растворимости в системе ПГ–ПЭГ–400 приведена на рис. 3.

Сравнение кривых растворимости в системе ПГ–ПЭГ на рис. 1 и 3 показывает следующее:

- при добавлении кислоты наблюдается значительное увеличение растворимости SFC, как в чистых компонентах, так и в смесях;
- положение максимума растворимости по составу остается неизменным, но растворимость в точке максимума достигает величины 24 %, то есть, увеличивается более, чем в 2 раза;

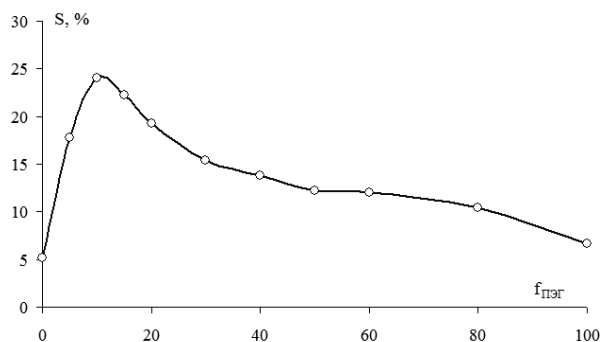
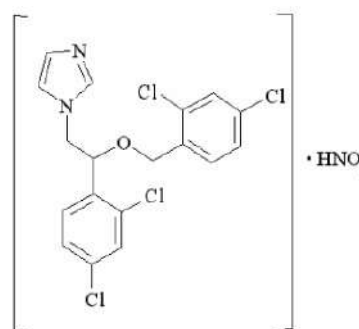


Рис. 3 – Кривая растворения SFC в смеси ПГ – ПЭГ–400 в присутствии HCl

– относительная максимальная растворимость в системе $S_{отн} = 3,8$ является достаточно близкой к величине $S_{отн} = 3,1$ для системы без кислоты. Это может указывать, что состав сольваток комплексов для протонированной и непротонированной форм силденафила (1) имеют одинаковый или близкий состав.

Таким образом, в результате проведенных исследований удалось выявить систему, в которой концентрация SFC является достаточно высокой.

В связи с изложенным, целесообразно сравнить кривые растворения SFC с литературными данными. При растворении SFC в водном этаноле максимум растворимости приходится на 50 %-ное содержание спирта [9], что существенно отличается от системы вода–ПЭГ (рис. 1). Относительное увеличение растворимости в точке максимума по сравнению с этанолом при 20°C составляет ~ 3, что достаточно близко к результатам для исследованных систем. Представляет интерес также сравнить особенности растворения в системе ПЭГ–400–ПГ силденафила и нитрата миконазола (II) [16], противогрибкового препарата, содержащего в своем составе, как и силденафил, гетероциклическую систему.



(II)

Кривая растворения этого соединения в системе ПГ–ПЭГ–400 также имеет максимум, однако последний находится в районе массовой доли ПЭГ 30–36 % против 10 % для SFC. Это может указывать, что растворимость соединений в одних и тех же бинарных системах нельзя объяснить только свойствами бинарного растворителя, без учета третьего компонента – растворимого вещества.

Математические модели растворимости SFC

Прогнозирование растворимости фармацевтических препаратов на основе математических моделей, разработка таких моделей является одной из фундаментальных задач физико–химической фармакологии. В настоящее время в физической химии разработано несколько подходов (модель Гильдебранда [17], Хансена [18] др.), позволяющие моделировать процесс растворения для регулярных растворов. В фармакологии в последнее

время с успехом применяется полуэмпирическая модель Жуйбана–Акри, [12,19–21] позволяющая описывать кривые растворимости в смеси растворителей, когда кривая имеет 1 или даже 2 максимума («эффект хамелеона») [10, 11, 12]. Эта модель описывается уравнением:

$$\log S_i = f_{1,i} \cdot \log S_1 + f_{2,i} \cdot \log S_2 + \sum_{k=0}^2 J_k \cdot \frac{f_{1,i} \cdot f_{2,i}}{T} \cdot (f_{1,i} - f_{2,i})^k, \quad (2)$$

где $f_{1,i}, f_{2,i}$ – массовые, объемные или мольные доли чистых растворителей в бинарной смеси в i -той точке; S_i – растворимость препарата в i -той точке в массовых долях, моль/л или мольных долях; S_1, S_2 – растворимость препарата в чистых растворителях – компонентах смеси, T – температура растворения, К; J_k – коэффициенты модели ($k=0,1,2$).

Коэффициенты J_k получают подгонкой по методу наименьших квадратов [12] для линейной формы:

$$y_i = \log S_i - f_{1,i} \cdot \log S_1 + f_{2,i} \cdot \log S_2 = \sum_{k=0}^2 J_k \cdot \frac{f_{1,i} \cdot f_{2,i}}{T} \cdot (f_{1,i} - f_{2,i})^k, \quad (3)$$

С нашей точки зрения подгонку целесообразно проводить не только для логарифмической зависимости (1), но и для ее экспоненциальной формы, то есть, непосредственной зависимости растворимости от состава:

$$S_i = \exp \left[f_{1,i} \cdot \log S_1 + f_{2,i} \cdot \log S_2 + \sum_{k=0}^2 J_k \cdot \frac{f_{1,i} \cdot f_{2,i}}{T} \cdot (f_{1,i} - f_{2,i})^k \right] \quad (4)$$

В основе лежат следующие соображения:

– близкие значения логарифмов величин не обязательно обуславливают близость самих величин и одинаковый закон распределения ошибок;

– на практике производится измерение значений растворимости, а не их логарифмов. Поэтому подгонку модели целесообразно производить под величины, которые непосредственно измеряются.

Получение коэффициентов для нелинейной модели (4) как экспоненциальной формы уравнения (2) может быть легко выполнено на современных компьютерах, например, в среде Excel с использованием надстройки–солвера «Поиск решения». Для обеспечения эффективности решения целесообразно коэффициенты линейной модели использовать в качестве начального приближения для нелинейной задачи. Обычно, если коэффициент детерминации R^2 линейной логарифмической модели превышает 0,99, то коэффициенты J_k моделей (2) и (4) практически одинаковы. При меньших значениях

коэффициентов детерминации эти коэффициенты могут заметно отличаться.

В качестве меры точности экспоненциальной модели (4) также можно использовать коэффициент детерминации, который следует рассчитывать по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{ocm}^2}{SS_{общ}^2}, \quad (5)$$

где SS_{ocm}^2 – остаточная сумма квадратов (сумма квадратов отклонений между заданными и рассчитанными по модели значениями выходной величины); $SS_{общ}^2$ – сумма квадратов отклонений относительно выборочного среднего выходной величины.

Расчеты показали, что модели (2) и (4) хорошо описывают кривые растворимости SFC в системах ПЭГ–вода. Как следует из данных табл. 2, для этих систем коэффициент детерминации очень близок к 1 для логарифмической (2) и экспоненциальной (4) моделей. Коэффициенты J_k для обеих моделей одинаковы. Ранее [9] было показано, что логарифмическая кривая растворимости SFC в системе этанол–вода также хорошо описывается моделью (2)

Таблица 2 – Результаты моделирования растворимости SFC по уравнениям (2) и (4)

Система	Модель	J_0	J_1	J_2	R^2
ПЭГ–200–вода	(2)	517,13	–266,99	2075,0	0,996
	(4)	517,13	–266,99	2075,0	0,987
ПЭГ–400–вода	(2)	1127,8	–579,16	1806,6	0,998
	(4)	1127,8	–579,16	1806,6	0,998
ПЭГ–600–вода	(2)	1303,7	–324,29	1946,6	0,999
	(4)	1303,7	–324,29	1946,6	0,999
ПЭГ–400–ПГ	(2)	1610,6	–3315,4	7088,2	0,707
	(4)	1366,6	–3076,7	6736,8	0,144
ПЭГ–400–ПГ–НСI	(2)	691,3	–1243,8	3611,8	0,783
	(4)	218,9	–4739,4	2938,5	0,591

В отличие от систем, содержащих воду, безводные системы ПГ–ПЭГ–400 и ПГ–ПЭГ–400–НСI плохо описываются этими моделями. Если для логарифмических кривых растворения наблюдается умеренно–высокое значение коэффициента детерминации, то для экспоненциальной модели (2) согласие расчетных и экспериментальных кривых неудовлетворительное, нет даже их качественного соответствия. Качества модели не удалось улучшить при переходе от массовых концентраций к мольным долям или объемным концентрациям.

Мы попытались модифицировать модель (2) для аппроксимации кривые растворимости в системе

ПЭГ–ПГ. В основу положены следующие соображения. Наличие максимума на кривых растворимости можно рассматривать, как проявление синергического эффекта, обусловленного образованием смешанных сольваток комплексов растворимого вещества с обоими растворителями, среди которых имеются оптимальные, обладающие максимальной растворимостью. В модели Жуйбана–Акри (2) синергизм действия и отклонение от аддитивности учитывается с помощью членов, содержащих парные произведения $f_1 \cdot f_2$. Модифицировать модель (2) с этой точки зрения можно, если возвести это парное произведение в некоторую степень μ , величину которой подбирать методом наименьших квадратов. Тогда модель принимает вид:

$$\log S_i = f_{1,i} \cdot \log S_1 + f_{2,i} \cdot \log S_2 + \sum_{k=0}^2 J_k \cdot \frac{(f_{1,i} \cdot f_{2,i})^\mu}{T} \cdot (f_{1,i} - f_{2,i})^k, \quad (6)$$

Для расчета по модели (6) удобно использовать среду Excel, с применением следующего алгоритма:

а) строится таблица данных, из которой рассчитывается сумма квадратов отклонений растворимости относительно среднего;

а) задается некоторое начальное значение μ_0 ;

б) при этом значении рассчитывают методом наименьших квадратов, например, с использованием функции «ЛИНЕЙН()», параметры J_0 , J_1 , J_2 логарифмической модели (6);

в) по параметрам модели строим таблицу расчетных значений $\log S_i$. Потенцированием находим расчетные значения растворимости и строим таблицу значения квадратов отклонений между расчетными и экспериментальными значениями растворимости. Рассчитываем значение целевой функции $SS_{\text{ост}}^2$ – суммы квадратов отклонений по всем точкам;

Далее с помощью надстройки–солвера «Поиск решения» производится поиск значения μ , которое обращает $SS_{\text{ост}}^2$ в минимум. По полученному значению рассчитываем коэффициент детерминации R^2 по формуле (5).

Результаты расчетов этим методом для систем ПЭГ–400–ПГ и ПЭГ–400–ПГ–НСI приведены в табл. 3.

Как следует из сравнения результатов табл. 2 и 3, модифицирование модели (2) в (6) приводит к значительно лучшему соответствию модели данным: коэффициент детерминации для модели (6) становится близким к 1. При этом модель (6) верно указывает положение максимума растворимости и поэтому может быть использована на практике.

Таблица 3 – Результаты моделирования по уравнению (6)

Параметр	Система	
	ПЭГ–400–ПГ	ПЭГ–400–ПГ–НСI
μ	0,219	0,328
J_0	664,9	327,9
J_1	-754,7	-344,4
J_2	417,6	460,6
R^2	0,970	0,965

Спрей SFC на основе системы ПЭГ–400–ПГ–НСI

На основе изучения системы ПЭГ–400–ПГ–НСI, разработана рецептура спрея силденафила цитрата для перорального введения. Спрей содержит раствор SFC с концентрацией 5–24 % в смеси ПГ (90 % масс) и ПЭГ–400 (10 % масс.) с добавлением концентрированного раствора хлористоводородной кислоты до pH 4 по универсальной индикаторной бумаге. В композицию дополнительно добавляли подсластитель (сукралозу) и ароматизаторы из числа разрешенных Государственной фармакопеей Украины [22].

Разработанная фармацевтическая композиция имеет более высокую биодоступность по сравнению с твердыми лекарственными формами. Благодаря невысокой кислотности спрей не обладает раздражающим действием на слизистые оболочки человека. Высокая концентрация активного вещества обеспечивает быстрое достижение терапевтического эффекта при одновременном снижении единичного объема введения препарата в 100–160 мкл при величине дозы 12,5 мг силденафила. Отсутствие в составе растворителя летучих компонентов гарантирует предохранение сопла распылителя спрея от забивания.

Препарат прошел все предусмотренные законодательством Украины испытания и в настоящее время производится ООО «НПФ «Микрохим» (г. Рубежное) под торговым названием «Строндекс».

Выводы

1. Исследованы закономерности растворения силденафила цитрата в смесях вода–полиэтиленгликоль (молекулярные массы 200, 400, 600), полиэтиленгликоль–400–1,2–пропиленгликоль.

2. Установлено, что кривые растворимости в исследованных системах имеют экстремальный характер. Положение максимума в системах ПЭГ–вода (80–90 % масс. ПЭГ) не зависит от молекулярной массы полимера. В системе ПГ–ПЭГ происходит сдвиг положения максимума в область ~10% с одновременным увеличением растворимости примерно в 2 раза по сравнению с водными системами.

3. При подкислении системы ПГ–ПЭГ–400 до pH 4 растворимость SFC увеличивается, достигая в точке максимума 24 % масс.

4. Показано, что кривые растворимости в системе ПЭГ–вода хорошо описываются моделью Жуйбана–Акри. Для систем ПГ–ПЭГ–400 соответствие данных и модели неудовлетворительное.

5. Предложена модифицированная модель Жуйбана–Акри, позволяющая удовлетворительно описать растворимость SFC в системах ПГ–ПЭГ–400.

6. На основе оптимального состава смеси растворителей разработана рецептура производства силденафила цитрата в форме спрея и организован его промышленный выпуск.

Список литературы

1. **Feldman, H. A.** Impotence and its medical and psychosocial correlates: results of the Massachusetts Male Aging Study / **H. A. Feldman, I. Goldstein, D. G. Hatzichristou, R. J. Krane, J. B. McKinlay** // *J. Urol.* – 1994. – V. 151. – P. 54–61. – doi 10.1016/S0022-5347(17)34871-1.
2. **Lue, T. F.** Erectile dysfunction: problems and challenges / **T. F. Lue** // *J. Urol.* – 1993. – V. 149. P. 1256–1257.
3. **Goldstein, I.** Oral sildenafil in the treatment of erectile dysfunction / **I. Goldstein, T. F. Lue, H. Padmanathan, R. C. Rosen et. al.** // *The New England Journal of Medicine* / – 1998. – V. 338, № 20. – P. 1397–1404. – doi 10.1056/NEJM199805143382001.
4. **Sadovsky, R.** Three-year update of sildenafil citrate (Viagra): efficacy and safety / **R. Sadovsky, T. Miller, M. Moskowitz, G. Hackett** // *Int. J. Clin. Pract.* – 2001. – V. 55, № 2. – P. 115–128.
5. Oral drug absorption: prediction and assessment / ed. **J. B. Dressman, C. Reppas.** N.–Y. – L.: CRC Press, 2016. – 450 p.
6. **Manfred K., Ingo F., Juergen J., Frank–Christophe L.** Pat. 2006108556, WO, IPC⁶ A61K31/58, Starnberg, Germany. *Pharmaceutical aerosol composition.* Publication 19.10.2006. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2006108556A2/en>
7. **Bergstrom, D., Opawale, F.** Pat. 2011156405, WO, IPC⁶ A61K 9/12, A61K 31/519, Novadel Pharma Inc. New Jersey, United States. *Oral spray formulations and methods for administration of sildenafil.* Publication 15.12.2011. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2011156405A2/en>
8. **Dugger, H. A.** Pat. 2004019909, WO, IPC⁶ A61F13/02 A61K31/085, Novadel Pharma Inc. New Jersey, United States. *Buccal, polar and non-polar spray or capsule containing cardiovascular or renal drugs.* Publication 11.03.2004. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2004019909A2/en>
9. **Pirhayati, F. H.** Thermodynamic solubility and density of sildenafil citrate in ethanol and water mixtures: measurement and correlation at various temperature / **F. H. Pirhayati, A. Shayanfar, A. Fathi–Azarbayjani, F. Martinez, S. Sajedi–Amin, A Jouyban** // *J. Mol. Liquids.* – 2017. – V. 225. – P. 631–635 – doi 10.1016/j.molliq.2016.11.055
10. **Escalera, J. B.** Predicting the solubility of drugs in solvent mixtures: multiple solubility maxima and the chameleonic effect / **J. B. Escalera, P. Bustamante, A. Martin** // *J. Pharmacy & Pharmacol.* – 1994. – V. 4. – P. 172–176 – doi 10.1111/j.20427158.1994.tb03772.x.

11. **Bustamante, P.** Chameleonic effect of sulfanilamide and sulfamethazine in solvent mixtures. Solubility curves with two maxima / **P. Bustamante, R. Ochoa, J. B. Escalera** // *Chem. Farm. Bull.* – 1994. – V. 42, № 5. – P. 1129–1133 – doi 10.1248/cpb.42.1129.
12. **Jouyban, A.** Handbook of solubility data for pharmaceuticals / **A. Jouyban.** L. – N.–Y.: CRC Press. – 2010. – 554 p.
13. **Avdeef, A.** Absorption and drug development: solubility, permeability, and charge state / **A. Avdeef.** Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. – 2003. – 307 p.
14. **Zalipsky, S.** Introduction to Chemistry and Biological Applications of Poly(ethylene glycol) / **S. Zalipsky, J. M. Harris** // *Poly(ethyleneglycol): chemistry and biological applications.* ACS symposium series // Washington: ACS. – 1997. – № 680. – p. 1–13 – doi 10.1021/bk-1997-0680.ch001.
15. **Державна Фармакопея України:** в 3 тт. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». – 2-е вид. – Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. – Т. 1 – 1126 с.
16. **Сытник, О. Ю.** Растворимость нитрата 1–[2,4–дихлор–β–(2,4–дихлорбензоксифенэтил)] – имидазола в смесях 1,2–пропиленгликоль – ПЭГ–400 / **О. Ю. Сытник, А. П. Красноперов, Н. А. Ляпунов, Е. П. Безуглая** // *Вестник Харьковского нац. ун.–та.* – 2003. – № 596. Химия. Вып. 10 (33). – С. 166–170.
17. **Смирнова, Н. А.** Молекулярные теории растворов / **Н. А. Смирнова.** Л.: Химия. – 1987. – 336 с.
18. **Hansen, C.** Hansen solubility parameters : a user's handbook / **C. Hansen.** Boca Raton. – L. – N.–Y.: CRC Press. Taylor & Francis Group. – 2007. – 546 p.
19. **Acree, W. E.** Mathematical representation of thermodynamic properties. Part 2. Derivation of the combined nearly ideal binary solvent (NIBS)/Redlich–Kister mathematical representation from a two–body and threebody interactional mixing model / **W. E. Acree** // *Thermochimica Acta.* – 1992. –V. 198. – p. 71–79. – doi 10.1016/0040-6031(92)85059-5.
20. **Acree, W. E.** Comments concerning 'Model for solubility estimation in mixed solvent systems' / **W. E. Acree** // *Int. J. Pharm.* – 1996. – V. 127. – p. 27–30. – doi 10.1016/0378-5173(95)04109-5.
21. **Jouyban–Gharamaleki, A.** A novel method for improvement of predictability of the CNIBS/R–K equation / **A. Jouyban–Gharamaleki, J. Hanaee** // *Int. J. Pharmaceutics.* – 1997. – V. 154. – p. 245–247 – doi 10.1016/S0378-5173(97)00136-1.
22. **Тимко, В. Г., Савяк, Р. П., Олійников, Д. С.** Пат. на корисну модель 114629, Україна. МПК⁶. А61К 31/519 А61К 9/12, А61Р 15/00, А61Р 9/00, ТОВ «Науково–виробнича фірма "Мікрохім"». *Фармацевтична композиція у формі спрею для лікування еректильної дисфункції та легеневої артеріальної гіпертензії.* Опубл. 10.03.2017. Бюл. № 5.

Bibliography (transliterated)

1. **Feldman, H. A., Goldstein, I., Hatzichristou, D. G., Krane, R. J., McKinlay, J. B.** Impotence and its medical and psychosocial correlates: results of the Massachusetts Male Aging Study. *J. Urol.* 1994, **151**, 54–61, doi: 10.1016/S0022-5347(17)34871-1.

2. **Lue, T. F.** Erectile dysfunction: problems and challenges. *J. Urol.*, 1993, **149**, 1256–1257.
3. **Goldstein, I., Lue, T. F., Padmanathan, H., Rosen, R. C. et al.** Oral sildenafil in the treatment of erectile *The New England Journal of Medicine*, 1998, **338**, 20, 1397–1404, doi: 10.1056/NEJM199805143382001.
4. **Sadovsky, R., Miller, T., Moskowitz, M., Hackett, G.** Three-year update of sildenafil citrate (Viagra): efficacy and safety. *Int. J. Clin. Pract.*, 2001, **55**, No 2, 115–128.
5. **Dressman, J. B., & Reppas, C. (Eds.)**. Oral drug absorption: prediction and assessment. L.: CRC Press, 2016. – 450 p.
6. **Manfred, K., Ingo, F., Juergen, J., Frank–Christophe, L.** *Pharmaceutical aerosol composition*. Pat. Starnberg, Germany, no. 2006108556, WO, IPC⁶ A61K31/58. Publication 19.10.2006. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2006108556A2/en>
7. **Bergstrom, D., Opawale, F.** *Oral spray formulations and methods for administration of sildenafil*. Pat. Novadel Pharma Inc. New Jersey, United States, no. 2011156405, WO, IPC⁶ A61K 9/12, A61K 31/519. Publication 15.12.2011. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2011156405A2/en>
8. **Dugger, H. A.** *Buccal, polar and non-polar spray or capsule containing cardiovascular or renal drugs*. Pat. Novadel Pharma Inc. New Jersey, United States, no. 2004019909, WO, IPC⁶ A61F13/02 A61K31/085 A61K31/137. Publication 11.03.2004. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2004019909A2/en>
9. **Pirhayati, F. H., Shayanfar, A., Fathi–Azarbayjani, A., Martinez, F., Sajedi–Amin, S., Jouyban, A.** Thermodynamic solubility and density of sildenafil citrate in ethanol and water mixtures: measurement and correlation at various temperature. *J. Mol. Liquids*. 2017, **225**, 631–635, doi: 10.1016/j.molliq.2016.11.055.
10. **Escalera, J. B., Bustamante, P., Martin, A.** Predicting the solubility of drugs in solvent mixtures: multiple solubility maxima and the chameleonic effect. *J. Pharmacy & Pharmacol.* 1994, **4**, 172–176, doi: 10.1111/j.2042–7158.1994.tb03772.x.
11. **Bustamante, P., Ochoa, R., Escalera, J. B.** Chameleonic effect of sulfanilamide and sulfamethazine in solvent mixtures. Solubility curves with two maxima. *Chem. Farm. Bull.*, 1994, **42**, No 5, 1129–1133, doi: 10.1248/cpb.42.1129.
12. **Jouyban, A.** Handbook of solubility data for pharmaceuticals. L, N.–Y.: CRC Press, 2010 .
13. **Avdeef, A.** Absorption and drug development: solubility, permeability, and charge state. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
14. **Zalipsky, S., Harris, J. M.** Introduction to Chemistry and Biological Applications of Poly(ethylene glycol)/ *Poly(ethyleneglycol): chemistry and biological applications. ACS symposium series*. Washington: ACS, 1997, **680**, 1-13, doi: 10.1021/b-19970680.ch001.
15. **Derzhavna Farmakopeya Ukrainy**. Druhe vydannya u tr'okh tomakh, 2015, **1**, 1126.
16. **Sytnik, O. Ju., Krasnoperov, A. P., Ljapunov, N. A., Bezuglaja, E. P.** Rastvorimost' nitrata 1–[2,4–dihlor–β–(2,4–dihlorbenzoksi)fenjetil] – imidazola v smesjah 1,2 propilenglikol' – PEG 400. *Vestnik Har'kovskogo nac. un-ta*, 2003, **596**, Himija, Vyp. 10 (33), 166–170.
17. **Smirnova, N. A.** Molekuljarnye teorii rastvorov, L., Himija, 1987, 336.
18. **Hansen, C.** Hansen solubility parameters : a user's handbook, Boca Raton. – L., N.–Y.: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2007, 546.
19. **Acree, W. E.** Mathematical representation of thermodynamic properties. Part 2. Derivation of the combined nearly ideal binary solvent (NIBS)/Redlich–Kister mathematical representation from a two–body and threebody interactional mixing model. *Thermochimica Acta*, 1992, **198**, 71–79, doi: 10.1016/0040-6031(92)85059-5.
20. **Acree, W. E.** Comments concerning 'Model for solubility estimation in mixed solvent systems'. *Int. J. Pharm.*, 1996, **127**, 27–30, doi: 10.1016/0378-5173(95)04109-5.
21. **Jouyban–Gharamaleki, A. Hanaee, J.** A novel method for improvement of predictability of the CNIBS/R–K equation. *Int. J. Pharmaceutics*, 1997, **154**, 245–247, doi: 10.1016/S0378-5173(97)00136-1.
22. **Tymko, V. H., Savyak, R. P., Oliynykov, D. S.** *Farmatsevtichna kompozytsiya u formi spreju dlya likuvannya erektyl'noyi dysfunktsiyi ta lehenevoyi arterial'noyi hipertenziji*. Pat. TOV «Naukovo–vyrobnycha firma "Mikrokhim"», no. 114629, MPK6. A61K 31/519 A61K 9/12, A61P 15/00, A61P 9/00. Opubl. 10.03.2017. Byul. No 5.

Сведения об авторах (About authors)

Черный Александр Александрович – Аспирант кафедры высшей математики и компьютерной технологии; ул. Владимирская, 31, г. Рубежное, Луганская область, Украина, 93010. Научный сотрудник отдела фармацевтической разработки ООО НПФ «Микрохим». e-mail: chorny@microkhim.com.

Alexandr Chorny – Postgraduate, Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Vladimirska str., 31, Rubizhne, Ukraine, 93010. Research Fellow, Pharmaceutical Development Department, Research and Production Company "Microkhim", Ltd. e-mail: chorny@microkhim.com.

Олейников Дмитрий Сергеевич – Начальник отдела фармацевтической разработки ООО НПФ «Микрохим». e-mail: oleynikov@microkhim.com.

Dmitriy Oleynikov – Head of Pharmaceutical Development Department, Research and Production Company "Microkhim", Ltd. e-mail: oleynikov@microkhim.com.

Савяк Роман Прокопович – Кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе ООО НПФ «Микрохим». e-mail: savyak@microkhim.com.

Roman Savyak – PhD, Associate Professor, Deputy Director for Science, Research and Production Company "Microkhim", Ltd. e-mail: savyak@microkhim.com.

Тимко Владимир Григорьевич – Директор ООО НПФ «Микрохим». e-mail: business@microkhim.com.

Vladimir Timko – Director, Research and Production Company "Microkhim", Ltd. e-mail: business@microkhim.com.

Кондратов Сергей Алексеевич – Доктор химических наук, профессор, Институт химических технологий Восточнoукраинского национального университета имени Владимира Даля (г. Рубежное), профессор кафедры высшей математики и компьютерной технологии; ул. Владимирская, 31, г. Рубежное, Луганская область, Украина, 93010; e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Serhii Kondratov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Professor of the department of mathematics and computer technologies; Vladimirska str., 31, Rubizhne, Ukraine, 93010; e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Черный, А. А. Растворимость сildenафила цитрата в системах пропиленгликоль–полиэтиленгликоль / **А. А. Черный, Д. С. Олейников, Р. П. Савяк, В. Г. Тимко, С. А. Кондратов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 263-271. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.37.

Please cite this article as:

Chornyi, A., Oleynikov, D., Savyak, R., Timko, V., Kondratov, S. The solubility of sildenafil citrate in propylene glycol–polyethylene glycol systems. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New solutions in modern technologies.*– Kharkiv: NTU “KhPI”, 2018, 9 (1285), 263-271, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.37.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Чорний, О. О. Розчинність сildenафила цитрата в системах пропіленгліколь–поліетиленгліколь / **О. О. Чорний, Д. С. Олійников, Р. П. Савяк, В. Г. Тимко, С. О. Кондратов** / *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 263-271. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.37.

АНОТАЦІЯ Досліджено закономірності розчинення сildenафілу цитрату в сумішах вода–поліетиленгліколь з молекулярними масами 200, 400 і 600, поліетиленгліколь–400 – 1,2–пропіленгліколь, а також підкислені до рН 4 системи поліетиленгліколь–400 – 1,2–пропіленгліколь. При підкисленні системи ПГ–ПЕГ до рН 4 розчинність сildenафілу цитрату досягає 24% мас. Показано, що криві розчинності в системі ПЕГ–вода добре описуються моделлю Жуйбана–Акрі. Для систем ПГ–ПЕГ–400 запропонована модифікована модель Жуйбана–Акрі. На основі оптимального складу суміші розчинників розроблена рецептура виробництва сildenафілу цитрату в формі спрею.

Ключові слова: сildenафілу цитрат; поліетиленгліколь; пропіленгліколь; розчинність; спрей; математичні моделі.

Поступила (received) 08.03.2018

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

- Бондар І. В., Криворучко Д. В.** Огляд сучасних методів обробки деталей складних форм типу моноколесо з монолітної заготовки 5
- Бошкова І. Л., Волгушева Н. В.** Вивчення ефективності мікрохвильової обробки матеріалів рослинного походження 15
- Йорданов І. В., Чепіга Д. А., Сімонова Ю. І., Довгаль В. Ю., Стойловський А. І.** Про напружено-деформований стан вуглепородного масива при розвантаженні 22
- Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Івашико Є. І.** Дослідження параметрів процесу формування заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні 31
- Кравчук С. В., Ситник А. В., Огороднік А. А., Плотиця В. О.** Визначення оптимальної ємності накопичувача фотоелектричної станції для підвищення балансової надійності локальних електричних систем 38
- Кравчук С. В., Ситник А. В., Стахов О. О., Барановський С. В.** Узгодження графіків генерування фотоелектричних станцій та навантаження локальних електричних систем 44
- Любарський Б. Г., Доманський І. В., Гасанов М. І.** Моделювання механічної та електричної взаємодії контактної підвіски 51
- Махонін М. В.** Визначення залежності напруги пробою розрядної камери генератора озона від зовнішніх факторів іконструкції розрядної камери 57
- Одейчук М. П., Яковлев В. К., Комір А. І., Одейчук А. М.** Методика трибологічних випробувань вуглецевих матеріалів під впливом іонізуючого випромінювання і окислювального середовища 62
- Сиченко В. Г., Косарев Є. М., Данилов О. А., Губський П. В., Зубенко В. А., Пулін М. М.** Особливості функціонування релейного захисту в розподілених системах тягового електропостачання 70
- Стисло Б. О.** Особливості застосування накопичувачів електричної енергії в системі електропостачання залізниці 76
- Хлань О. В., Ткачук М. А., Грабовський А. В.** Теоретичні основи проектно-технологічно-виробничого забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин 83

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

- Гладких І. І., Капочкін Б. Б., Кучеренко Н. В., Капочкіна М. Б.** Фізичні принципи створення гідроакустичних перешкод струменевими виходами газу з морського дна 90
- Гладких І. І., Капочкіна М. Б.** Фізико-статистичне моделювання гідродинамічного поля корабля на базі гідродинамічних розрахунків 98
- Голуб З. Д.** Формалізація система критеріїв для виявлення фрагментів онлайн-дискусій з підозрою на наявність інформаційно-психологічної маніпуляції 106
- Єгорченкова Н. Ю.** Моделі управління проектами в електронному проектному менеджменті 112
- Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Пузик А. А.** Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики 118
- Переверзєв А. М., Склярєнко О. В.** Особливості застосування хмарних технологій в навчальному процесі 128
- Розорінов Г. М., Чичикало Н. І., Ларіна Е. Ю., Труш М. С.** Моделювання процесу візуалізації гомеостазу людини 134
- Савельєва О. С., Торopenко О. В., Торopenко А. В.** Застосування інформаційної морфологічної моделі для планування ремонтів хімічного обладнання 141
- Становська І. І., Кошулян С. В., Торopenко О. В., Дадерко О. І.** Управління інтелектуальними ризиками в проектах транспортування великогабаритних вантажів за допомогою теорії ігор 147
- Тихонов Ю. Л., Лахно В. А.** Онтологічний підхід до оперативного планування 153
- Томашевський Р. С.** Дослідження інформаційної значущості параметрів плану медико-біологічного експерименту 159
- Юдіна Г. М.** Зменшення рівня спотворень векторних зображень внаслідок вбудовування цифрових водяних знаків 166

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

<i>Бідюк Д. О., Душенюк Д. К., Перцевой Ф. В., Маренкова Т. І.</i> Обґрунтування технологічних параметрів отримання гелів на основі полісахаридів різного походження	172
<i>Галасний І. В., Гавриш Т. В., Шаніна О. М.</i> Дослідження іонозв'язувальної здатності білків безглютенового борошна в присутності тваринних білків	179
<i>Заморська І. Л.</i> Вплив умов та тривалості зберігання на швидкість втрат блиску ягід суниці	185
<i>Кофанов О. Є.</i> Моделювання розсіювання і локального концентрування поллютантів у придорожньому повітряному просторі	190
<i>Кривільова С. П.</i> Синтетичні нанокристалічні матеріали поліваріантного складу на основі системи $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ для корекції структурних порушень скелету	198
<i>Лобачова Н. Л.</i> Використання добавок регуляторів структури безглютенового тіста та готових виробів	207
<i>Михайлов В. М., Онищенко В. М.</i> Визначення міцності зв'язку між шарами та еластичності склеєних кишкових плівок	212
<i>Пилипенко Д. М., Безрукавий Д. С., Краснопольський Ю. М.</i> Застосування нанобіотехнологічних форм куркуміну	218
<i>Пляцук Л. Д., М'якаєва Г. М., М'якаєв О. В.</i> Зниження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу	230
<i>Рабош І. О., Кофанова О. В., Підгорний А. В.</i> Оцінка екологічного стану територій автозаправних станцій, розташованих поблизу автомагістралей	236
<i>Трубінова А. А., Шарахматова Т. Є., Мамінтова К. О., Цупра О. С.</i> Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива	243
<i>Хохотва О. П., Лиштва П. В.</i> Дослідження властивостей фосфорильованого сорбенту при вилученні іонів Cu(II) в присутності солей жорсткості	256
<i>Чорний О. О., Олійников Д. С., Сав'як Р. П., Тимко В. Г., Кондратов С. О.</i> Розчинність силденафіла цитрата в системах пропіленгліколь–поліетиленгліколь	263

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

<i>Bondar I., Krivoruchko D.</i> Review of modern methods of machining of complex parts such as blisk from a monolithic billet	5
<i>Boshkova I., Volgusheva N.</i> Study of efficiency of microwave processing of materials of plant origin	15
<i>Jordanov I., Chepiga D., Simonova Y., Dovgal V., Stoylovskiy A.</i> On the stressed deformed condition of the rock massive at unloading	22
<i>Iskovich-Lototsky R., Ivanchuk Y., Ivashko E.</i> Investigation of parameters of forming processing of bills from powder materials on vibrational pressing equipment	31
<i>Kravchuk S., Sitnik A., Ogorodnik A., Plotitsa O.</i> Determination of the optimum capacity of the photoelectric stations storage for increasing the balance reliability of local electric systems	38
<i>Kravchuk S., Sitnik A., Stahov A., Baranovskiy S.</i> Reconciliation of photoelectric station generation schedule and local electrical system loading	44
<i>Liubarskiy B., Domanskiy I., Gasanov M.</i> Modeling of mechanical and electrical interaction of the contact hole	51
<i>Makhonin M.</i> Determination of dependence of voltage of the ozone generator discharge chamber from external factors and design of discharge chamber	57
<i>Odeychuk N., Yakovlev V., Komir A., Odeychuk A.</i> Method of carbon materials tribological tests under the influence of ionizing radiation and oxidizing environment	62
<i>Sychenko V., Kosariev Ye., Danilov O., Gubskiy P., Zubenko V., Pullin M.</i> Features of relay protection function in distributed systems of type electrical supply	70
<i>Styslo B.</i> The features of the use of energy storage devices in the railway power supply system	76
<i>Khlan O., Tkachuk M., Grabovskiy A.</i> Theoretical basis for design-technological-production support of Tactical and technical characteristics of fighting armored vehicles	83

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

Gladkykh I., Kapochkin B., Kucherenko N., Kapochkina M. Physical principles of creation hydroacoustic barrier gas jet exit from the seabed	90
Gladkykh I., Kapochkina M. Physico-statistical modeling of the hydrodynamic field of the ship on the basis of hydrodynamic calculations	98
Holub Z. System of criteria for detecting online discussion fragments suspected of containing information and psychological manipulation	106
Yehorchenkova N. Models of project management in electronic project management	112
Zatserkovnyi V., Oberemok N., Puzyk A. Geoinformation modeling in the problems of renewable energy	118
Pereverziev A., Skliarenko E. Features of application of cloud technologies in educational process	128
Rozorinov H., Chichikalo N., Larina E., Trush M. Visualization process simulation of man homeostasis	134
Saveleva O., Toropenko O., Toropenko A. Application of the information morphological model for planning of rehabilitation of chemical equipment	141
Stanovska I., Koshulyan S., Toropenko O., Daderko O. Intellectual risk management in projects of transportation of large vehicles by the game theory	147
Tikhonov Y., Lakhno V. Ontological approach to operational planning	153
Tomashevsky R. Research of the information significance of the parameters of the medical-biological experiment plan	159
Yudina A. Decreasing the spotlights level of vector images after installation digital watermarks	166

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

Bidyuk D., Dushenok D., Pertsevoi F., Marenkova M. Substantiation of technological parameters of obtaining gels on the basis of polysaccharides of various origins	172
Haliasnyi I., Gavrish T., Shanina O. Research of the ability of gluten-free flour proteins to bind ions in the presence of animal proteins	179
Zamorska I. The effect of storage conditions and duration on the speed of strawberry shine loss	185
Kofanov O. Modeling of dispersion and local concentration of pollutants in the roadside airspace	190
Krivileva S. Synthetic nanocrystalline materials of the poly-variant composition based on the system $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ for correction of structural disturbances of skeleton	198
Lobachova N. Use of additional regulators of the structure gluten-free dough and finished goods	207
Mikhailov V., Onishchenko V. Determination of links between layers and elastics of glued gut films	212
Pylypenko D., Bezrukavii D., Krasnopolsky Yu. Application of nanobiotechnological forms of curcumin	218
Plyatsuk I., Miakaieva H., Miakaiev O. Reduction of the influence of ash and slug dump of Sumy TPP on the hydrosphere	230
Rabosh I., Kofanova O., Pidgornyy A. Assessment of ecological state of filling stations territories located near motorways	236
Trubnikova A., Sharahmatova T., Mamintova K., Tsupra O. Biotechnological aspects of a yogurt base from buttermilk for the production of low-lactose ice cream	243
Khokhotva O., Lyshva P. Investigation of sorption properties of phosphorylated sorbent at the removal of Cu(II) ions in the presence of hardness salts	256
Chorny A., Oleynikov D., Savyak R., Timko V., Kondratov S. The solubility of sildenafil citrate in propylene glycol-polyethylene glycol systems	263

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 9 (1285) 2018

Науковий редактор: чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор: канд. фіз.-мат. наук С. І. Меньшикова

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 5-18

Підп. до друку «30» березня 2018 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 8,0. Облік.вид.арк. 8,75.
Тираж 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
