

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

ВІСНИК

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

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 32 (1254) 2017

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». – 2017. – № 32 (1254). – 152 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. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, 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 № 7 від «21» вересня 2017 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2017

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

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

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 32 (1254) 2017

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 32 (1254), 152 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 7 of September, 21, 2017

© National Technical University "KhPI", 2017

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАКЕТА КОРПУСА БРОНЕТРАНСПОРТЕРА

**М. А. БОНДАРЕНКО^{1*}, Е. В. ПЕЛЕШКО², А. Ю. ВАСИЛЬЕВ¹, А. В. ГРАБОВСКИЙ¹,
Р. В. ГРАБОРОВ³, Ю. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК², В. В. ПОСОХОВ⁴**

¹ Кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

² ООО «БІІР Україна», Одесса, УКРАИНА

³ ООО «Управляющая Компания РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, УКРАИНА

⁴ Кафедра «Ремонт и эксплуатация автомобилей и боевых машин», Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков, УКРАИНА

*email: marina.bondarenko@tmm-sapr.org

АННОТАЦИЯ Проведена верификация компьютерной динамической модели корпуса бронетранспортера путем сопоставления результатов численных и экспериментальных исследований макета. Методика экспериментальных исследований включала испытания на вибрационном стенде и определение реакции конструкции на импульсное воздействие с помощью обрезающего инструмента. Определено, что динамические характеристики, полученные экспериментальным путем, находятся в хорошем качественном и количественном соответствии с численными результатами. С использованием верифицированных конечно-элементных моделей проведены проверочные исследования натурного образца корпуса БТР-3Е, которые подтвердили корректность разработанных математических и численных моделей, а также точность полученных результатов.

Ключевые слова: бронетранспортер; динамические характеристики; экспериментальные исследования; численные исследования; макет; метод конечных элементов.

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL DYNAMIC MODEL VERIFICATION OF PERSONNEL ARMORED CARRIER HULL

**M. BONDARENKO¹, E. PELESHKO², A. VASILIEV¹, A. GRABOVSKIY¹, R. GRABOROV³,
YU. VERETELNYK², V. POSOHOV⁴**

¹ Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

² LLC "BIIR Ukraine", Odessa, UKRAINE

³ JSC "Science Engineering Center UK "RailTransHolding", Mariupol, UKRAINE

⁴ Department "Repair and operation of cars and military vehicles", National academy of the National guards of Ukraine, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT For dynamic computer model verification of the armored personnel carrier hull comparison of numerical and experimental studies results of its model was carried out. Upper belt of the armored personnel carrier hull was chosen for carrying out of experiment because it is the most loaded part. Experimental research method includes tests on the vibrating bench and determination of structure reaction to the impulse action with help of a rubberized tool. On the vibrating bench the natural frequencies and modes of oscillation was fixed. As a result of the second part of experiment, vibration displacement, vibration velocity and vibration acceleration were obtained at studied points, varying in time. Obtained during experimental research frequencies, shapes and relations describing response of the hull model to impact force are represented. It is determined that the dynamic characteristics obtained experimentally are in good qualitative and quantitative conformity with numerical results of modeling using the finite element method. Based on experimental data, damping factor was determined for the design model. With use of verified finite element models, testing of the full-scale specimen of BTR-3E was carried out. It confirms correctness of developed mathematical and numerical models, accuracy of obtained results.

Keywords: armored personnel carrier; dynamic characteristics; experimental research; numerical research; model; finite element method.

Введение

В настоящее время в отечественной промышленности наблюдается тенденция внедрения информационных технологий и замены ручных расчетов компьютерным моделированием. В частности, расчет (в различных постановках) тонкостенных конструкций, как таковых, которые имеют широкое применение, является актуальной задачей [1–4]. Современные программные

комплексы, в которых реализованы численные методы для моделирования процессов и состояний, имеют внутренние средства контроля точности получаемых результатов. Тем не менее, наиболее достоверным с точки зрения полноты, точности и соответствия полученных результатов моделированию поведению реальных объектов является стадия экспериментальных исследований. При этом ключевым является именно этап сопоставления результатов численных и

экспериментальных исследований, который служит обоснованием параметров создаваемых численных моделей или причиной их корректировки вплоть до полной замены.

С этой целью в данной статье предлагается сопоставить результаты численных и экспериментальных исследований макета бронетранспортера БТР-80. Разработанная методика экспериментальных исследований включает испытания на вибрационном стенде и определение реакции конструкции на импульсное воздействие с помощью обрезающего инструмента.

Для проведения эксперимента рассмотрен верхний пояс корпуса бронетранспортера как его наиболее нагруженная часть. Верхний пояс корпуса представляет собой сварную тонкостенную пространственную конструкцию и состоит из подбашенного, передних, боковых и задних листов, верхней части моторно-трансмиссионного отделения. Макет корпуса изготовлен из листов металла толщиной 1,5 мм методом электродуговой сварки и имеет следующие габаритные размеры: длина – 810 мм, ширина – 310 мм, высота – 33 мм. Вес полученной конструкции – 3,3 кг.

Испытания на вибрационном стенде

Экспериментальные исследования собственных частот и форм колебаний корпуса проводились на стенде генераторе колебаний, оснащем генератором сигналов ГЗ-120, рис. 1 [5,6].



Рис. 1 – Используемая аппаратура:

а) – генератор сигналов ГЗ-120; б) – усилитель сигнала; в) – генератор колебаний

Таким образом, сигнал, создаваемый генератором сигналов, проходит через усилитель и подается на генератор колебаний, а оттуда передается непосредственно объекту исследований, закрепленному на базовой плите. Макет, подготовленный для проведения эксперимента, представлен на рис. 2. В результате проведения эксперимента зафиксированы собственные частоты и формы колебаний.

Численное моделирование собственных частот и форм колебаний. Сравнение результатов, полученных экспериментальным и численным путем. Полученные экспериментальным путем динамические характеристики были сопоставлены с результатами численного моделирования с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе ANSYS Workbench [7,8].



Рис. 2 – Макет фрагмента корпуса БТР-80

Дифференциальное уравнение свободных колебаний является отдельным случаем общего уравнения движения:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0, \quad (1)$$

где $[K]$ и $[M]$ – матрица жесткости и матрица масс, соответственно.

В анализе свободных колебаний предполагается упругое поведение конструкции, поэтому ожидаемый отклик является гармоническим:

$$\{x\} = \{\varphi_i\} \cos(\omega_i \cdot t), \quad (2)$$

где $\{\varphi_i\}$ – форма колебаний i -той моды (собственный вектор); ω_i – собственная частота для этой моды.

Подстановкой в предыдущее уравнение получается уравнение для нахождения собственных частот:

$$([K] - \omega_i^2 \cdot [M])\{\varphi_i\} = 0. \quad (3)$$

Геометрическая и конечно-элементная (количество конечных элементов – 8,3 тыс.) модели макета корпуса бронетранспортера представлены на рис. 3, 4 соответственно. Заданные граничные условия – жесткая заделка в областях модели, соответствующих местам крепления макета на базовой плите.

В табл. 1 приведены некоторые зафиксированные экспериментально собственные формы и собственные частоты колебаний макета корпуса и соответствующие им численные результаты. Видно, что экспериментальные данные и результаты численных исследований находятся в хорошем качественном соответствии. Что касается количественных характеристик, то погрешность численных результатов находится в пределах 2÷10%, рис. 5.

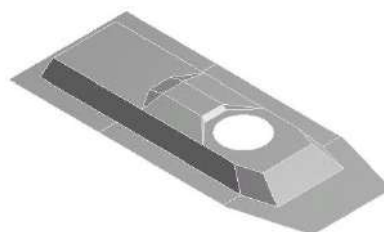
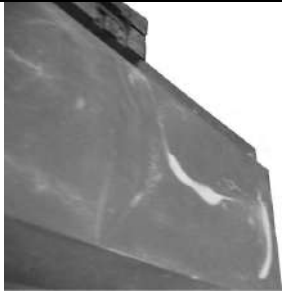
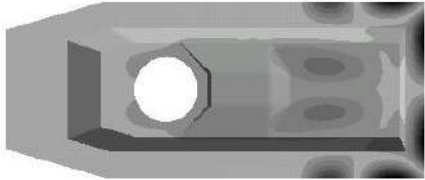
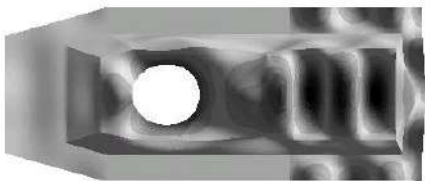


Рис. 3 – Геометрическая модель макета

Таблица 1 – Сравнительный анализ результатов численных и экспериментальных исследований

№	Форма колебаний экспериментальная	Форма колебаний расчетная
1	 600 Гц	 589,48 Гц
2	 980 Гц	 1004,5 Гц
3	 1210 Гц	 1225,6 Гц

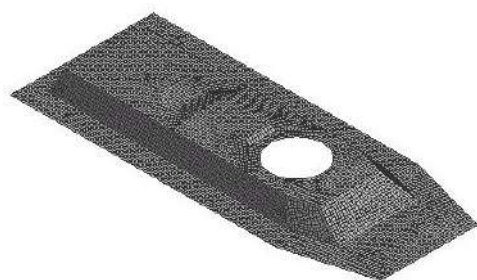


Рис. 4 – Конечно-элементная модель макета

Исследование собственных частот и форм колебаний при импульсном воздействии

В данном случае возбуждение колебаний макета корпуса осуществлялось воздействием обрезиненного ударника в области некоторых точек конструкции, рис. 6. Характерные точки конструкции выбирались исходя из результатов предварительного расчета ее собственных частот и форм колебаний, и являются местами возникновения наибольших перемещений. Частотные характеристики

определялись при помощи анализатора спектра вибраций, вибропреобразователя ДН-3-М1, рис. 7.

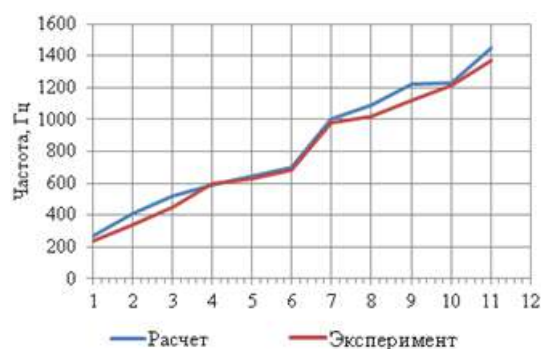


Рис. 5 – Сравнение собственных частот макета, полученных экспериментальным и расчетным путем

В качестве результата были получены виброперемещения, виброскорости и виброускорения в исследуемых точках, изменяющиеся во времени.

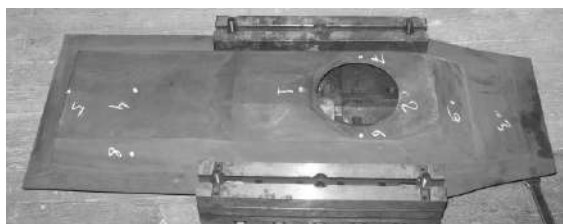


Рис. 6 – Места крепления датчика для фиксации экспериментальных данных

На рис. 8 – 16 в графической форме представлены полученные в ходе экспериментальных исследований зависимости, описывающие отклик макета корпуса на ударное воздействие.

Численное моделирование собственных частот макета при ударном воздействии. Колебательный процесс с учетом действия вязкого трения в изменении (1) имеет вид:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = 0, \quad (4)$$

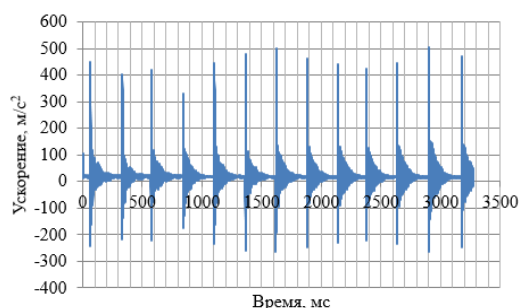


Рис. 8 – График распределения ускорений во времени в точке 4

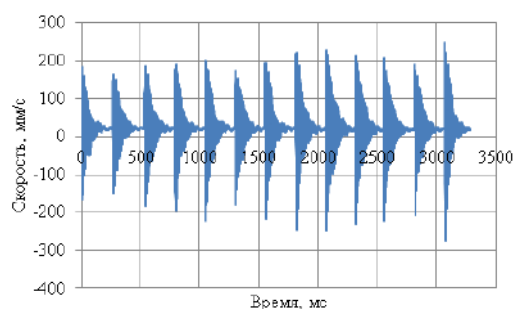


Рис. 9 – График распределения скоростей во времени в точке 4

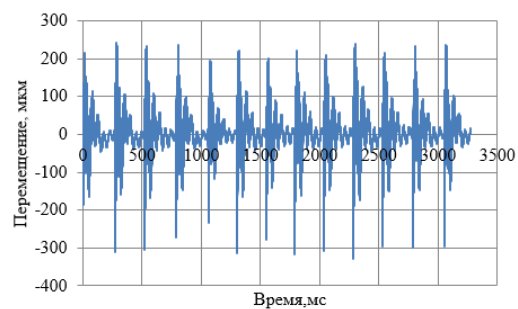


Рис. 10 – График распределения перемещений во времени в точке 4

где $[C]$ – матрица демпфирования.

Предполагается действие в начальный момент времени импульса сил, после чего – свободные затухающие колебания системы. Для них характерно колебательное движение с затуханием размахов.



а)

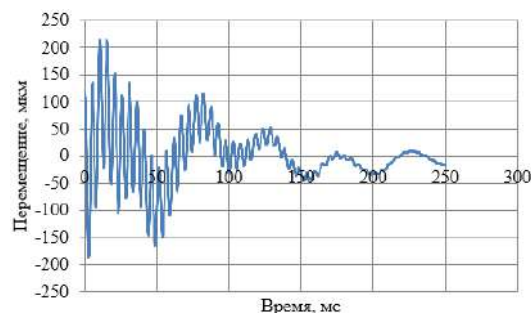
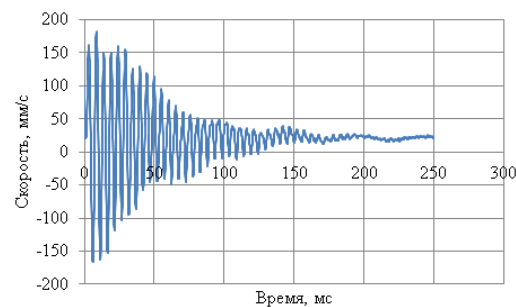
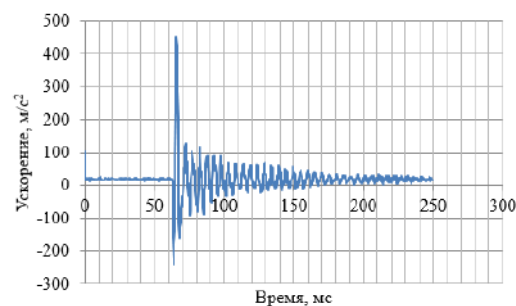


б)

Рис. 7 – Используемая аппаратура:
а) – анализатор спектра вибраций 795М; б) – датчик ДН-3-М1

Огибающие графиков зависимости перемещений, скоростей и ускорений были описаны экспоненциальной функцией вида:

$$y_s = A \cdot e^{-bt}. \quad (5)$$



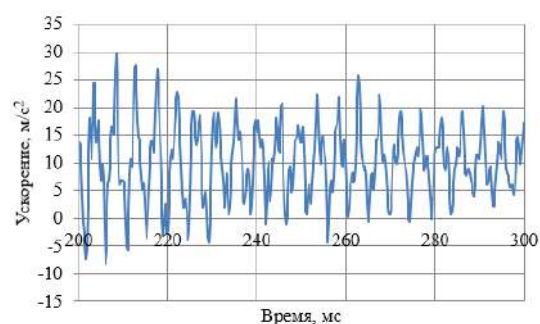
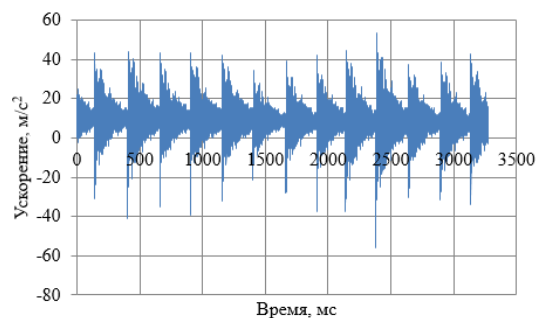


Рис. 11 – График распределения ускорений во времени в точке 8

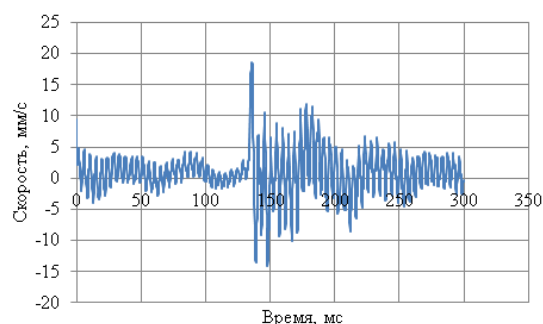
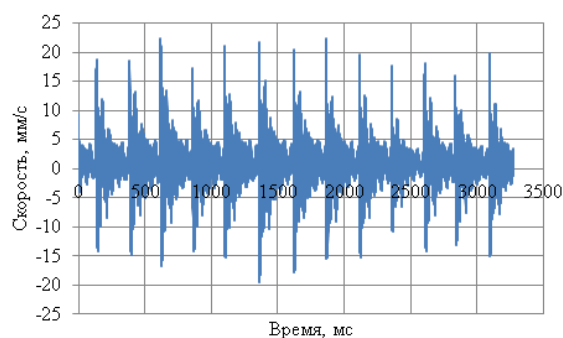


Рис. 12 – График распределения скоростей во времени в точке 8

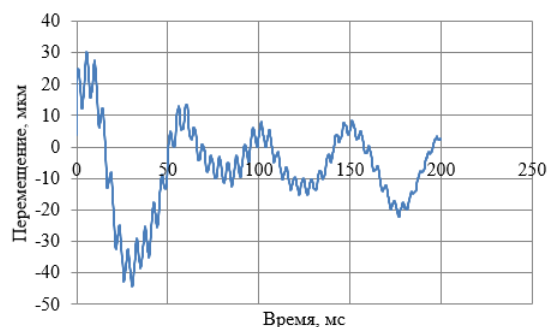
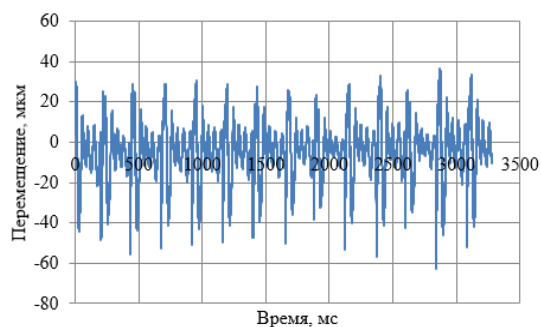


Рис. 13 – График распределения перемещений во времени в точке 8

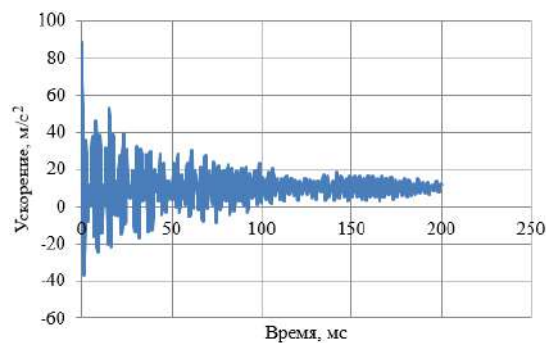
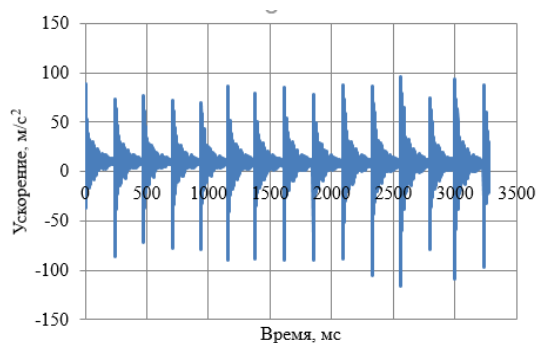


Рис. 14 – График распределения ускорений во времени в точке 9

Далее были вычислены коэффициенты затухания системы для рассматриваемых характеристик:

$$b = \ln(y_2/y_1)/(t_2 - t_1), \quad (6)$$

где t_1 , t_2 – время; y_1 , y_2 – значения описываемой

величины в момент времени t_1 и t_2 соответственно.

Исходя из этих данных для расчетной модели был определен коэффициент демпфирования. На рис. 17 приведена зависимость коэффициента затухания для ускорений по времени в точке 4, полученного экспериментальным путем, от величины

коэффициента демпфирования, заложенного в расчетную модель. Учитывая, что затухание зависит от возбуждаемой частоты и коэффициент демпфирования, описывающий затухание системы при импульсном воздействии на нее, отличен в

разных точках, для расчетной модели был вычислен усредненный коэффициент демпфирования $d = 0,07$, обеспечивающий приемлемую точность численного анализа, рис. 17, 18.

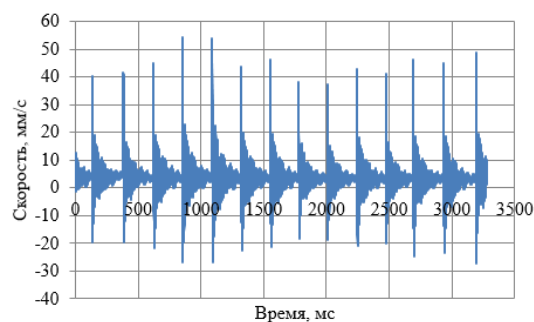


Рис. 15 – График распределения скоростей во времени в точке 9

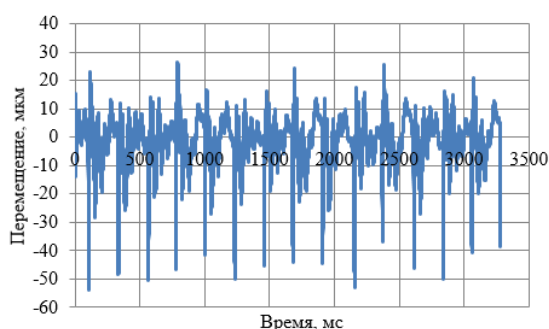
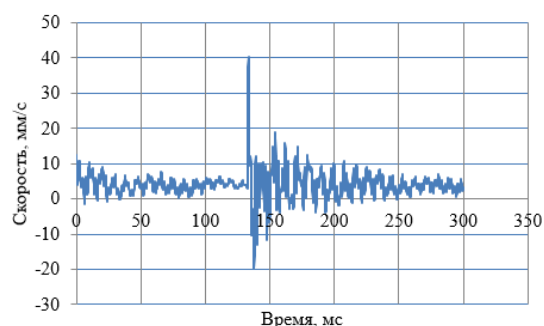


Рис. 16 – График зависимости перемещений от времени в точке 9

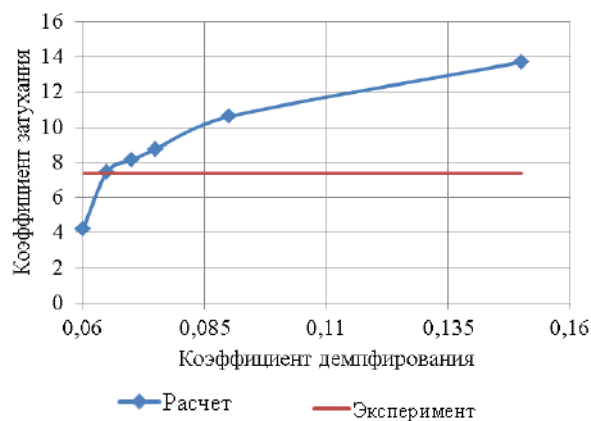
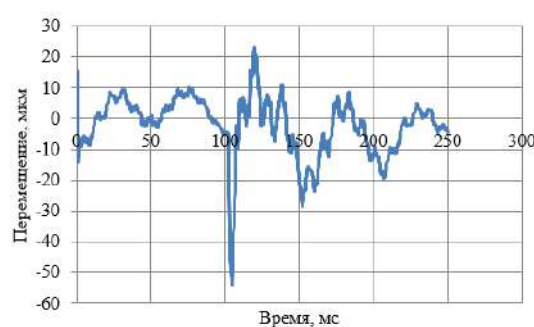


Рис. 17 – График зависимости коэффициента затухания от коэффициента демпфирования

Исследования натурального образца корпуса БТР-3Е

С использованием верифицированных конечно-элементных моделей были проведены исследования натурального образца. Ставилась цель путем варьирования проектных параметров панелей и элементов усиления достигнуть заданных прочностных и динамических характеристик

бронекорпуса БТР-3Е. Полученные в ходе исследования результаты, построенные модели, а также программное обеспечение были переданы на предприятие ПАО «Азовмаш», которое организовало серийное производство этих бронекорпусов. При этом в ходе технологической подготовки производства бронекорпусов созданные модели и программное обеспечение использовались для оценки прочностных и жесткостных характеристик в режиме многовариантных расчетов.

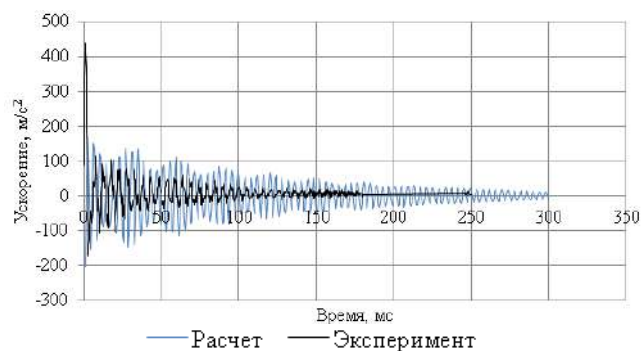


Рис. 18 – Сравнение результатов экспериментальных и численных исследований

В итоге были обоснованы согласованные проектно-технологические решения по бронекорпусу БТР-3Е, которые обеспечивают выполнение комплекса требований тактико-технических характеристик. В частности, это относится к динамическим характеристикам при действии импульсной нагрузки.

Для проверки достоверности полученных расчетным путем результатов, а также обоснованности сделанных на их основе рекомендаций были проведены экспериментальные исследования на опытных образцах БТР-3Е [9,10].

Методика экспериментальных исследований предполагала импульсное воздействие на корпус в ряде точек, рис. 19, и фиксацию при помощи акселерометров временных распределений ускорений в этих точках. Данные, полученные расчетным и экспериментальным путем, были сопоставлены. Качественные характеристики расчетно-экспериментальных данных представлены на рис. 20.

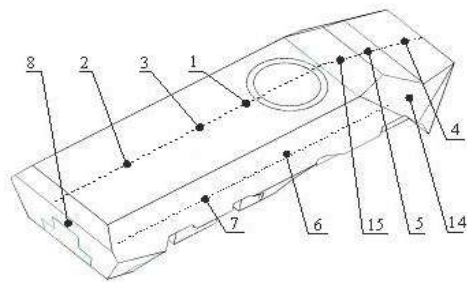


Рис. 19 – Точки фиксации виброускорений

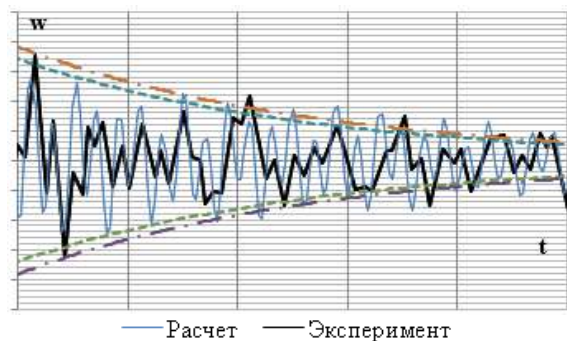


Рис. 20 – Характеристики временных распределений виброускорений в некоторой исследуемой точке, полученные экспериментальным и расчетным путем

Видно хорошее совпадение временных трендов изменения амплитуды затухающих колебаний. Что касается количественного соответствия результатов расчетных и экспериментальных исследований, то их отличие находится в пределах 8–12 % по частотам свободных колебаний и по логарифмическому декременту затухания. В частности, несоответствия вызваны тем, что на натурном объекте достаточно сложно возбудить моногармоническое воздействие – в отклике на удар присутствует целый спектр составляющих.

Выводы

Таким образом, проведенные проверочные исследования подтвердили корректность разработанных математических и численных моделей, точность полученных результатов и обоснованность разработанных на их основе рекомендаций по обеспечению конструкционной прочности и динамических характеристик бронекорпусов отечественных легкобронированных машин.

Положительные результаты исследований демонстрируются также практикой эксплуатации БТР-3Е.

Список литературы

- 1 Литвиненко, А. В. Метод линеаризации поверхности отклика в задаче обоснования проектных параметров тонкостенных элементов машиностроительных конструкций / А. В. Литвиненко, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, М. А. Бондаренко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Зб. наук. праць. Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 31 (1074). – С. 88–99.
- 2 Шейченко, Р. И. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния инновационных тонкостенных машиностроительных конструкций / Р. И. Шейченко, Н. А. Ткачук, М. А. Бондаренко, Е. А. Лунев // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Машинобудування та САПР. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 12 (1234). – С. 137–145.
- 3 Thin-walled structures. – Great Britain: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- 4 Kwok, Kawai. Mechanics of viscoelastic thin-walled structures. Dissertation (Ph.D.), California Institute of Technology, 2013.
- 5 Пелешко, Е. В. К вопросу о расчетно-экспериментальном определении параметров численных моделей корпусов транспортных средств / Е. В. Пелешко, А. Ю. Васильев, Г. Д. Гриценко, С. Т. Бруль // *Вестник НТУ «ХПІ»*. Тем. вып.: Транспортное машиностроение. – 2007. – № 33. – С. 140–144.
- 6 Пелешко, Е. В. Расчетно-экспериментальные исследования реакции корпуса бронетранспортера на импульсные воздействия / Е. В. Пелешко // *Вестник НТУ «ХПІ»*. Тем. вып.: Машинознавство і САПР. – № 33 – Вестник НТУ «ХПІ». – 2006. – С. 96–108.
- 7 Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 7th ed. / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, J. Z. Zhu. – Oxford: Butterworth-Heinemann. – 2013. – 756 pp.
- 8 Strang, G. An Analysis of the Finite Element Method / G. Strang, G. J. Fix – New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973. – 351 p. – doi: 10.1137/1017062.
- 9 Литвиненко, А. В. Комплексные экспериментальные исследования динамических характеристик фрагментов, макетов и натурных образцов элементов бронекорпусов транспортных средств специального назначения / А. В. Литвиненко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 1(975). – С. 85–93.
- 10 Карапейчик, И. Н. Расширенная расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных

средств специального назначения / **И. Н. Карапейчик, А. В. Литвиненко, С. Т. Бруль, Н. А. Ткачук, А. Ю. Васильев** // *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Машиностроение и САПР.* – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 22. – С. 69–77.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Litvinenko, A. V., Sheychenko, R. I., Graborov R. V., Bondarenko, M. A.** Metod linearizatsii poverhnosti otklika v zadache obosnovaniya proektnykh parametrov tonkostennykh elementov mashinostroitelnykh konstruktsey [Method of the response surface linearization in the task of design parameters justifying for thin-walled elements of engineering structure] *Visnik NTU «KhPI». Zb. nauk. prats. Seriya: Problemi mehanichnogo privodu. [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Mechanical drive Problems].* Kharkov: NTU «KhPI», 2014, **31**(1074), 88–99.
- 2 **Sheychenko, R. I., Tkachuk, N. A., Bondarenko, M. A., Lunev, E. A.** Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya innovatsionnykh tonkostennykh mashinostroitelnykh konstruktsey [Numerical simulation of stress-strain state of thin-walled innovative engineering structures] *Visnik NTU «KhPI». Seriya: Mashinobuduvannya ta SAPR [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Machine-building and CAD].* Kharkiv: NTU «KhPI», 2017, **12** (1234), 137–145.
- 3 Thin-walled structures. – Great Britan: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- 4 **Kwok, Kawai** (2013) Mechanics of viscoelastic thin-walled structures. Dissertation (Ph.D.), California Institute of Technology.
- 5 **Peleshko, E. V., Vasilev, A. Yu., Gritsenko, G. D., Brul, S. T.** K voprosu o raschetno-eksperimentalnom opredelenii parametrov chislennykh modeley korpusov transportnykh sredstv [On the problem of calculation and experimental determination of vehicles hulls numerical models parameters]. *Vestnik NTU «KhPI». Tem. vyip.: Transportnoe mashinostroenie [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Transport engineering].* Kharkov: NTU «KhPI», 2007, **33**, 140–144.
- 6 **Peleshko, E. V.** Raschetno-eksperimentalnyye issledovaniya reaktzii korpusa bronzetransportera na impulsnyye vozdeystviya [Computational and experimental studies of the armored personnel carrier hull response to impulse actions] *Visnik NTU «KhPI». Seriya: Mashinobuduvannya ta SAPR [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Machine-building and CAD].* Kharkiv: NTU «KhPI», 2006, **33**, 96–108.
- 7 **Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Zhu, J.Z.** The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 7th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013, 756 pp.
- 8 **Strang, G., Fix, G. J.** An Analysis of the Finite Element Method. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973, 351 pp. – doi: 10.1137/1017062.
- 9 **Litvinenko, A. V.** Kompleksnyye eksperimentalnyye issledovaniya dinamicheskikh harakteristik fragmentov, maketov i naturnykh obraztsov elementov bronekorpusov transportnykh sredstv spetsialnogo naznacheniya [Complex experimental studies of armored hulls elements dynamic characteristics on the special-purpose vehicles mock-ups fragments and full-scale samples] *Visnik NTU «KhPI». Seriya: Mashinobuduvannya ta SAPR [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Machine-building and CAD].* Kharkiv: NTU «KhPI», 2013, **1**(975), 85–93.
- 10 **Karapeychik, I. N., Litvinenko, A. V., Brul, S. T., Tkachuk, N. A., Vasilev A. Yu.** Rasshirennaya raschetno-eksperimentalnaya identifikatsiya parametrov chislennykh modeley korpusnykh elementov transportnykh sredstv spetsialnogo naznacheniya [Extended computational and experimental parameter identification of numerical models of special-purpose vehicles hull elements] *Visnik NTU «KhPI». Seriya: Mashinobuduvannya ta SAPR [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Machine-building and CAD].* Kharkiv: NTU «KhPI», 2012, **22**, 69–77.

Сведения об авторах (About authors)

Бондаренко Марина Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Maryna Bondarenko – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", postgraduate student at the department of theory and computer aided design of mechanisms and machines, Kharkiv, Ukraine; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Пелешко Евгений Витальевич – кандидат технических наук, инженер-конструктор ООО «БИИР Украина».

Ievgen Pelesko – candidate of technical sciences (Ph. D.), mechanical engineer at the BIIR Ukraine LLC; Odessa, Ukraine.

Васильев Антон Юрьевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», докторант кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

Anton Vasiliev – candidate of technical sciences (Ph. D.), National technical university "Kharkiv polytechnic institute", doctoral student at the department of theory and computer aided design of mechanisms and machines; Kharkiv, Ukraine; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

Грабовский Андрей Владимирович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина; e-mail: Grabovskiy@tmm-sapr.org.

Andrey Grabovskiy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher at the department of theory and computer aided design of mechanisms and machines; Kharkiv, Ukraine; e-mail: Grabovskiy@tmm-sapr.org.

Граборов Роман Викторович – начальник группы технических расчетов ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», г. Мариуполь, Украина.

Roman Graborov – chief of technical calculations group of the JSC "Science Engineering Center UK" RailTransHolding", Mariupol, Ukraine.

Веретельник Юрий Викторович – кандидат технических наук, инженер-конструктор ООО «БИИР Украина».

Yurii Veretelnik – mechanical engineer at the BIIR Ukraine LLC; Odessa, Ukraine.

Посохов Виталий Владимирович – Национальная академия Национальной гвардии Украины, старший преподаватель кафедры «Ремонт и эксплуатация автомобилей и боевых машин»; г. Харьков, Украина.

Vitaliy Posohov – National academy of the National guards of Ukraine, senior professor at the department "Repair and operation of cars and military vehicles"; Kharkiv, Ukraine.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Бондаренко, М. А. Расчетно-экспериментальная верификация динамической модели макета корпуса бронетранспортера / **М. А. Бондаренко, Е. В. Пелешко, А. Ю. Васильев, А. В. Грабовский, Р. В. Граборов, Ю. В. Веретельник, В. В. Посохов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 5-13. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.

Please cite this article as:

Bondarenko, M., Peleshko, Ie., Vasiliev, A., Grabovskiy, A., Graborov, R., Veretelnik, Yu., Posohov, V. Computational and experimental dynamic model verification of personnel armored carrier hull. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 5–13, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бондаренко, М. О. Розрахунково-експериментальна верифікація динамічної моделі макета корпусу бронетранспортера / **М. О. Бондаренко, Є. В. Пелешко, А. Ю. Васильєв, А. В. Грабовський, Р. В. Граборов, Ю. В. Веретельник, В. В. Посохов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 5-13. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.

АНОТАЦІЯ Проведена верифікація комп'ютерної динамічної моделі корпусу бронетранспортера шляхом порівняння результатів числових і експериментальних досліджень макета. Методика експериментальних досліджень включала випробування на вібраційному стенді і визначення реакції конструкції на імпульсний вплив за допомогою прогумованого інструменту. Визначено, що динамічні характеристики, отримані експериментальним шляхом, якісно і кількісно відповідають числовим результатам. З використанням верифікованих скінченно-елементних моделей проведені перевірочні дослідження натурного зразка корпусу БТР-3Е, які підтвердили коректність розроблених математичних і числових моделей, а також точність отриманих результатів.

Ключові слова: бронетранспортер; динамічні характеристики; експериментальні дослідження; числові дослідження; макет; метод скінченних елементів.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 621.89:621.762:621.822

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.02

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕЙНТНОГО ЧУГУНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

С. М. ВОЛОЩЕНКО¹, К. А. ГОГАЕВ¹, М. Г. АСКЕРОВ^{1*}, А. М. МИРОПОЛЬСКИЙ²

¹отдел № 10, ИПМНАН Украины, Киев, УКРАИНА

²ІПДО НУХТ, Київ, УКРАЇНА

* email mukafatask@gmail.com

АННОТАЦИЯ Проведен сравнительный анализ эксплуатации зарубежных и украинских сменных деталей почвообрабатывающей сельхозтехники. Ресурс работы отечественных деталей в несколько раз уступает ресурсу зарубежным образцам. Кроме того, импортные детали не подходят к навесному оборудованию техники, произведенной в Украине. Количество зарубежной сельхозтехники постоянно увеличивается, что требует увеличение поставок сменных деталей, стоимость которых в 5 – 8 раз превышает стоимость деталей украинского производства. В этой связи задача замены импортных деталей аналогичными деталями отечественного производства с высоким ресурсом работы, не уступающему ресурсу лучших образцов зарубежного производства, является весьма актуальной. В Институте проблем материаловедения НАНУ проведены работы по созданию технологии изготовления литых лемехов из высокопрочного бейнитного чугуна, обладающих ресурсом, сравнимым и превышающим с ресурсом лучших зарубежных образцов.

Ключевые слова: высокопрочный бейнитный чугун; сменные детали; навесное оборудование; грунтообрабатывающая сельхозтехника.

APPLICATION OF HIGH-STRENGTH BAINITIC IRON FOR THE PRODUCTION OF REPLACEMENT PARTS OF GRAND-TREATMENT AGRICULTURAL MACHINERY

S. M. VOLOSCHENKO¹, K. A. GOGAEV¹, M. G. ASKEROV¹, A. M. MIROPOLSKIY²

¹Department № 10, IPMS NAS of Ukraine, Kiev, UKRAINE

²IPE at the NU of Food Technology, Kiev, UKRAINE

ABSTRACT A comparative analysis of the exploitation of foreign and Ukrainian replaceable parts of soil-cultivating agricultural machinery is carried out. The resource of the work of domestic parts is several times less than the resource for foreign models. In addition, imported parts do not match the attachments of equipment produced in Ukraine. The number of foreign agricultural machinery is constantly increasing, which requires an increase in the supply of replacement parts, the cost of which is 5 – 8 times higher than the cost of parts produced in Ukraine. In this regard, the task of replacing imported parts with similar parts of domestic production with a high resource of work, not inferior to the resource of the best samples of foreign production, is very relevant. The Institute for Material Science Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine has carried out work on the development of a technology for the production of cast plowshares from high-strength bainitic cast iron with a resource comparable and exceeding that of the best foreign samples. The purpose of this work is to develop a technology for the production of cast interchangeable parts in a high service life in replacement of existing serial steel samples. As a result of laboratory tests it was established that cast replacement parts for soil-cultivating agricultural machinery when working in soils of different types have a service life of 2-5 times higher than serial steel plowshares.

Keywords: high-strength bainitic cast iron; replacement parts; attached equipment; soil cultivating equipment.

Введение

Сравнительный анализ эксплуатации сменных деталей навесного оборудования грунтообрабатывающей сельхозтехники украинских и зарубежных производителей показывает, что последние по качеству изготовления значительно превосходят отечественные. Основной недостаток деталей украинского производства – низкая износостойкость при пахотных работах. К примеру, качество и производительность плужной вспашки в первую очередь зависит от работы лемеха. Современные украинские лемеха имеют низкое качество изготовления, кроме того металл не всегда отвечает требованиям стандартов, что приводит к повышенному их срабатыванию. Вследствие этого, несмотря на значительное (с 30 млн. га до 18 млн. га) уменьшение обрабатываемых площадей, ежегодно увеличивается потребляемое количество рабочих органов (700 – 750

тыс.шт. лап культиваторов, до миллиона лемехов, 600–650 тыс. шт. дисков), кроме того теряется из-за отсутствия утилизации тысячи тонн дорогой легированной стали.

При производстве лемехов до 40 % лемешной стали идет в отходы при вырубке, а для увеличения износостойкости наплавляют лишь 40 % лемехов, при этом средняя наработка с наплавкой на единицу составляет 35 – 40 га, а без наплавки менее 20 га, что не может быть приемлемым тем более, что розничная стоимость лемеха с наплавкой составляла 120 – 135 грн. (в ценах 2010 г.). Лучшие образцы лемехов зарубежных фирм без носовой насадки (долота) работают 80 – 100 га, а отечественные 20 – 35 га. Кроме того, само производство лемехов в Украине ежегодно падает, а снабжение данной продукции из-за границы растет. Аналогичная картина имеет место и для других сменных деталей почвообрабатывающей техники (лапы культиваторов, диски плугов и т.п.).

На рынке Украины за последние 7 лет появилось значительное количество импортной грунтообрабатывающей сельхозтехники, требующей соответствующих сменных деталей (лемехи плугов, лапы культиваторов и т.п.). Сменные детали импортного производства не подходят к навесному оборудованию отечественно производства, в том числе произведенных в России и Белоруссии. Таким образом, повышение ресурса сменных деталей для грунтообрабатывающей техники является весьма актуальным. Тем более, что стоимость деталей зарубежного производства в 3 – 5 раз превосходит стоимость деталей, произведенных в Украине.

Цель работы

Целью данной работы является разработка технологии производства сменных литых деталей из высокопрочного бейнитного чугуна. Бейнитный чугун в последние годы привлекает повышенное внимание исследователей в связи с его уникальными свойствами сопротивляться усталостному разрушению и износу [1–5]. В лабораторных условиях произвести триботехнические испытания образцов из высокопрочного бейнитного чугуна для сравнения с образцами из серийных стальных лемехов при работе в разных типах грунта.

Изложение основного материала

В Институте проблем материаловедения НАНУ проведены работы по созданию технологии изготовления литых лемехов из высокопрочного бейнитного чугуна, обладающих ресурсом, сравнимым с ресурсом лучших зарубежных образцов. Были проведены лабораторные испытания на износ образцов вырезанных из клиновидных проб высокопрочного чугуна базового состава: С – 3,1 – 3,4 %; Mn – 0,2 – 0,3 %; Si – 2,6 – 2,8 %; S ≤ 0,02 %; P < 0,02 %; Mo – 0,2 – 0,4 %; Ni – 0,4 – 0,6 %; Cu – 0,3 – 0,4 %. Образцы проходили термообработку по различным режимам. Нагрев до температуры аустенизации 900°C, выбранной для данного состава чугуна согласно [6] с последующей закалкой в масле и отпуском при температуре 320°C в течение 3 час., а также изотермической закалкой при 310°C и 350°C.

Лабораторные испытания износостойкости опытных образцов проводились по специально разработанной методике [7, 8] на установке, которая позволяет использовать разные абразивные среды, моделируя износ лемехов при пахотных работах в грунтах разного типа. Установка представляла собой закрытый объем с абразивом. В закрытый объем установки помещался держатель образцов с двумя образцами размерами 10x10x20 мм. Вращение образцов осуществлялось со скоростью 3 м/сек электродвигателем, что отвечает скорости движения трактора при пахотных работах 10 км/час.

В качестве абразивных сред использовался влажный и сухой овражный песок, чернозем малогумусный и глинистая почва обычной влажности

(10 %). В качестве репера выбраны данные по потере веса в аналогичных условиях образца, вырезанного из серийного стального лемеха. Потери веса последнего составляли: для влажного чернозема – 2,52 мг/км; глинистый грунт увлажненный – 74,2 мг/км; овражный песок увлажненный – 140,4 мг/км и для сухого овражного песка – 309,4 мг/км. На рис. 1 представлены данные по потере веса у образцов из высокопрочного чугуна.

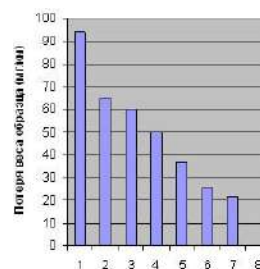


Рис. 1 – Результаты триботехнических испытаний образцов ВЧ после различных видов термообработки при трении в сухом овражном песке:

1-температура нагрева (аустенизация) 900°C, 30 мин. Закалка в масло с отпуском 320 °C, выдержка 3 часа; 2-температура нагрева (аустенизация) 900°C, 30 мин. Изотермическая закалка при температуре 310 °C, выдержка 1 час; 3 - то же, выдержка 2 часа; 4 - то же выдержка 3 часа; 5 - температура нагрева (аустенизация) 900 °C, 30 мин. Изотермическая закалка 350 °C, выдержка 1 час; 6 - то же самое, выдержка 2 часа; 7 - то же самое, выдержка 3 часа

Таким образом, минимальная потеря веса наблюдается при изотермической закалке при температуре 350 °C и выдержке 3 часа и составляет 21,5 мг/км. После выдержки 2 часа потеря веса составляет 26 мг/км. Для сравнения потеря веса образца из серийного стального лемеха составляет при равных условиях (сухой овражный песок) 309,4 мг/км т.е. более чем на порядок больше.

На рис. 2 приведены данные по потере веса образцов при износе в глинистой почве (естественное природное увлажнение) и в песке овражном увлажненном.

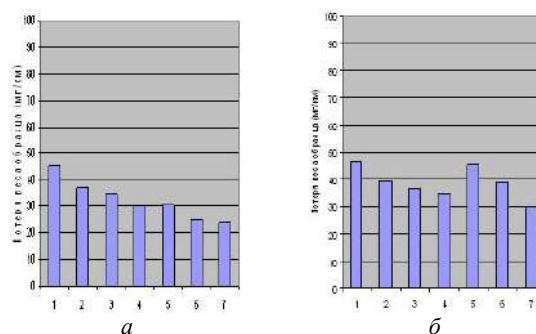


Рис. 2 – Потеря веса образцов ВЧ после различных видов ТО в глинистой и песчаной почве при естественном природном увлажнении: а – глинистая почва с естественным увлажнением; б – овражный песок с естественным увлажнением

Потеря веса в глинистой почве образцов после изотермической закалки при температуре 350 °С при выдержке 2 и 3 часа практически одинакова (24 – 25 мг/км). Во влажном овражном песке потеря веса после изотермической закалки при 310 и 350 °С при выдержке 3 часа сопоставима – 34 и 30 мг/км. В сравнении с базовым образцом из стального лемеха разница составляет 49,2-50,2мг/км и 106,2-110,2мг/км соответственно, т.е. износостойкость изотермически закаленных образцов примерно в три раза выше при работе в глинистой почве и в более чем в четыре раза выше при работе во влажной песчаной почве.

На рис. 3 приведена гистограмма, показывающая потерю веса образцов из высокопрочного чугуна после различных видов термообработки при работе в легком черноземе (1,06 – 1,62 МПа).

Все подрисуночные надписи (рис. 2 и рис. 3) смотри выше, соответствуют подрисуночным данным на рис. 1. Потеря веса образцов после изотермической закалки при 350 °С в течение 3-х часов составляет 1,1 мг/км (материал серийного лемеха 2,54 мг/км) т.е. в 2,29 раза выше.

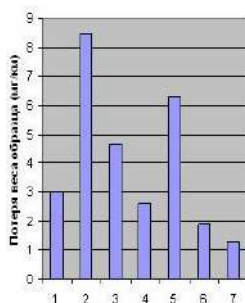


Рис. 3 – Потеря веса образцов из ВЧ после различных видов ТО при трении в черноземе

На основании лабораторных исследований были выбраны основные технологические режимы для изготовления опытных образцов лемехов для натурных полевых испытаний при пахотных работах. Температура аустенизации 900 °С с выдержкой 60–70 мин. с последующей изотермической закалкой 300 – 350 °С в течение 2 – 3 часа.

Были отлиты 2 группы лемехов с общим ребром жесткости и с ребром только в носке (рис. 4). Опытные лемеха были подвергнуты термообработке по двум режимам: нагрев под закалку до температуры 900 °С с выдержкой 70 мин. и изотермическую закалку при 300 °С и 350 °С.

При этом выдержка при температуре 300 °С составляла 150 мин., а при 350 °С – 120 мин. Условия термообработки были выбраны на основании результатов лабораторных исследований, ранее проведенных исследований и испытаний [9,10] а также условиями и возможностями базового предприятия, загрузки деталей используются специальные загрузочные корзины, в которых возможно размещение лемехов на ребро, при этом устраняется опасность коробления или поводки лемеха.

Лемеха, прошедшие термообработку, взвешивались и проверялись на твердость металла. В табл. 1 приведены характеристики лемехов после ТО.



Рис. 4 – Лемеха с различной конфигурацией ребра жесткости

Износ лемехов определялся по потере веса, а также по изменению профиля лезвия. В табл. 2 приведены данные по динамике потери веса опытных лемехов в сравнении с серийными, которые устанавливались в паре с литыми.

Таблица 1 – Весовые параметры и твердость лемехов для натурных испытаний

Маркировка лемеха	Масса лемеха, кг	Конструктивные особенности	Режим ТО	Твердость после ТО, НВ
11	4,130	Ребро жесткости вдоль всего лемеха	Тзак. 900 °С - 70 мин.; изотермическая закалка 350 °С 120 мин	380–390
12	4,270	– «» –	– «» –	380–390
13	4,250	Ребро жесткости в носке лемеха	– «» –	– «» –
14	4,100	– «» –	– «» –	– «» –
21	4,350	Ребро жесткости вдоль всего лемеха	Тзак. 900 °С 70 мин.; изотерм. закалка 300 °С 150 мин.	410–415
22	4,350	– «» –	– «» –	– «» –
23	4,450	Ребро жесткости в носке лемеха	– «» –	– «» –
24	4,150	– «» –	– «» –	– «» –

Таблица 2 – Потеря веса лемехов в зависимости от наработки

Лемеха, материал №	Масса до начала испытаний, г	Масса после испытаний, г	Износ по массе		Наработка лемеха в га	Относительный износ на 1 га в г
			г	%		
11	4130	3480	650	15,74	82	7,926
12	4270	3510	760	17,8	80	9,5
13	4250	3635	615	14,47	75	8,2
14	4100	3433	667	16,27	75	8,9
21	4350	3598	752	17,29	80	9,4
24	4150	3562	588	14,17	60	9,8
серийный	4540	2855	1685	37,11	54	31,2
серийный	4480	2911	1569	35,02	59	26,6
серийный	4570	3213	1357	29,69	59	23

- Грунт – чернозем малогумусный

Проведенные предварительные испытания лемехов двух конструктивных вариантов не выявили

существенных отличий в их работоспособности и в дальнейшем с учетом рекомендаций специалистов кафедры сельскохозяйственных машин НУБиП Украины испытывались литые лемеха с усиленным носком. Испытания проводились в 2009 – 2010 гг.

Полевые испытания литых лемехов проводились в различных хозяйствах Киевской и Черкасской областях (Городыщенский, Ставыщенский и Васильковский районы). Лемеха испытывались в паре с серийными стальными с наплавкой. За период пахотных работ в 2009 – 2010 гг. в Ставыщенском районе в ТОВ «Журавлинское» на плугах ПН-5-35 в агрегате с трактором Т-150К на тяжелых грунтах-черноземах наработка на один литой лемех составила 99 – 102 га, в ЧП «Церера-Агро-Транс» на плуге ПЛН-8 – 35 в агрегате с трактором К-701 наработка при пахотных работах на супесчаных грунтах составила 82 га. При этом литые лемеха сохранили ресурс для дальнейшей работы. Показательным является то, что первые лемеха на плуге ПЛН-8-35 ставились серийные стальные с наплавкой. Нарботка стальных лемехов составляла всего 28 – 34 га. Позитивным моментом при работе литых лемехов помимо значительного увеличения ресурса является большая жесткость их конструкции (в стальных лемехах иногда наблюдается загиб носка, особенно в твердых грунтах). Себестоимость изготовления литых деталей сопоставима со стоимостью изготовления стальных. Данная технология также позволяет изготавливать запчасти и для импортных агрегатов. Таким образом, разработанная технология изготовления литых деталей для почвообрабатывающей сельхозтехники на примере лемехов позволяет значительно повысить их ресурс эксплуатации при стоимости в 3 – 5 раз ниже стоимости сменных деталей зарубежных производителей.

Выводы

1. Разработанная технология изготовления литых деталей для почвообрабатывающей сельхозтехники на примере лемехов позволяет повысить их ресурс в 2-5 раза при эксплуатации, а стоимость в 5-8 раз ниже стоимости семенных деталей зарубежных производителей.

2. Разработанная технология представляет возможность распространить ее с соответствующей корректировкой и для других сменных деталей грунтообрабатывающей сельхозтехники.

3. Позитивным моментом при работе литых лемехов помимо значительного увеличения ресурса является большая жесткость их конструкции (в стальных лемехах иногда наблюдается загиб носка, особенно в твердых грунтах).

4. Данная технология также позволяет изготавливать запчасти и для импортных агрегатов.

Список литературы

1. Нестеренко, А. М. Рентгеноструктурный анализ бейнитной структуры чугунов с шаровидным графитом после аустемперинга в интервале температур сдвигово-

диффузионного превращения / А. М. Нестеренко, К. И. Узлов, А. Н. Хулин // *Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии*. – 2010. – 22. – С.178-189.

2. Узлов, К. И. Анализ характера разрушения промышленных изделий из высокопрочных бейнитных чугунов в зависимости от структурного состояния их матрицы / К. И. Узлов, В. И. Сухомлин, А. Ю. Борисенко, А. Н. Хулин // *Металлургия и горнорудная промышленность*. – № 4. – 2010. – С. 73 – 77.
3. Фирстов, С. А. Закономерности структурообразования матрицы высокопрочных чугунов по ДСТУ 3925 при изотермической закалке / С. А. Фирстов, Ю. Н. Подрезов, Н. И. Даниленко, К. И. Узлов // *Металлургия и горнорудная промышленность*. – № 5. 2012. – С. 73 – 77.
4. Ebrahimpour, S. R. Effect of Different Austempering Temperatures on Wear Properties of Ductile Iron / S. R. Ebrahimpour, A. Abedi, M. Abbasi, M. R. Alizadeh // *Tech. J. Engin. & App. Sci.* – 2013. – 3 (7). – P. 553-561.
5. Sharma, S. Effect of Austempering Temperature and Time on the Wear Characteristics of Austempered Ductile Iron (ADI) / S. Sharma, R. Gupta // *International Journal of Engineering Research and General Science*. – 2015. – V. 3, 1. – P. 986-990.
6. Гогаєв, К. О. Бейнітний чавун для швидкозношуваних змінних деталей сільгосптехніки // К. О. Гогаєв, С. М. Волощенко / *Вісник Національної академії наук України*. – 2015. – №9. – С. 64-68.
7. Исследование и разработка технологии производства износостойких литых деталей с использованием комплексных композиционных модификаторов из порошковых материалов. ИПМ НАНУ. 2009 г. – 106 с.
8. Волощенко, С. М. Дослідження властивостей високоміцного чавуну для лемешів в залежності від хімічного складу та режимів термічної обробки. / С. М. Волощенко, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, М. Г. Аскеров / *Темат. зб.наукових праць «Вісник Донецької державної машинобудівної академії»*. – 2008. – № 1 (11). – С. 56 – 61.
9. Волощенко, С. М. Изучение возможности и перспективы использования бейнитного чугуна при изготовлении лемехов по результатам полевых испытаний / С. М. Волощенко, А. С. Волощенко, А. И. Виноградский // *Процессы литья*. - 2007. - 4. - С.64- 71.
10. Волощенко, М. В. Молотки из бейнитного высокопрочного чугуна для помола абразивных материалов. // М. В. Волощенко, А. П. Пшениный, И. А. Сычевский, С. М. Волощенко / *Тезисы докл. Всеукр. конф. «Повышение физ.-мех. и служебных св-ств чугунов в отливках путем их легир. и модифицир., термической и высокоэнергет. обработки*. – 1995. – С. 40 – 41.

Bibliography (transliterated)

1. Nesterenko, A. M., Uzlov, K. I., Khulin, A. N. X-ray diffraction analysis of the bainitic structure of spheroidal graphite cast iron after austempering in the temperature range of shear-diffusion transformation. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 2010, 22, 178-189.
2. Uzlov, K. I., Sukhomlin, V. I., Borisenko, A. Yu., Chulin, A. N. Analysis of the nature of the destruction of industrial products from high-strength bainite cast irons, depending on the structural state of their matrix. *Metallurgy and mining industry*, 2010, No. 4, 73 - 77.

3. **Firstov, S. A., Podrezov, Yu. N., Danilenko, N. I., Uzlov, K. I.** Patterns of structure formation of a matrix of high-strength cast irons according to DSTU 3925 under isothermal hardening. *Metallurgy and mining industry*, 2012, No. 5, 73 - 77.
4. **Ebrahimpour, S. R., Abedi, A., Abbasi, M., Alizadeh, M. R.** Effect of Different Austempering Temperatures on Wear Properties of Ductile Iron. *Tech. J. Engin. & App. Sci.*, 2013, 3 (7), 553-561.
5. **Sharma, S., Gupta, R.** Effect of Austempering Temperature and Time on the Wear Characteristics of Austempered Ductile Iron(ADI). *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2015, 3, 1, 986 -990.
6. **Gogaev, K. O., Voloshchenko, S. M.** Bainite pig iron for high-wear variable parts of agricultural machinery. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2015, 9, 64-68.
7. Research and development of production technology for wear-resistant cast parts using complex composite modifiers from powder materials. IPM NASU, 2009, 106.
8. **Voloshchenko, S. M., Gogaev, K. O., Radchenko, O. K., Askerov, M. G.** Investigation of the properties of high-strength pig-iron for dumplings depending on the chemical composition and modes of thermal treatment. *Temat. Collected scientific papers "The Bulletin of the Donetsk State Machine-Building Academy"*, 2008, 1 (11), 56-61.
9. **Voloshchenko, S. M., Voloshchenko, A. S., Vinogradsky, A. I.** Study of the possibility and prospects for the use of bainitic cast iron in the manufacture of couches according to the results of field tests. *The processes of casting*, 2007, 4, 64 - 71.
10. **Voloshchenko, M. V., Psheny, A. P., Sychevsky, A. P., Voloshchenko, S. M.** Hammers from bainitic high-strength cast iron for grinding abrasive materials. *Theses dokl. Allukr.Conf. "Increase in physical-fur. And service cast iron in castings by their alloy and modification, thermal and high-energy*, 1995, 40 - 41.

Сведения об авторах (About authors)

Волощенко Сергей Михайлович - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев, Украина; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

Sergey Voloshchenko - candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine; Kiev, Ukraine; e-mail: volosch@ipms.kiev.ua.

Гогаев Казбек Александрович - доктор технических наук, профессор, Институт проблем материаловедения НАН Украины; г. Киев, Украина; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

Kazbek Gogaev - doctor of technical, professor, Institute of Problems of Materials Science of NAS of Ukraine; Kiev, Ukraine; e-mail: gogaev@ipms.kiev.ua.

Аскеров Мукафат Гейбат оглы - кандидат технических наук, Институт проблем материаловедения НАН Украины, старший научный сотрудник; г. Киев, Украина; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Mukafat Geibat ogly Askerov - candidate of technical sciences, Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine; Kiev, Ukraine; e-mail: mukafatask@gmail.com.

Миропольский Александр Михайлович - кандидат технических наук, доцент, Институт последипломного образования при Национальном университете пищевой технологии, доцент; г. Киев, Украина; e-mail: miral50@ukr.net.

Alexander Miropolsky - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Institute of Postgraduate Education at the National University of Food Technology, Associate Professor; Kiev, Ukraine; e-mail: miral50@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Волощенко, С. М. Применение высокопрочного бейнитного чугуна для производства сменных деталей грунтообрабатывающей сельхозтехники / **С. М. Волощенко, К. А. Гогаев, М. Г. Аскеров, А. М. Миропольский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 32 (1254). - С. 14-18. - doi:10.20998/2413-4295.2017.32.02.

Please cite this article as:

Voloshchenko, S. M., Gogaev, K. A., Askerov, M. G., Mirapolsky, A. M. Application of high-strength bainitic cast iron for the production of replaceable parts of soil-cultivating agricultural machinery. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 32 (1254), 14-18, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.02.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю таким чином:

Волощенко, С. М. Застосування високоміцного бейнітного чавуну для виробництва змінних деталей ґрунтообробної сільгосптехніки / **С. М. Волощенко, К. О. Гогаєв, М. Г. Аскеров, А. М. Мірапольський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. - № 32 (1254). - С. 14-18. - doi:10.20998/2413-4295.2017.32.02.

АНОТАЦІЯ Проведено порівняльний аналіз експлуатації зарубіжних і українських змінних деталей ґрунтообробної сільгосптехніки. Ресурс роботи вітчизняних деталей в кілька разів поступає ресурсу зарубіжним зразкам. Крім того, імпортовані деталі не підходять до навісного устаткування техніки, виробленої в Україні. Кількість зарубіжної сільгосптехніки постійно збільшується, що вимагає збільшення поставок змінних деталей, вартість яких в 5 – 8 разів перевищує вартість деталей українського виробництва. У зв'язку з цим завдання заміни імпортованих деталей аналогічними деталями вітчизняного виробництва з високим ресурсом роботи, що не поступається ресурсу кращих зразків зарубіжного виробництва, є вельми актуальною. В Інституті проблем матеріалознавства НАНУ проведено роботи по створенню технології виготовлення литих лемешів з високоміцного бейнітного чавуну, що володіють ресурсом, яке можна порівняти і перевищує з ресурсом кращих зарубіжних зразків.

Ключові слова: високоміцний бейнітний чавун; змінні деталі; навісне обладнання; ґрунтообробна сільгосптехніка.

Поступила (received) 15.08.2017

УДК 621.316

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.03

STUDY OF THE EFFECT OF ATMOSPHERIC OVERVOLTAGES ON OVERHEAD LINES OF MEDIUM VOLTAGE CLASSES

D. DANYLCHENKO

dept. «Electrical power transmission» National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" Kharkiv, UKRAINE
email: Danylchenko.e@khp.edu.ua

ABSTRACT The article is devoted to the effect of atmospheric overvoltages on the operation of overhead lines of electrical distribution networks with protected and bare wires. The article deals with the methods of protection and their effectiveness in lightning storms used in Ukraine and in the world. The influence of lightning and line parameters on the probability of a direct lightning strike in the overhead line is considered. The technique for calculating direct lightning strikes in a line is analyzed. A new approach to the simulation of overhead lines affection by direct lightning strikes is applied by modeling the height of the orientation of the lightning. It is described the creation of a large-scale model for conducting experimental studies, with the possibility of changing the parameters of lightning (lightning current) and overhead line parameters (line voltage, type of wire). The data allowing to determine the zone of the zipper capture for the lines with the protected wires and the bare wires by the experimental method are obtained. Due to the obtained data, it is possible to more accurately determine the number of direct lightning strikes in overhead lines. The possibility of creating an overhead transmission line using a combination of bare wire and protected wires is considered. With this configuration, the striking effect of lightning on bare wires will be significantly reduced, and the bare wire in addition to the phase conductor will act as a lightning protection cable. An experimental model of a combined power transmission line has been created and its effectiveness has been experimentally confirmed. Conclusions are made about the possibility of using an overhead power line with combined wires for medium voltage classes.

Keywords: Lightning; medium-voltage overhead line; protected wires; lightning orientation height; large-scale model; lightning capture zone; combined overhead line.

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ НА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ СЕРЕДНІХ КЛАСІВ НАПРУГИ

Д. О. ДАНИЛЬЧЕНКО

кафедра «Передачі електричної енергії» Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут», Харків, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена питанню впливу атмосферних перенапруг на роботу повітряних ліній електропередавання розподільчих електричних мереж з захищеними і голими проводами. Розглянуто вплив параметрів блискавки і лінії на ймовірність прямого удару блискавки в повітряну лінію. Проаналізовано методику розрахунку прямих ударів блискавки в лінії. Описано створення великомасштабної моделі для проведення експериментальних досліджень, з можливістю зміни параметрів блискавки і параметрів повітряної лінії. Експериментальним шляхом отримано дані, що дозволяють визначити зону захоплення блискавки для захищених проводів і голих проводів. Розглянуто можливість створення повітряної лінії електропередавання з використанням комбінації голого і захищених проводів. Експериментально підтверджено ефективність комбінованої лінії електропередавання.

Ключові слова: Блискавка вражаємість; повітряна лінія електропередавання середнього класу напруги; захищений провід; висота орієнтування блискавки; великомасштабна модель; зона захоплення блискавки; комбінована лінія електропередавання.

Introduction

The quality of power supply for most consumers directly depends on the reliability of the operation of the distribution overhead lines (OL) 6-35 kV. Among the causes of accidents and violations in the 6-35 kV overhead line, connected with the damage of insulators, poles, wires, accompanied by single-phase earth faults, arc overvoltages, short circuits and automatic shutdowns, one of the main are lightning effects. Due to the low impulse strength of linear insulation, 6-35 kV overhead lines are the most susceptible to lightning trips, since virtually all overvoltages from direct lightning strikes and a significant portion of induced overvoltages result in insulation

overlaps that are likely to be converted into a power arc of industrial frequency voltage.

Therefore, the problem of increasing the effectiveness of lightning protection and reducing the number of outages from electric power sources is very urgent, and it is given increased attention in power systems.

Traditional overvoltage arresters used for lightning protection of substation equipment can not be widely used in overhead lines, either because of technical inadequacy to the requirements, or because of the high cost.

To calculate the density of direct lightning strikes to the ground, information is used about the intensity of thunderstorm activity. In this case, it is necessary to take into account the screening of network objects by buildings,

structures, trees, etc. Screening in some cases can reduce the number of direct hits to network objects by ~ 70%.

Reliable protection is achieved if the equipment and structures have sufficiently high insulation strength or effective lightning surge protection devices are installed in the PC.

To protect the PC with a voltage of 0.4 to 35 kV from lightning overvoltages, the following applies:

- surge arresters (SA);
- high-spark arresters;
- gate and tube arresters;
- protective spark gaps.

The type, number and location of the protection devices is selected when designing specific network objects. When installing protection devices, the requirements for the value of the earth resistance are selected according to the Rules for the installation of electrical installations [1], taking into account the specific features of the systems and principles of operation of the devices (equipment) protecting against lightning overvoltages.

The task of protecting the DN 0,4 kV is to prevent people, animals and fires from breaking down due to the penetration of lightning overvoltages into the internal wiring of houses and other structures, as well as damage to the electrical equipment of 6-10 / 0.4 kV substations.

Protection of the OL middle class voltage of 6-70 kV from lightning overvoltage and the burning of protected wires is a very urgent task. In some countries, surge arresters (SA) are being used for this purpose. The main drawback, which determines the technical and economic inexpediency of using SA for lightning protection OL, is that they break down with direct lightning strikes (DLS). This extremely negative characterization is undeniable and is recognized by the developers of SA [2,3].

In Japan, extensive experience in the use of SA with an air gap for lightning protection OL 6.6 kV. These devices work relatively well only in combination with a lightning protection cable. Moreover, increasing the energy intensity of SA, in itself, does not solve the problem of their destruction from DLS. Even in the case of lightning protection cables, SA damage is observed with DLS with high currents [4]. It should be noted that this is a very expensive solution, because For reliable protection of the OL, in addition to installing the cable, it is necessary to install SA parallel to each isolator OL.

Therefore, at the present time, in fact, the only technical measure designed to reduce the damage from lightning tripping of OL 6-35 kV is automatic re-activation, the efficiency of which does not exceed 50% on average.

The real prospect of introduction in our country of distribution overhead lines with insulated wires predetermines the necessity of using any system of their lightning protection to prevent the possibility of burning wires with short-circuit power currents. Those known for the experience of using in other countries lightning protection systems for overhead lines with isolated wires

that are affordable, do not solve the problem in a complex manner, but only provide protection for the wires.

Objective

The problem of protection against lightning overvoltages OL and substations is very actual for DN with a voltage of 0.4-35 kV, since they have low impulse insulation strength in comparison with electrical installations of other voltage classes and have a long duration.

The causes of lightning overvoltages on the OL are direct lightning strikes in the line, as well as close impacts to the ground, causing induced (induced) overvoltages on the line wires.

One of the issues related to the calculation of lightning protection of overhead lines is the determination of the striking of lines by lightning. The existing estimates of the number of lightning strikes drawn by the line are empirical. The possibilities of improving this approach due to taking into account a greater number of influencing factors are practically exhausted.

Lightning resistance OL voltage 0,4 - 35 kV significantly increases when using wood insulation on the constructed OL with wooden supports, and OL with reinforced concrete and metal supports - with the use of insulating traverse.

Also, the lightning resistance OL of medium voltage classes can be increased by replacing the bare wires with protected ones. As shown earlier studies, lightning resistance OL with protected wires is less than OL with bare wires [5,6].

Methodology of determining the quantity of direct lightning strikes on the overhead lines

In order to estimate the average number of insulation overlaps on air lines of medium voltage classes for the year, it is necessary to take into account direct lightning strikes and induced overvoltages. An estimate of the number of direct lightning strikes in the transmission line, each of which will lead to insulation overlap, will be 100% for 6-35 kV lines. For induced overvoltages, it is necessary to select all lightning strikes that can occur at a distance greater than the zone of capture of a given electric transmission line, isolating from them those impacts that will lead to overvoltages that exceed the isolation voltage of the electrical transmission line [7,8].

According to normative documents, the number of direct lightning strikes (N_{DLS}) in air lines with bare and protected wires is calculated identically, according to the formula [9]:

$$N_{DLS} = 0,067 * n * 6 * H_{SUS} * L, \quad (1)$$

Where, n - number of thunderstorm hours per year;
 L – Length of the line, m; H_{SUS} – Wire suspension height, m.

As we see in this formula, the expression ($6 H_{SUS}$) is used, which means that the capture takes place on both sides of the line, with the capture zone in the $3 H_{SUS}$. In this case, the line voltage class is not taken into account. Nevertheless, the literature [9] gives graphs from which it can be seen that the capture zone is from $2 H_{SUS}$ to $5 H_{SUS}$ for OL with bare wires, depending on the height of the supports, i.e. class of voltage OL.

In carrying out experimental studies, the main parameter is the height of the orientation of the lightning. According to [10], the height of the orientation of the lightning (H_{or}) depends on the lightning current and is determined from the expression:

$$H_{or} = 2 I_L + 30 (1 - e^{-I_L/6.8}), \quad (2)$$

Where, I_L - lightning current; H_{or} - height of the orientation of the lightning.

Thus, we see that the height of the orientation of the lightning depends only on the value of the lightning current.

Experimental investigations on the damage of overhead line and overhead line with protected wires direct lightning strikes

The purpose of the experiments was to confirm the lightning capture zone for bare wires ($3 H_{SUS}$) and to specify the capture zone for the protected wires.

To conduct these experiments, full-scale models with corresponding similarity coefficients were created.

The general view of the model is shown in Fig. 1.

In this figure, the scheme of the experimental model

1 – support insulator;

2 – secure wire;

3 – electrode simulating lightning;

X – distance from the electrode simulating lightning to secure the wire.

As a high-voltage source, a pulse voltage generator (PVG) with a maximum voltage of 2.4 MV was used, whose appearance is shown in Fig. 2. The PVG was assembled in a half-wave circuit using 24 capacitors with a capacitance of $0.25 \mu F$ and a voltage of 100 kV. The supply of the PVG is carried out through a step-up transformer of 100 / 100,000V.

To carry out the research, the lightning current was chosen to be 20 kA and 10 kA, as the most common in the plain and mountain regions, respectively.

According to (2) of such currents, the orientation height is 43 for 10 kA and 68 meters for 20 kA. Since we carry out tests for medium voltage voltage lines of 6-35 kV, we take for consideration the typical PM 10-1 supports for 6 kV lines and 35P-5M substations for 35 kV lines. The height of the wire suspension for the PM 10-1 support is 9 m, and for the PS 35P-5M it is 15 m. As the test wires, we used the wires SIP 3 1 * 50-20 and AC-50/8.

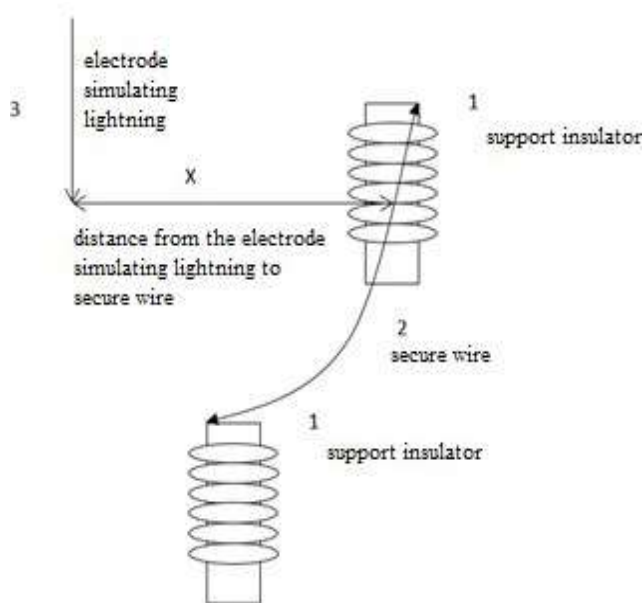


Fig. 1 – General view of the model.
1 support insulator, 2 secure wire, 3 electrode simulating lightning, X distance from the electrode simulating lightning to secure the wire.



Fig. 2 – The pulse voltage generator of 2.4 MV.

Results of experimental investigations of the high-level on the determination of the zone of capture of direct lightning strikes

Based on the results of the experiments, the results in Table 1 were obtained.

Table 1 - The zone of lightning capture for different types of wires, determined experimentally, on a large-scale model

Model height of the H_{SUS} wire suspension, m	The distance from which the wire takes direct lightning strikes, m	
	SIP 3 1 * 50-20	AS – 50/8
0,1314	0,18	0,27
0,209	0,2339	0,42
0,22	0,2347	0,4225
0,345	0,393	0,62

The results of the experiments showed that for lines with protected wires the capture zone is one and a half times smaller than the area of capture of the bare wire.

Table 2 – Lightning capture zone for various wire types, classes voltage lines and different lightning current

lightning current values and voltage on the wire	The distance from which wire takes a direct lightning strikes, m.	
	SIP - 3 1 * 50-20	AS – 50/8
$I_l = 10 \text{ kA}; U = 6 \text{ kV}$	10,06	18,1
$I_l = 10 \text{ kA}; U = 35 \text{ kV}$	16,95	26,72
$I_l = 20 \text{ kA}; U = 6 \text{ kV}$	11,4	17,1
$I_l = 20 \text{ kA}; U = 35 \text{ kV}$	15,96	28,73

For the constructions of the lines studied, the height of the wire suspension varied from 9 m to 15 m, and as can be seen from the obtained results, for the bare wire, the capture zone is not $3 H_{SUS}$, but $2 H_{SUS}$. The area of capture by wire SIP 3 1*50-20 is almost 2 times less than the zone of capture of the bare wire and does not much exceed the height of the suspension line, thus it can be said that the zone of capture of the protected wire is H_{SUS} . This fact shows that N_{DLS} for overhead lines with protected wires is much less than for overhead lines with bare wires.

Investigation of a line consisting of a bare and protected wires

As shown by previous studies, the bare wire grip zone of the bare wire is 1.5 times the protected zone of the secured lead, which allowed considering the creation of an OL with a protected and bare wire.

This allows you to consider the possibility of creating a line consisting of bare and protected wires. This will make it possible, due to the larger bare-wire capture zone, to practically eliminate DLS in the protected wires and substantially increase the lightning resistance of such a line. The increase in lightning resistance is due to the fact that only the bare wire will be affected, and therefore only it needs to be protected. We called this line a combined one, the diagram of such a line is shown in Figure 3.

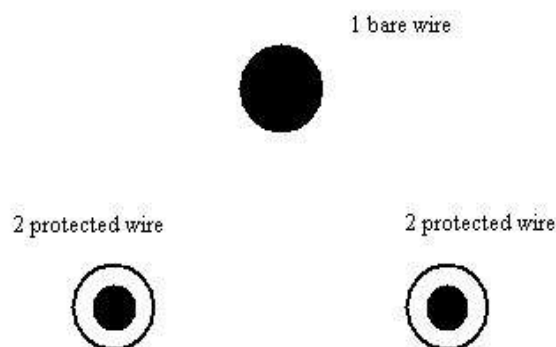


Fig. 3 - The model of the combined line.
1 bare wire, 2 - protected wires.

For a line with this configuration, experimental studies were conducted to determine the lightning impact.

Four series of experiments were performed on 100 experiments in each series. The investigations were carried out for different distances between phases and the height of the excess of the mean phase over the extreme phases.

In this case, all lightning strikes occurred in the bare wire, there was not a single lightning strike in the protected wires.

This is because the area of capture of the bare wire is much larger than the zone of capture of the protected wire. Such a line design will save considerable money, because the installation of protective equipment is required only in the middle phase with a bare wire. Moreover, in medium voltage networks, a single-phase earth fault is not an emergency. With a single-phase ground fault when an arc arises on a bare wire, the arc moves along the wire and under the action of electrodynamic forces, which leads to its rupture and corresponding extinction. In the case of a protected wire, in the event of breakdown of insulation, the arc is not able to move along the wire and burns in one place, which can lead to wire burn-out and burnout.

Conclusions

1. Overhead lines with protected wires require protection against direct lightning strikes, so determining the number of direct lightning strikes and developing a protection system is an urgent task.

2. The created large-scale model allows to carry out studies of the lightning severity of overhead lines of medium voltage classes by direct lightning strikes.

3. The conducted experiments showed that the existing methods for determining direct lightning strikes in overhead lines require clarification.

4. The obtained results made it possible to clarify the magnitude of the zipper capture zone for overhead lines with protected wires.

5. An overhead line model having both a bare wire and a protected wires was investigated. It is experimentally confirmed that such an overhead line will significantly reduce the probability of hitting the protected wires with a direct lightning strike.

Bibliography

1. Правила улаштування електроустановок / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, Харків, Форт, 2017.
2. Kuffel, E. High Voltage Engineering / E. Kuffel, W. S. Zaengl – Pergamon Press, Great Britain, 2000. – p. 554.
3. Short, T. A. Monitoring Results of the Effectiveness of Surge Arrester Spacings on Distribution Line Protection / T. A. Short, R. H. Ammon // *IEEE Trans. On Power Delivery*. – 1999. – V. 14, No. 3. – P. 1142-1150. – doi: 10.1109/61.772385.
4. Nakada, K. Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes-Effects of an Overhead Ground Wire and Installation Position of Surge Arresters / K. Nakada et. al. // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1997. – V. 12, No. 4. – P. 1779-1785. – doi: 10.1109/61.634205.
5. Sergey, S. Defeat of overhead lines transmission networks with protected wires from lightning strike / S. Sergey, D. Dmitriy // *Applied Physics (YSF), 2015 International Young Scientists Forum on*. – IEEE, 2015. – P. 1-4. – doi: 10.1109/ysf.2015.7333228.
6. Шевченко, С.Ю. Поражаемость воздушных линий распределительных сетей с защищенными проводами грозowymi разрядами. / С.Ю. Шевченко, Б.Ф. Ермоленко, Д.А. Данильченко, С.И. Дривецкий // – *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2016. - №3 (1175). – С. 101 – 107.
7. Rizk, Farouk A.M. Modeling of Substation Shielding Against Direct Lightning Strikes / Farouk A.M. Rizk // *IEEE*

Trans. on Electromagnetic compatibility. – 2010. – V. 52, No. 3. – P. 664. – doi: 10.1109/temc.2010.2046903.

8. Cooray, V. Attractive radius and the volume of protection of vertical and horizontal conductors evaluated using a self consistent leader inception and propagation model – SLIM. / V. Cooray, M. Becerra // *Proc. of 30th Int. Conf. on Lightning Protection. Italy* (Cagliari), 2010, 1062 p.
9. РД 153-34.3-35.125-99 Рекомендации по защите электрических сетей от молнии и внутреннего перенапряжения 6 - 1150 кВ.
10. Гуль, В. И. Координация изоляции и перенапряжения в электрических высоковольтных сетях / Гуль В. И., Нижевский В. И., Хоменко, И. В. Шевченко С. Ю., Чевычелов В.А. // Харьков. – 2009. – 270 с.

Bibliography (transliterated)

1. Pravila ulashtuvannya elektroustanovok / MInIsterstvo energetiki ta vugilnoi promislovosti Ukraine, Kharkiv, Fort, 2017.
2. Kuffel, E., Zaengl, W. S. High Voltage Engineering. Pergamon Press, Great Britain, 2000, 554.
3. Short, T. A., Ammon, R. H. Monitoring Results of the Effectiveness of Surge Arrester Spacings on Distribution Line Protection, *IEEE Trans. On Power Delivery*, 1999, Vol. 14, No. 3, 1142-1150, doi: 10.1109/61.772385.
4. Nakada K. et. al. Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes-Effects of an Overhead Ground Wire and Installation Position of Surge Arresters, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1997, Vol. 12, No. 4, 1779-1785, doi: 10.1109/61.634205.
5. Sergey, S., Dmitriy, D. Defeat of overhead lines transmission networks with protected wires from lightning strike. *Applied Physics (YSF), 2015 International Young Scientists Forum on*. IEEE, 2015, 1-4, doi: 10.1109/ysf.2015.7333228.
6. Shevchenko, S., Ermolenko, B., Danylchenko, D., Dryvetsky, S. Susceptibility of overhead lines of distribution networks with protected wires by lightning discharges, *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific papers. Series: Power reliability and energy efficiency*. - Kh: NTU "KhPI", 2016, №3 (1175), 101 - 107.
7. Rizk, Farouk, A.M. Modeling of Substation Shielding Against Direct Lightning Strikes, *IEEE Trans. on Electromagnetic compatibility*, 2010, 52, No. 3, 664 p., doi: 10.1109/temc.2010.2046903.
8. Cooray, V., Becerra, M. Attractive radius and the volume of protection of vertical and horizontal conductors evaluated using a self consistent leader inception and propagation model – SLIM, *Proc. of 30th Int. Conf. on Lightning Protection. Italy* (Cagliari), 2010, 1062 p.
9. RD 153-34.3-35.125-99 Guidelines for the protection of electrical networks 6 - 1150 kV lightning and internal overvoltage.
10. Gul, V., Nizhevsky, V., Khomenko, I., Shevchenko, S., Chevychelov, V. Insulation coordination and overvoltage in electrical transmission systems, Kharkiv, 2009. p. 270.

Сведения об авторах (About authors)

Danylchenko Dmytro – graduate student, assistant dept. «Electrical power transmission» National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: Danylchenko.e@khp.edu.ua.

Данильченко Дмитро Олексійович – аспірант, асистент кафедри «Передача електричної енергії» Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Danylchenko.e@khp.edu.ua.

Please cite this article as:

Danylchenko, D. Study of the effect of atmospheric overvoltages on overhead lines of medium voltage classes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32**(1254), 19-24, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.03.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Данильченко, Д. О. Вивчення впливу атмосферних перенапруг на повітряні лінії середніх класів напруги / **Д. О. Данильченко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 19-24. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.03.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Данильченко, Д. А. Изучение влияния атмосферных перенапряжений на воздушные линии средних классов напряжения / **Д.А. Данильченко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 19-24. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.03.

АННОТАЦІЯ Стаття посвящена вопросу влияния атмосферных перенапряжений на работу воздушных линий распределительных электрических сетей с защищенными и голыми проводами. Рассмотрено влияние параметров молнии и линии на вероятность прямого удара молнии в воздушную линию. Проанализирована методика расчета прямых ударов молнии в линии. Описано создание крупномасштабной модели для проведения экспериментальных исследований, с возможностью изменения параметров молнии и параметров воздушной линии. Получены данные позволяющие определить зону захвата молнии для линий с защищенными проводами и голыми проводами экспериментальным путем. Создана экспериментальная модель комбинированной линии электропередачи и экспериментально подтверждена её эффективность.

Ключевые слова: Грозопоражаемость; воздушная линия среднего класса напряжения; защищенные провода; высота ориентировки молнии; крупномасштабная модель; зона захвата молнии; комбинированная линия электропередачи.

Поступила (received) 18.09.2017

УДК 691.168

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04

ВПЛИВ ТРІЩИН НА МОДУЛІ ПРУЖНОСТІ ТА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Я. В. ІЛЬІН*

Кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, УКРАЇНА
*email: yailin12011993@gmail.com

АНОТАЦІЯ Наведено результати визначення впливу тріщин на показники міцності при вигині, модуль пружності та протяжність життєвого циклу асфальтобетону під дією постійного навантаження, що дорівнює 20 % від руйнуючого. Дослідження показали, що тріщини впливають на міцнісні показники асфальтобетонів. При цьому на ці показники впливає не тільки їх наявність, але й місце їх розташування. У зв'язку з цим, слід попереджувати розповсюдження тріщин по всій площі покриття та його глибині. Особливої уваги слід надавати місцям у яких діє зосереджене навантаження

Ключові слова: асфальтобетон; міцність при вигині; модуль пружності; руйнування; тріщина.

THE INFLUENCE OF CRACKS ON THE ELASTICITY MODULE AND THE LIFE CYCLE OF ASPHALT CONCRETE

YA. ILIYN

Road construction materials and chemistry department named by M.I. Volkov, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In recent years, a number of studies have been conducted in the world devoted to asphalt concrete cracks. The purpose of this work was to determine the effect of cracks that reduce the cross section of the sample, on the design characteristics of asphalt concrete and their most dangerous location relative to the point of application of the load. It was calculated the most dangerous places for the location of propylene, which artificially simulated cracks in asphalt concrete samples when tested on vibrostend. A series of specimens with trial defects was formed to determine how the crack or poorly-treated bitumen shavings could be affected, in addition to being broken down. The results of the study showed that the most dangerous are cracks that are closer to the maximum loads, that is, the coverage of these places closest to the centers of the tracks. Different load patterns showed remarkably different results regarding the strength of asphalt concrete samples when bending and their life cycle. So the most dangerous for asphalt concrete was the application of the entire weight of the load at one point, placed directly above the place of application of an artificial "cracks". It is logical that the most dangerous for the modulus of elasticity was a crack that was applied closer to the maximum moment (according to the diagram of the moments). The results of the study showed that the cracking effect on the strong sleep characteristics of asphaltic concrete. At the same time, these indicators affect not only their availability, but also the location of their location. In this regard, the distribution of cracks across the coverage area and its depth should be avoided. Particular attention is needed to places where a concentrated load operates.

Key words: asphalt concrete; bending strength; destruction; crack; elasticity modulus.

Вступ

В останні роки в світі проводиться ціла низка досліджень, присвячених тріщинам асфальтобетону. Згідно із [1], однією з основних причин передчасного руйнування асфальтобетону у покритті є утворення тріщин в процесі експлуатації доріг. Цією проблемою займаються дослідники з різних країн [2-6]. Проведені у Республіці Білорусь статистичні дослідження показали, що 59 % від всіх пошкоджень та руйнувань складають тріщини [3]. В [4] розглядають тріщини як результат одиничних інтенсивних температурних змін або тривалих циклічних менш інтенсивних температур. Впродовж строку служби асфальтобетон піддається навантаженням, що близькі до критичних. Такі навантаження, із плином часу, призводять до його руйнувань. Цей процес відбувається поступово. Спочатку виникають перенапруги, потім мікротріщини. Поява та прогресування таких змін супроводжується перерозподілом напружень і

залученням у тріщиноутворення більшого об'єму матеріалу. На інтенсивність розвитку мікротріщин впливають структура асфальтобетону, зокрема, розміри і кількість дефектних місць, види та режими прикладеного навантаження.

Якщо уявити, що у розтягненій пластині вирізано отвір, який зменшує перетин пластини на 10 %, то, фактично, напруження на контурі отвору збільшаться не на 10%, а приблизно у 3 рази, а з краю пластини вони практично не змінюються. Цей ефект має назву «концентрації напружень» [8].

Найбільш слабким місцем у структурі асфальтобетону є зона контакту між бітумом і зернами наповнювача. Міцність зчеплення залежить від хімічної активності бітуму, його в'язкості, шорсткості та чистоти поверхні щебеню, пористості асфальтобетону та ін. Дослідники з Америки [7] приводять дані провідної ролі в'язучого в утворенні тріщини.

Мета роботи

В [8] є рекомендація, яким чином можна спростити розрахунок та змодельовати вплив дефектів. Для цього потрібно зібрати всі дефекти разом та спробувати імітувати їх. Метою цієї роботи було визначити вплив тріщин, що зменшують поперечний перетин зразка, на розрахункові характеристики асфальтобетону та їх найбільш небезпечне розташування відносно точки прикладення навантаження. Для цього було проведено випробування життєвого циклу асфальтобетону після пропилювання зразків з одного боку на 0,1 від товщини зразка (для зразків-балочок це було відповідно 4 мм), а також експерименти з впливу розміщення пропилю на зразку на модуль пружності асфальтобетону.

Виклад основного матеріалу

Досліджено асфальтобетон типу «Г» з вмістом бітуму (БНД 60/90) 6,5%. Склад асфальтобетонної суміші: Пісок штучний гранітний – 60 %; пісок природний кварцовий – 25 %; Мінеральний порошок вапняковий – 15%. Такий склад підібрано для того, щоб вписатися максимально в середину границь норм для асфальтобетону типу «Г» за ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [9]. Вибір цього типу асфальтобетону обумовлений більшою, ніж у інших асфальтобетонів, ступенем однорідності, що зменшує прояв і вплив структурних дефектів.

Прийнятий для приготування бітум марки БНД 60/90 характеризується: пенетрацією при температурі 25 °С - 81 * 0,1 мм; температурою розм'якшення - 50,5 °С; дуктільністю при температурі 25 °С - 94 см; температурою крихкості - мінус 16 °С.

Для досліджень використовували балки двох типів:

- «короткі» балки, із розмірами 40x40x160 мм для випробувань міцності при вигині та повзучості (вона визначається життєвим циклом) під дією постійного навантаження, яке дорівнювало 20 % від руйнуючого;

- «довгі» балки із геометричними розмірами 40x40x250 мм для визначення модулю пружності асфальтобетону.

Попередні експерименти показали, що найбільш впливовим фактором є глибина тріщини. Руйнування асфальтобетону відбувається поступово. Спочатку виникають перенапруги, потім мікротріщини. Розвиток цього процесу супроводжується перерозподілом напружень і залученням у тріщиноутворення більшого об'єму матеріалу. Процес розвитку мікротріщин визначається структурою асфальтобетону, зокрема розміром і числом дефектних місць, видом та режимом прикладеного навантаження.

Було розраховано найбільш небезпечні місця для розташування пропилю, що штучно імітували тріщини у асфальтобетонних зразках при

випробуваннях на вібростенді. Базою для визначення розташування тріщин слугувала комп'ютерна модель, розглянута [10], наведена на рис. 1. Зовнішній вигляд балки, для визначення модулю пружності, із пропилами представлений на рис. 2.

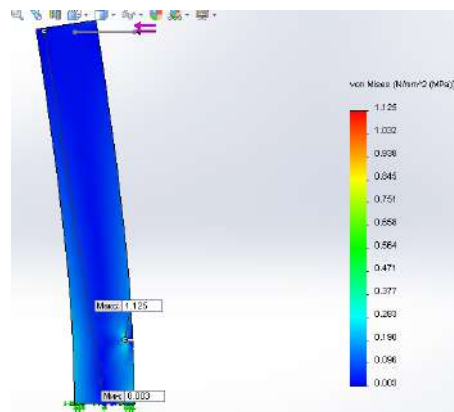


Рис. 1 – Модель зразка балки з тріщиною



Рис. 2 – Зовнішній вигляд зразку для визначення модулю пружності із пропилами

Визначення модулю пружності проводилося у послідовності за [2]. Спочатку – на вихідному зразку, після цього – на зразку із пропилами зверху, а вже після цього – на зразку із пропилами і зверху і знизу. Дані випробувань наведені у таблиці 4.

Як видно з таблиці, модуль пружності при розрахункових параметрах (+ 10 °С та 1,59 Гц), що прийняті в Україні [11], при нанесенні пропилю зверху зразка, слабо (на 10 %) зменшується. В той же час, нанесення пропилю у нижній частині зразка, де епюра моментів наближується до максимуму, дуже сильно зменшує (на 71 %) показники модулю пружності.

Крім визначення модулів пружності, задля визначення впливу тріщин, що імітувалися пропилами було проведено серію випробувань. Для цього було обрано дві схеми навантаження балок з асфальтобетону. Перша схема: навантаження в середині балки та друга схема – навантаження у двох точках (на відстані 1/3 від опор). Для того, щоб розрахувати міцність при вигині для цих схем навантаження використовувались наступні формули:

а) Для схеми триточкового вигину R' використовувались наступні формули:

$$R'_{\text{виг}_{\text{вп}}} = \frac{3 \cdot F}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

$$R'_{\text{виг}_{\text{суп}}} = \frac{3 \cdot F}{b \cdot (h-a)^2}, \quad (2)$$

де F – сила, що необхідна для руйнування балки, кН; b – ширина балки, мм; h – висота балки, мм; a – глибина пропилу, мм.

б) Для схеми чотириточкового вигину R'' використовувались наступні формули:

$$R''_{\text{виг}_{\text{вп}}} = \frac{3 \cdot F \cdot s}{b \cdot h^2}, \quad (3)$$

$$R''_{\text{виг}_{\text{суп}}} = \frac{3 \cdot F \cdot s}{b \cdot (h-a)^2}, \quad (4)$$

де F – сила, що необхідна для руйнування балки, кН; b – ширина балки, мм; h – висота балки, мм; a – глибина пропилу, мм; s – відстань між рифлями, мм.

Таблиця 4 – Показники модулів пружності до та після нанесення поперечних пропилів, що імітують тріщину.

Температура, °C	Частота, Гц	Вихідний зразок без пропилів [E*], МПа	Пропили у верхній частині балки [E*], МПа	Пропили у нижній частині балки [E*], МПа
+ 20	0,01	2443	2426	1361
	0,05	3246	3724	1894
	0,1	4134	4441	2017
	0,5	5704	5841	2590
	1	6387	6626	3328
	5	7684	8367	3491
+ 10	10	7685	8368	3492
	0,01	6046	5363	1812
	0,05	7958	7070	2344
	0,1	8743	7890	2918
	0,5	10826	10280	3164
	1	12021	10860	3451
	1,59	12195	11005	3470
	5	13490	12090	3615
0	10	13592	12192	3942
	0,01	10963	10280	
	0,05	13353	12670	
	0,1	14241	13353	
	0,5	16904	15948	
	1	18543	17314	
	5	19363	19636	
	10	20046	19636	

Було проведено дослідження для кожної зі схем навантаження на балках без пропилів. Виявилось, що міцність при вигині у схемі із навантаженням у двох точках (3,21 МПа) вище, ніж при навантаженні у одній точці (2,84 МПа), проте час життя вищий при навантаженні у одній точці (15647 с проти 10552с).

Також було проведено експеримент із пропилювання тріщини у балках. Тріщини як для однієї, так іншої схем навантаження пропилювались у двох варіантах: всередині та у двох місцях (1/3 та 2/3 довжини балки). Для 1 схеми утворилися відповідно схеми 2 (із 1 пропилом) та 3 (із 2 пропилами), для 4 утворилися 5 (з 2 пропилами) та 6 (з 1 пропилом). Ці схеми, наведені на рис. 3, досліджувались як при міцності при вигині, так і на час життя при двох варіантах навантажень: 0,2 від руйнуючого навантаження для балки без пропилів та 0,2 від руйнуючого від балки із пропилами. При випробуваннях на час життя для балок із пропилами при навантаженні 0,2 від їх власного руйнуючого навантаження час життя дорівнюватиме часу життя балки без пропилів. У разі використання схем 2 та 3, навантаження 0,2 від руйнуючого навантаження для балок без пропилів часи життя вистроїлися у такий ряд: для балки із одним пропилом час життя є найменшим та складає 5300 с, для балки з двома пропилами час життя зростає до 13900с. Разом із цим, зростає міцність при вигині. Це можна пояснити збільшенням площі перетину, через те, що розлом проходить від точки прикладення навантаження до однієї з тріщин. У схемах 5 та 6 можна побачити подібну ситуацію. Коли пропили знаходяться безпосередньо під точкою прикладення навантаження, міцність при вигині та час життя скорочується. Найбільш вірогідно, що це відбувається через зміну площі перетину яким проходить руйнування.

У випадку схем з 1 по 3 при розрахунку міцності при вигині, якщо не враховувати зменшення перетину за рахунок пропилу, помітно, що міцність знижується, проте зміна площі перетину у третій схемі наближує міцність при вигині та час життя зразків до балок без пропилів. Це може свідчити про те, що на міцність асфальтобетону впливає не тільки наявність дефектів, але й їх розташування відносно точки прикладення навантаження. У випадку схем з 4 по 6 також помітний вплив перетину, проте він значно менший за такий у трьох попередніх схемах. Імовірно, це викликано тим, що схема прикладення навантаження у двох точках дозволяє більш точно визначити вплив дефектів на асфальтобетон поза залежності від їх розташування у тілі зразка.

Для того, щоб визначити яким чином може вплинути тріщина або неякісно оброблена бітумом щебінка, до того ж ще й зламана, було заформовано серію зразків із пробними дефектами. До них відносяться:

- балки із вкладеними шматками плівки;
- балки із вкладеними у середину балки заздалегідь зламаними щебінками, що не були оброблені бітумним в'язучим.

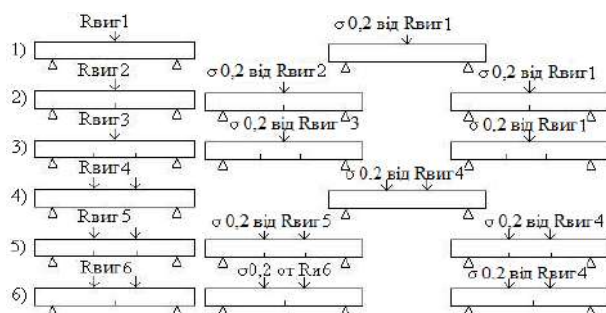


Рис. 3 – Схеми навантажень, що використовувалися.

Шматки плівки імітували тонку тріщину у шарі асфальтобетону. Так тріщина може розташовуватися по різному та пролягати на різній глибині, плівки було укладено у трьох місцях на різну глибину: 0,25 см; 0,5 см; 0,75 см. Ці балки було випробувано наступного дня після формовки.

Як виявилось, видалити плівки з асфальтобетону, який встиг охолонути, не вдається. Це відбулося через те, що висока температура та тиск деформували плівку та затисли її між щебінками. Балки із плівкою були орієнтовані таким чином, щоб місце із плівкою було розташовано збоку від осі завантаження зразку. Під час випробувань на вигин, розламування проходило кожний раз по середині де була плівка 0,5 см. Міцність зменшилась в середньому на 16 відсотків у порівнянні із зразками без такого дефекту. Така орієнтація тріщини моделювала ситуацію коли автомобіль проїжджає дорогою та чіпляє краєм колеса лише частину тріщини, що вже існує (рис. 4).

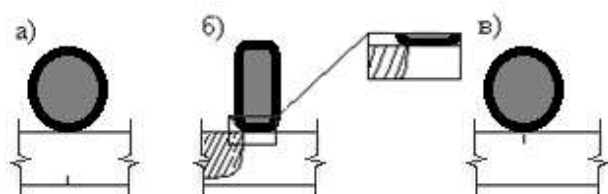


Рис. 4 — Імовірне розташування тріщини по відношенню до колеса автомобілю на дорозі:
а) відбита тріщина нижнього шару; б) тріщина підходить збоку та зачепляється лише краєм колеса автомобілю; в) тріщина росте зверху по середині під колесом.

Балки із вкладеним щебенем імітують неякісне перемішування суміші під час влаштування шарів покриття автомобільної дороги. Не дивлячись на те, що щебінь мав послабити суміш, тільки одна з трьох балок зламалася у місці з'єднання половинок щебеню (вона показала зниження міцності по відношенню до вихідної суміші без дефектів на 10 відсотків. Інші балки зламалися в інших місцях та показали міцність подібну до вихідної суміші.

Обговорення результатів

Результати дослідження показали, що найбільш небезпечними є тріщини, які знаходяться ближче до максимальних навантажень, тобто у покритті це місця, найближчі до центрів колій. Різні схеми навантаження показали помітно різні результати відносно міцності зразків асфальтобетону при вигині та їх життєвого циклу. Так найбільш небезпечним для асфальтобетону виявилось прикладення усієї маси навантаження у одну точку, що розміщена безпосередньо над місцем нанесення штучної «тріщини».

Закономірно, що найбільш небезпечним для модулю пружності виявилась тріщина, що була нанесена ближче до максимального моменту (згідно епюри моментів).

Висновки

Результати дослідження показали, що тріщини впливають на міцнісні показники асфальтобетонів. При цьому на ці показники впливає не тільки їх наявність, але й місце їх розташування. В зв'язку із цим слід попереджати розповсюдження тріщин по всій площі покриття та її глибини. Особливої уваги потребують місця, у яких діє зосереджене навантаження.

Список літератури

1. Николаенко, М.А. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий / М.А. Николаенко, Б.В. Бессчетнов // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – №2. – с. 665-670.
2. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонных / В. А. Золотарев. — Харьков: Вища школа. — 1977. — 116 с.
3. Мельникова, И.С. Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И.С. Мельникова // *Наука и техника*. – 2012. – № 4. – с. 44-52.
4. Gajewski, M. Prediction of asphalt concrete low-temperature cracking resistance on the basis of different constitutive models / M. Gajewski, P.-A. Langlois // *Procedia Engineering*. – 2014. – Vol. 91. – P. 81 – 86.
5. Леонович, И.И. Анализ причин возникновения трещин в дорожных покрытиях и критерии их трещиностойкости / И.И. Леонович, И.С. Мельникова // *Строительная наука и техника*. – 2011. – 4. – с.36-42.
6. Shobha, Rani Arangi Review paper on pavement temperature prediction model for indian climatic condition / Shobha Rani Arangi, Dr.R.K.Jain / *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*. – 2015. – Vol. 2. – Issue 8. – p. 1-9.
7. Ahmad, M. Abu Abdo Effects of asphalt mix design properties on pavement performance: a mechanistic approach / Ahmad M. Abu Abdo, S. J. Jung // *Advances in Civil Engineering*. – 2016. – Vol. 2016. – 9354058. – doi: 10.1155/2016/9354058.
8. Зайцев, Ю.В. Механика разрушений для строителей / Ю.В. Зайцев. – М. - Высшая школа. - 1991. - 288с.

9. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-119:2011. – [Чинний від 2011-03-01]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 59 с. – (Національний стандарт України)/
10. **Маляр, В.В.** Вплив випадкових дефектів на концентрацію напружень в асфальтобетоні та на визначення його модуля пружності / **В.В. Маляр, Я.В. Ільїн** // *Вісник ХНАДУ*. – 2017. – Вип. 79. – С.41-47/
11. Методи визначення розрахункових модулів пружності: СОУ 45.2-00018112-059:2010. – [Чинний від 2011-03-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2010. – 26с. – (Стандарт організації України).
5. **Leonovich, I.I., Mel'nikova I.S.** Analiz prichin vznikoveniya treshhin v dorozhnykh pokrytyyakh i kriterii ih treshhinostjosti. *Stroitel'naja nauka i tehnika*, 2011, №4, 36-42.
6. **Shobha, Rani Arangi, Dr. Jain, R.K..** Review paper on pavement temperature prediction model for indian climatic condition. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 2015, 2, Issue 8, p. 1-9.
7. **Ahmad, M. Abu Abdo, Jung, S. J.** Effects of asphalt mix design properties on pavement performance: a mechanistic approach. *Advances in Civil Engineering*, 2016, 2016, 9354058. – doi: 10.1155/2016/9354058.
8. **Zajcev, Ju.V.** Mehanika razrushenij dlja stroitelej. M. - *Vysshaja shkola*, 1991, 288s.
9. Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhnyi ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-119:2011, [Chynnyy vid 2011-03-01], K.: Minrehion Ukrayiny, 2012, 59 s, (Natsional'nyy standart Ukrayiny).
10. **Malyar, V.V., Il'yin, Ya.V.** Vplyv vypadkovykh defektiv na kontsentratsiyu napruzhen' v asfal'tobetonі ta na vyznachennya yoho modulya pruzhnosti. *Visnyk KhNADU*, 2017, 79, 41-47.
11. Metody vyznachennya rozrakhunkovykh moduliv pruzhnosti: SOU 45.2-00018112-059:2010. – [Chynnyy vid 2011-03-01]. – K.: Derzhavna sluzhba avtomobil'nykh dorih Ukrayiny (Ukravtodor), 2010. – 26s. – (Standart orhanizatsiyi Ukrayiny).

Bibliography (transliterated)

1. **Nikolaenko, M.A., Besshjotnov, B.V.** Povyshenie dlitel'noj treshhinostjosti asfal'tobetona dorozhnykh pokrytij. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2012, №2, s. 665-670.
2. **Zolotarev, V. A.** Dolgovechnost' dorozhnykh asfal'tobetonov, Har'kov: Vishha shkola, 1977, 116 s.
3. **Mel'nikova, I.S.** Modelirovanie vozdejstviya temperatury i transportnykh nagruzok na vznikovenie i razvitie treshhin v asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytyyakh. *Nauka i tehnika*, 2012, № 4, s. 44-52.
4. **Gajewski, M., Langloism P.-A.** Prediction of asphalt concrete low-temperature cracking resistance on the basis of different constitutive models. *Procedia Engineering*, 2014, 91, 81 – 86.

Сведения об авторах (About the Authors)

Ільїн Ярослав Вікторович – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова; м. Харків, Україна; e-mail: yailin12011993@gmail.com.

Yaroslav Ilyin – graduate student, Department of road-constructing materials technology and chemistry named by M. I. Volkov, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv; Ukraine; e-mail: yailin12011993@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю таким чином:

Ільїн, Я. В. Вплив тріщин на модулі пружності та життєвий цикл асфальтобетону / **Я. В. Ільїн** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 32 (1254). – С. 25-29. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

Please cite this article as:

Ilyin, Ya. V. The influence of cracks on the elasticity module and the life cycle of asphalt concrete. *Bulletin of NTU KhPI*. Series: New solutions in modern technologies. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017, 32(1254), 25–29, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ильин, Я. В. Влияние трещин на модули упругости и жизненный цикл асфальтобетона / **Я. В. Ильин** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 25-29. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

АННОТАЦІЯ Представлены результаты определения влияния трещин на показатели прочности при изгибе, модуль упругости и продолжительность жизненного цикла асфальтобетона под действием постоянной загрузки, равной 20 % от разрушающей. Исследования показали, что трещины влияют на прочностные показатели асфальтобетонов. При этом, на показатели влияет не только их наличие, но и место их расположения. В связи с этим, следует предупреждать распространение по всей площади и глубине покрытия. Особое внимание следует уделять местам, в которых действуют сосредоточенные нагрузки.

Ключевые слова: асфальтобетон; модуль упругости; прочность при изгибе; разрушение; трещина.

Поступила (received) 11.09.2017

УДК 621.365.32

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.05

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
НА ПРОЦЕС ПРЯМОГО ГРАФІТУВАННЯ ЕЛЕКТРОДІВ У ПЕЧАХ КАСТНЕРА****А. Я. КАРВАЦЬКИЙ^{1*}, Є. М. ПАНОВ², А. Ю. ПЕДЧЕНКО³, С. В. ЛЕЛЕКА³, Т. В. ЛАЗАРЄВ³,
В. В. ДЕРКАЧ⁴, О. В. ТЮТЮННИК⁴**¹ Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, УКРАЇНА² Інженерно-хімічний факультет, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, УКРАЇНА³ НДЦ «Ресурсозберігаючі технології», КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, УКРАЇНА⁴ ПрАТ «Укрграфіт», Запоріжжя, УКРАЇНА

*email: admin@rst.kpi.ua

АНОТАЦІЯ Використовуючи розроблену числову модель теплоелектричного стану печі графітування Кастнера, виконано числові дослідження впливу внутрішнього діаметра кільцевих електропрокладок і контактної електричної опору між електродними заготовками на фізичний стан печі прямого нагріву. Запропоновано для збільшення мінімальної температури заготовок впровадити процес графітування вуглецевої продукції використовувати на кінцях електродних свічок електроконтактні прокладки з підвищеним електричним опором. Раціональним діаметром отвору електроконтактних міжелектродних прокладок є отвір, розміри якого становлять біля 50–70 % від зовнішнього діаметра заготовок.

Ключові слова: графітові електроди; піч графітування Кастнера; електроконтактна прокладка; контактний електричний опір.

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL
PARAMETERS ON THE DIRECT GRAPHITIZATION PROCESS OF ELECTRODES IN
CASTNER FURNACES****A. KARVATSKIY^{1*}, YE. PANOV², A. PEDCHENKO³, S. LELEKA³, T. LAZARIEV³,
V. DERKACH⁴, O. TYUTYUNNYK⁴**¹ Department of Chemical, Polymer and Silicate Engineering, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev, UKRAINE² Faculty of Chemical Engineering, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev, UKRAINE³ Research Center "Resource-Saving Technologies", Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev, UKRAINE⁴ PrJSC "Ukrgrafit", Zaporizhia, UKRAINE

ABSTRACT The numerical research was held to determine possible directions for improvement and modernization of the modern domestic technology of direct graphitization. The influence of the changes in circular gasket internal diameter and contact electrical resistance between electrode artifacts on the state in Castner furnace was investigated. It was found out that the diameter decrease leads to overheating in the central axial part of the electrodes. In turn, the diameter increase leads to significant temperature drops. It was also determined that the usage of gaskets with the increased value of electrical resistance during the graphitization process increases the temperature drop in the central artifacts. Based on the obtained results, the following measures to enhance the energetic efficiency of Castner furnaces operation were proposed: the usage of gaskets with the internal diameter, which is 50-70% from the external artifact diameter; the usage of gaskets with the increased value of electrical resistance on the ends of electrode candles. As a material for end electrocontact gaskets, it is possible to use graphite intercalation material with an increased value of electrical resistance, a multilayer structure, which consists of two paired layers of thermo-extended graphite of high and low density, graphite powder, etc. These measures enable to decrease the time for carbon production graphitization, diminish energy expenses and enhance the quality of the electrode products.

Keywords: graphite electrodes; Castner graphitization furnace; electrocontact gasket; contact electrical resistance.

Вступ

Більш ніж 40 % усієї сталі у світі виплавляється в електродугових сталеплавильних печах, і цей показник з кожним роком зростає [1,2]. Основним конструктивним елементом електродугових печей є пакет електродів, виготовлених із штучного графітового матеріалу [3,4]. У промислових масштабах для графітування вуглецевих електродних заготовок раніше найбільшого поширення набув метод Ачесона. Проте інший метод – метод Кастнера,

який дає можливість отримувати графітові електроди з меншими питомими витратами електроенергії на одиницю виробленої продукції та за менший період часу, за останні роки також набуває популярності на вітчизняному ринку вуглеграфітової продукції [5,6].

Основною відмінністю печей графітування, що працюють за методом Кастнера від печей, що працюють за методом Ачесона, є прямий нагрів вуглецевих заготовок, який полягає у пропусканні постійного електричного струму крізь електродні заготовки та виділення в них Джоулевої теплоти. У

печах прямого нагріву електродні заготовки розміщують горизонтально стик-у-стик в один або кілька колон (свічок) і покривають шаром теплоізоляційного матеріалу. Для покращення контакту між заготовками в місцях їх контакту розміщують кільцеві електропрокладки, виготовлені з гнучкого матеріалу, який може витримувати значні температурні навантаження [7].

Задля можливості конкурувати на міжнародному ринку вуглеграфітової продукції вітчизняному виробнику потрібно проводити заходи щодо модернізації та удосконалення печей графітування, що працюють за методом Кастнера. Тому проведення досліджень, спрямованих на визначення можливостей удосконалення, модернізації конструкцій печей прямого нагріву та технологічного процесу прямого графітування є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Доступна у відкритому доступі наукова література переважно присвячена печам Ачесона та непрямому методу графітування вуглеграфітової продукції. Проте наявна інформація щодо досліджень печей як прямого, так і непрямого нагріву електродних заготовок, дає розуміння напрямку вдосконалення печей графітування Кастнера:

- об'єднане виробництво інших матеріалів, наприклад, карбиду кремнію (SiC) [8];

- використання в теплоізоляційному шарі трубчастих теплообмінників з метою рекуперації теплової енергії та зменшення часу охолодження печі графітування [9];

- визначення параметрів системи підведення електричної енергії до печі опору в режимі реального часу для забезпечення оптимального режиму роботи [10];

- визначення допустимих значень сили стиснення електродних заготовок з метою забезпечення їх механічної цілісності впродовж процесу графітування [11–13];

- зменшення викидів газів, що виділяються у процесі графітування електродної продукції, у навколишнє середовище [14–16];

- зменшення витрат теплоти та витрат електроенергії за допомогою використання спеціально підбраного складу теплоізоляційного матеріалу та бокових плит, виготовлених із вуглецевого тепло- й електроізоляційного матеріалу [17].

Мета та завдання

Визначити та запропонувати прості та ефективні методи з модернізації сучасної технології прямого графітування для її впровадження на вітчизняних підприємствах.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання:

- виконати числові дослідження теплового стану печі Кастнера за різних конструктивно-технологічних параметрів;

- провести зіставлення отриманих результатів з температурних полів впродовж кампанії графітування за різних варіантів формування електродних свічок;

- визначити можливі напрямки удосконалення конструкції печей прямого нагріву.

Виклад основного матеріалу

Числові дослідження проводилися з використанням верифікованої числової моделі теплоелектричного стану печі Кастнера, описаної в роботі [7].

Нижче наведено результати числових експериментів із визначення впливу розмірів електроконтактних прокладок і контактної електричної опору (КЕО) між електродними заготовками у свічках на тепловий стан печі Кастнера.

Числові дослідження із визначення впливу розміру діаметра внутрішнього отвору електроконтактної прокладки на розподіл температурних полів у заготовках проводилися для схеми завантаження печі графітування у дві свічки. Розмір діаметрів електродних заготовок і зовнішніх діаметрів прокладок становив 435 мм. Розмір внутрішніх діаметрів прокладок мав значення 120 мм, 220 мм і 320 мм. Критерієм закінчення процесу графітування слугувало досягнення значення питомих витрат електроенергії 3700 кВт·год/т. У результаті процес підведення електричної енергії до печі складав біля 12 год.

У результаті аналізу отриманих числових даних з'ясовано, що завдяки збільшенню розміру діаметра внутрішнього отвору електроконтактної прокладки від 120 мм до 320 мм підвищується мінімальна температура в крайніх торцевих заготовках упродовж кампанії графітування майже на 100 °С (рис. 1), а в інших заготовках – не призводить до суттєвої зміни мінімальної температури.

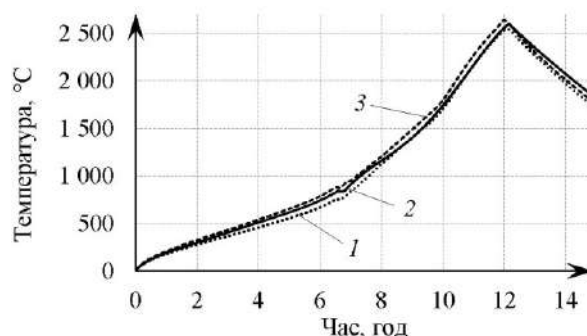


Рис. 1 – Зміна мінімальної температури крайніх заготовок в електродних свічках під час їх нагрівання у разі використання кільцевих електроконтактних прокладок з різним значенням розміру внутрішнього діаметра: 1 – Ø120 мм; 2 – Ø220 мм; 3 – Ø320 мм.

Виявлено, що зміна значення внутрішнього діаметра прокладок майже не впливає на значення перепаду температури у крайніх заготовках, проте його збільшення від 120 мм до 320 мм призводить до підвищення перепаду в центральних заготовках майже на 200 °С впродовж кампанії графітування (рис. 2), що може негативно вплинути на якість готової електродної продукції.

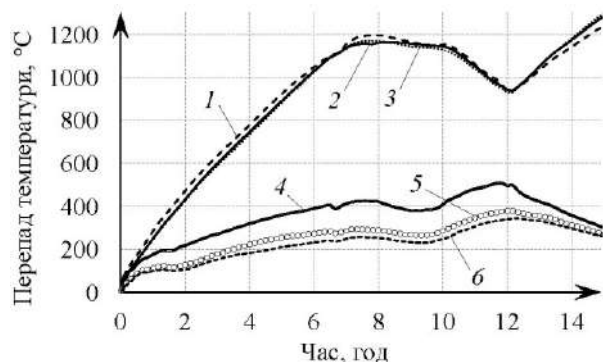


Рис. 2 – Різниця між максимальними та мінімальними значеннями температури в заготовках у разі використання кільцевих електроконтактних прокладок з внутрішнім діаметром різного розміру: 1 (Ø320 мм), 2 (Ø220 мм), 3 (Ø120 мм) – перепад температури у крайніх заготовках; 4 (Ø320 мм), 5 (Ø220 мм), 6 (Ø120 мм) – перепад температури в центральних заготовках.

Встановлено, що радіальні значення розподілу температурних полів у середній частині заготовок майже не змінювалися у разі зміни внутрішнього діаметра електроконтактних прокладок.

Радіальні перепади температури в торцевих частинах заготовок визначалися в поперечному перерізі на відстані 50 мм від торця заготовок. Перепад температури визначався як різниця значень температури між центром і середнім значеннями температури у точках, розташованих на відстані 50 мм від периферії (рис. 3).

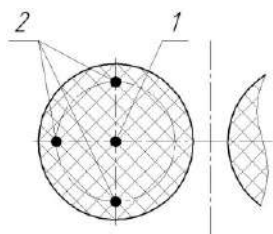


Рис. 3 – Точки для визначення величини радіального перепаду температури в торцевій частині заготовок: 1 – центральна дослідна точка; 2 – периферійні дослідні точки.

У результаті порівняння графіків зміни радіального перепаду температури в торцевій частині електродних заготовок упродовж кампанії

графітування виявлено, що зменшення внутрішнього діаметра електроконтактних прокладок дає можливість значно зменшити перепад температур у центральних заготовках за високих температур процесу графітування (рис. 4).

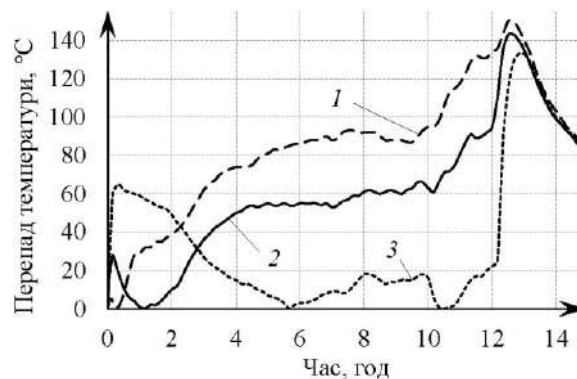


Рис. 4 – Зміна перепаду температури в торцевій частині центральних заготовок під час їх нагрівання в разі використання кільцевих електроконтактних прокладок з внутрішнім діаметром різного розміру: 1 – Ø320 мм; 2 – Ø220 мм; 3 – Ø120 мм.

Зміна радіального перепаду температур у торцевій частині крайніх заготовок характеризується зміщенням максимальних його значень у сторону більш високих температур у разі зменшення внутрішнього діаметра міжелектродних прокладок до 120 мм (рис. 5), що може негативно вплинути на якість готової електродної продукції.

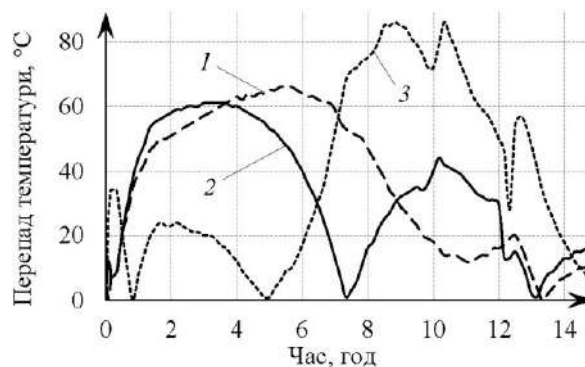


Рис. 5 – Зміна перепаду температури в торцевій частині крайніх заготовок під час їх нагрівання в разі використання кільцевих електроконтактних прокладок з внутрішнім діаметром різного розміру: 1 – Ø320 мм; 2 – Ø220 мм; 3 – Ø120 мм.

Числові дослідження з визначення впливу значення КЕО між заготовками на розподіл температурних полів в електродних свічках проводилися із використанням схеми завантаження печі графітування у дві свічки. Розмір діаметрів електродних заготовок і зовнішніх діаметрів прокладок становив 435 мм. Розмір внутрішнього

діаметра електроконтактної прокладки складав 220 мм.

Під час числового аналізу теплоелектричного стану печі Кастнера температурна залежність значення КЕО [18] збільшувалася на коефіцієнт k , що прямопропорційно збільшувало значення КЕО в усьому температурному діапазоні.

Аналіз отриманих результатів числових експериментів показав, що збільшення значення коефіцієнта k (відповідно і збільшення значення КЕО між заготовками) дає змогу дещо підвищити мінімальну температуру у крайніх торцевих заготовках (рис. 6).

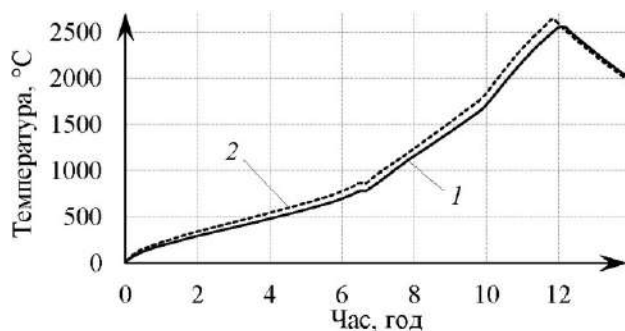


Рис. 6 – Зміна мінімальної температури крайніх заготовок під час їх нагрівання в разі зміни значенням КЕО між електродними заготовками: 1 – $k = 1$; 2 – $k = 10$.

Збільшення значення КЕО також спричинює зниження перепаду температури у крайніх заготовках за високих температур обробки. Але збільшення КЕО в 10 раз призводить до підвищення перепаду в центральних заготовках електродної свічки більше ніж на 100 °C впродовж кампанії графітування (рис. 7), що може призвести до зниження якості готової електродної продукції.

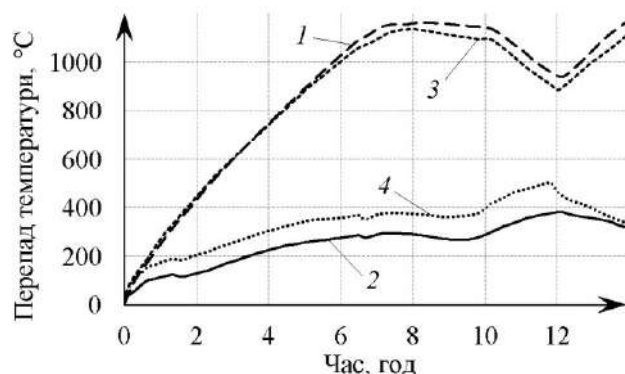


Рис. 7 – Перепад температури в заготовках у разі зміни значенням КЕО між електродними заготовками: 1 ($k = 1$), 3 ($k = 10$) – перепад температури у крайніх заготовках; 2 ($k = 1$), 4 ($k = 10$) – перепад температури в центральних заготовках.

Обговорення результатів

У результаті проведення числових досліджень встановлено, що оптимальним діаметром отвору електроконтактних кільцевих прокладок є отвір, розміри якого становлять близько 50–70 % від зовнішнього діаметра заготовок. Менше значення діаметра отвору призводить до перегріву центральної частини електродів, а більше – до значних радіальних перепадів температури.

Електроконтактні прокладки з підвищеним значенням електричного опору доцільно використовувати лише на кінцях електродних свічок, де вони дають змогу підвищити мінімальну температуру крайніх заготовок впродовж кампанії графітування. А це, відповідно, зменшує тривалість підведення електричної енергії до печі та питомі витрати електроенергії. У якості матеріалу для торцевих електроконтактних прокладок можливе використання графітового інтеркаляційного матеріалу [19,20] з підвищеним значенням електричного опору, багатшарової структури, яка складається попарно з шарів терморозширеного графіту високої та низької густини [21], графітового порошку тощо.

Висновки

Проведено числові дослідження теплового стану печі графітування Кастнера за різних розмірів внутрішнього діаметра електроконтактних кільцевих прокладок і значеннях КЕО між електродними заготовками.

Виконано порівняння отриманих результатів температурних полів упродовж кампанії графітування. У результаті встановлено, що значне зменшення діаметра кільцевих електроконтактних прокладок призводить до перегріву центральної осової частини електродних свічок, а збільшення – до високих значень радіальних перепадів температури. Використання кільцевих прокладок з підвищеним електричним опором доцільне лише на кінцях електродних свічок.

Список літератури

1. **Makarov, A. N.** Electromagnetism and the Arc Efficiency of Electric Arc Steel Melting Furnaces / **A. N. Makarov, V. V. Rybakova, M. K. Galicheva** // *Journal of Electromagnetic Analysis and Application*. – 2014. – Vol. 6. – P. 184-192. – doi:10.4236/jemaa.2014.67018.
2. **Adams, R.** Graphite electrode and needle coke development / **R. Adams, W. Frohs, H. Jäger** [et al.]. — *Carbon 2007 Conference*, 15-20 July 2007, Seattle, Washington, USA.
3. **Lee, S.-M.** Bulk graphite: materials and manufacturing process / **S.-M. Lee, D.-S. Kang, J.-S. Roh** // *Carbon Letters*. – 2015. – Vol. 16, No. 3. – P. 135-146. – doi:10.5714/CL.2015.16.3.135.
4. **Inagaki, M.** Thermal Management Material: Graphite / **M. Inagaki, Y. Kaburagi, Y. Hishiyama** // *Advanced*

- Engineering Materials*. – 2014. – Vol. 16, No. 5. – P. 494-506. – doi:10.1002/adem.201300418.
5. **Kuznetsov, D. M.** A comparison of properties of electrodes graphitized by the Acheson and Castner methods / **D. M. Kuznetsov, V. K. Korobov** // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2001. – Vol. 42, Nos. 9-10. – P. 355-359. – doi:10.1023/A:101402273.
 6. **Панов, Е. Н.** Анализ развития печей графитирования Кастнера в условиях потребностей современного рынка / **Е. Н. Панов, А. Ю. Педченко** // *Technology audit and production reserves*. – 2014. – Т. 4, № 1(18). – С. 57-60. – doi:10.15587/2312-8372.2014.26434.
 7. **Karvatskii, A.** Numerical analysis of the physical fields in the process of electrode blanks graphitization in the castner furnace / **A. Karvatskii, S. Leleka, A. Pedchenko, T. Lazarev** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6, № 5(84). – P. 19-25. – doi:10.15587/1729-4061.2016.83191.
 8. **Li, Y.** Numerical Simulation Analysis on Lengthwise Graphitization Furnace Co-production Silicon Carbide / **Y. Li, Y. Hu, L. Wu, Ch. Yu** // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vols. 557-559 – P. 835-838. – doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.835.
 9. **Chong, Sh.** Numerical study on the heat recovery and cooling effect by built-in pipes in a graphitization furnace / **Sh. Chong, Zh. Maoyong, L. Xianting** // *Applied Thermal Engineering*. – 2015. – Vol. 90. – P. 1021-1031. – doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.04.036.
 10. **Gala, M.** Parametry pracy zespołu prostownikowego pieca grafityzacyjnego / **M. Gala, K. Jagiela, M. Kępiński** // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2015. – Vol. 10. – P. 71-75.
 11. **Piekło, J.** Analysis of the State of Stress in the Connection of Graphite Electrodes / **J. Piekło, M. Maj** // *Archives of Foundry Engineering*. – 2015. – Vol. 15, issue 1. – P. 85-88.
 12. **Kuznetsov, D. M.** Shrinkage phenomena in graphitization of preforms in Castner furnaces / **D. M. Kuznetsov** // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2000. – Vol. 41, Nos. 7-8. – P. 279-282. – doi:10.1007/BF02693765.
 13. **Frohs, W.** Expansion of carbon artifacts during graphitization / **W. Frohs, F. Roebner** // *TANSO*. – 2015. – Vol. 2015, No. 267 – P. 77-83. – doi:10.7209/tanso.2015.77.
 14. **Mazur, M.** Emisja zanieczyszczeń z procesu grafityzacji elektrod węglowych w piecach LWG (Castnera). Część 1. Wybrane substancje gazowe / **M. Mazur, R. Oleniacz, M. Bogacki, P. Szczygłowski** // *Inżynieria Środowiska*. – 2005. – Т. 10, Z. 2. – S. 149-160.
 15. **Mazur, M.** Emisja zanieczyszczeń z procesu grafityzacji elektrod węglowych w piecach LWG (Castnera). Część 2. Wybrane substancje pyłowe / **M. Mazur, R. Oleniacz, M. Bogacki, P. Szczygłowski** // *Inżynieria Środowiska*. – 2006. – Т. 11, Z. 1. – S. 27-38.
 16. **Bogacki, M.** Evaluation of gas emissions from graphitising of carbon products / **M. Bogacki, R. Oleniacz, M. Mazur** // *Environmental Engineering III* / Ed. A. Pawłowski. – London : Taylor & Francis Group, 2010. – Ch. 2 – P. 9-14. – doi:10.1201/b10566-5.
 17. **Vedin, V. A.** Improving thermal insulation for graphitization furnaces / **V. A. Vedin, V. I. Pirogov** // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2008. – Vol. 49, No. 6. – P. 416-417. – doi:10.1007/s11148-009-9115-x.
 18. **Карвацкий, А. Я.** Исследование электрического контактного сопротивления графита с медью и терморасширенным графитом / **А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, И. В. Пулинец, Т. В. Лазарев, А. Ю. Педченко** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 5, № 5(71). – С. 45-49. – doi:10.15587/1729-4061.2014.27989.
 19. **Matsumoto, R.** Thermoelectric Properties and Electrical Transport of Graphite Intercalation Compounds / **R. Matsumoto, Y. Hoshina, N. Akuzawa** // *Materials Transactions*. – 2009. – Vol. 50, No. 7 – P. 1607-1611. – doi:10.2320/matertrans.E-M2009813.
 20. **Matsumoto, R.** Thermoelectric Properties and Performance of *n*-Type and *p*-Type Graphite Intercalation Compounds / **R. Matsumoto, Y. Okabe, N. Akuzawa** // *Electronic Materials*. – 2015. – Vol. 44, No. 1. – P. 399-406. – doi:10.1007/s11664-014-3409-6.
 21. System for reduction in temperature variation during lengthwise graphitization of carbon bodies: patent WO/2001/078460 : IPC B32B 18/00, C04B 35/52, C04B 35/64, H05B 3/00, H05B 7/085 / **T. W. Weber, J. J. Pavlisin, J. W. Tzeng** [et al.]; applicant is Graph Tech Inc. – Appl. No. PCT/US2000/009528; filing date 10.04.2000; publ. date 18.10.2001. – 24 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Makarov, A. N., Rybakova, V. V., Galicheva, M. K.** Electromagnetism and the Arc Efficiency of Electric Arc Steel Melting Furnaces. *Journal of Electromagnetic Analysis and Application*, 2014, **6**, 184-192. – doi:10.4236/jemaa.2014.67018.
2. **Adams, R., Frohs, W., Jäger, H., Roussel, K.** Graphite electrode and needle coke development: Carbon 2007 Conference, 15-20 July 2007, Seattle, Washington, The American Carbon Society.
3. **Lee, S.-M., Kang, D.-S., Roh, J.-S.** Bulk graphite: materials and manufacturing process. *Carbon Letters*, 2015, **16**(3), 135-146. – doi:10.5714/CL.2015.16.3.135.
4. **Inagaki, M., Kaburagi, Y., Hishiyama, Y.** Thermal Management Material: Graphite. *Advanced Engineering Materials*, 2014, **16**(5), 494-506. – doi:10.1002/adem.201300418.
5. **Kuznetsov, D. M., Korobov, V. K.** A comparison of properties of electrodes graphitized by the Acheson and Castner methods. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2001, **42**(9-10), 355-359. – doi:10.1023/A:101402273.
6. **Panov, Ye. N., Pedchenko, A. Yu.** Reasonable application analysis of Casnter graphitization furnaces according to the demands of modern market. *Technology audit and production reserves*, 2014, **4.1**(18), 57-60. – doi:10.15587/2312-8372.2014.26434.
7. **Karvatskii, A., Leleka, S., Pedchenko, A., Lazarev, T.** Numerical analysis of the physical fields in the process of electrode blanks graphitization in the Castner furnace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **6.5**(84), 19-25. – doi:10.15587/1729-4061.2016.83191.
8. **Li, Y., Hu, Y., Wu, L., Yu, Ch.** Numerical Simulation Analysis on Lengthwise Graphitization Furnace Co-production Silicon Carbide. *Advanced Materials Research*, 2012, **557-559**, 835-838. – doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.835.
9. **Chong, Sh., Maoyong, Zh., Xianting, L.** Numerical study on the heat recovery and cooling effect by built-in pipes in a graphitization furnace. *Applied Thermal Engineering*, 2015, **90**, 1021-1031. – doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.04.036.
10. **Gala, M., Jagiela, K., Kępiński, M.** Parametry pracy zespołu prostownikowego pieca grafityzacyjnego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2015, **10**, 71-75.

11. **Pieklo, J., Maj, M.** Analysis of the State of Stress in the Connection of Graphite Electrodes. *Archives of Foundry Engineering*, 2015, **15**(1), 85-88.
12. **Kuznetsov, D. M.** Shrinkage phenomena in graphitization of preforms in Castner furnaces. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2000, **41**(7-8), 279-282. – doi:10.1007/BF02693765.
13. **Frohs, W., Roeßner, F.** Expansion of carbon artifacts during graphitization. *TANSO*, 2015, **2015**(267), 77-83. – doi:10.7209/tanso.2015.77.
14. **Mazur, M., Oleniacz, R., Bogacki, M., Szczygłowski, P.** Emisja zanieczyszczeń z procesu grafityzacji elektrod węglowych w piecach LWG (Castnera). Część 1. Wybrane substancje gazowe. *Inżynieria Środowiska*, 2005, **10**(2), 149-160.
15. **Mazur, M., Oleniacz, R., Bogacki, M., Szczygłowski, P.** Emisja zanieczyszczeń z procesu grafityzacji elektrod węglowych w piecach LWG (Castnera). Część 2. Wybrane substancje pyłowe. *Inżynieria Środowiska*, 2006, **11**(1), 27-38.
16. **Mazur, M., Bogacki, M.** "Evaluation of gas emissions from graphitising of carbon products". *Environmental Engineering III*, edited by A. Pawlowski, Taylor & Francis Group, 2010, 9-14. – doi:10.1201/b10566-5.
17. **Vedin, V. A., Pirogov, V. I.** Improving thermal insulation for graphitization furnaces. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2008, **49**(6), 416-417. – doi:10.1007/s11148-009-9115-x.
18. **Karvatskii, A., Leleka, S., Pulync, I., Lazariiev, T., Pedchenko, A.** Electrical contact resistance research of graphite with copper and termo-expanded graphite. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, **5.5**(71), 45-49. – doi:10.15587/1729-4061.2014.27989.
19. **Matsumoto, R., Hoshina, Y., Akuzawa, N.** Thermoelectric Properties and Electrical Transport of Graphite Intercalation Compounds. *Materials Transactions*, 2009, **50**(7), 1607-1611. – doi:10.2320/matertrans.E-M2009813.
20. **Matsumoto, R., Okabe, Y., Akuzawa, N.** Thermoelectric Properties and Performance of *n*-Type and *p*-Type Graphite Intercalation Compounds. *Electronic Materials*, 2015, **44**(1), 399-406. – doi:10.1007/s11664-014-3409-6.
21. **Quandt, H. C., Weber, T. W.** System for reduction in temperature variation during lengthwise graphitization of carbon bodies. Patent No. WO/2001/078460. 18 October 2001.

Відомості про авторів (About authors)

Карвацький Антон Янович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, м. Київ, Україна; e-mail: anton@rst.kpi.ua.

Anton Karvatskii – Doctor of Science (D. Sc.), Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Professor of Department of Chemical, Polymer and Silicate Engineering, Kiev, Ukraine; e-mail: anton@rst.kpi.ua.

Панов Євген Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», декан інженерно-хімічного факультету, м. Київ, Україна; e-mail: panov@rst.kpi.ua.

Yevgen Panov – Doctor of Science (D. Sc.), Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Dean of Faculty of Chemical Engineering, Kiev, Ukraine; e-mail: panov@rst.kpi.ua.

Педченко Анатолій Юрійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», молодший науковий співробітник НДЦ «Ресурсозберігаючі технології», м. Київ, Україна; e-mail: anatolek@rst.kpi.ua.

Anatoliy Pedchenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Junior researcher of Research Center "Resource-Saving Technologies", Kiev, Ukraine; e-mail: anatolek@rst.kpi.ua.

Лелека Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», науковий співробітник НДЦ «Ресурсозберігаючі технології», м. Київ, Україна; e-mail: sleleka@rst.kpi.ua.

Serhii Leleka – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Researcher of Research Center "Resource-Saving Technologies", Kiev, Ukraine; e-mail: sleleka@rst.kpi.ua.

Лазарєв Тарас Валерійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», науковий співробітник НДЦ «Ресурсозберігаючі технології», м. Київ, Україна; e-mail: t_lazarev@rst.kpi.ua.

Taras Lazariev – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Researcher of Research Center "Resource-Saving Technologies", Kiev, Ukraine; e-mail: t_lazarev@rst.kpi.ua.

Деркач Василь Васильович – ПрАТ «Укрграфіт», начальник управління з технології та розвитку, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: technology@ukrgrafit.com.ua.

Vasyl Derkach – PrJSC "Ukrgrafit", Head of Technology and Development Department, Zaporizhia, UKRAINE; e-mail: technology@ukrgrafit.com.ua.

Тютюнник Олексій Володимирович – ПрАТ «Укрграфіт», зам. директора з капітального будівництва, м. Запоріжжя, Україна; e-mail: technology@ukrgrafit.com.ua.

Oleksiy Tyutyunnyk – PrJSC "Ukrgrafit", Deputy Director of Capital Construction, UKRAINE; e-mail: technology@ukrgrafit.com.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Карвацький, А. Я. Дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів на процес прямого графітування електродів у печах Кастнера / **А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, А. Ю. Педченко, С. В. Лелека, Т. В. Лазарєв,**

В. В. Деркач, О. В. Тютюнник // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017 – № 32 (1254). – С. 30-36. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.05.

Please cite this article as:

Karvatskii, A., Panov, Ye., Pedchenko, A., Leleka, S., Lazarev, T., Derkach, V., Tyutyunnyk, O. Investigation of the influence of constructive-technological parameters on the direct graphitization process of electrodes in Castner furnaces. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017 **32** (1254), 30–36, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Карвацкий, А. Я. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров на процесс прямого графитирования электродов в печах Кастнера / **А. Я. Карвацкий, Э. Н. Панов, А. Ю. Педченко, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев, В. В. Деркач, А. В. Тютюнник** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 30-36. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.05.

АННОТАЦИЯ Используя разработанную численную модель теплоэлектрического состояния печи графитирования Кастнера, выполнено численные исследования влияния внутреннего диаметра кольцевых электропрокладок и контактного сопротивления между электродными заготовками на физическое состояние печи прямого нагрева. Предложено для увеличения минимальной температуры заготовок в течение процесса графитирования углеродной продукции использовать на концах электродных свечей электроконтактные прокладки с увеличенным электрическим сопротивлением. Рациональным диаметром отверстия электроконтактных межэлектродных прокладок является отверстие, размеры которого составляют около 50-70% от наружного диаметра заготовок.

Ключевые слова: графитовые электроды; печь графитирования Кастнера; электроконтактная прокладка; контактное электрическое сопротивление.

Надійшла (received) 28.08.2017

УДК 621.431.74

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.06

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА ПОТОКА ЭНЕРГИИ В НЕРАВНОВЕСНОМ ЦИКЛЕ ДИЗЕЛЯ

В.П. ЛИТВИНЕНКО

кафедра «Эксплуатации судовых энергетических установок», Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия», Мариуполь, УКРАИНА
*email: jltinski@gmail.com

АННОТАЦИЯ В современных методах расчета поршневых двигателей делается допущение о том, что в качестве рабочего тела в цикле используется идеальный газ, что во многом упрощает решаемую задачу, но привносит существенные неточности в получаемые результаты и искажает описание самого процесса. Предложен алгоритм расчета термодинамического цикла посредством выделения равновесной составляющей потока энергии в неравновесном комбинированном цикле за счет введенного понятия объемной скорости процесса как параметра цикла. Разработанная методика позволяет выделить наиболее эффективную часть цикла, после достижения которой, оставшаяся часть энергии может быть употреблена для работы судовых энергетических установок, за счет оптимально установленной фазы выпуска отработавших газов.

Ключевые слова: судовой дизель; поток энергии; объемная скорость; скорость поршня; кинетическая энергия; закон термодинамики.

ABOUT SOME PECULIARTIES CALCULATING THE ENERGY FLOW IN THE NON – EQUILIBRIUM DIESEL ENGINE CYCLE

V. LITVYNENKO

Department, «Ship power plant operation», Azov Maritime Institute of the National University «Odessa Maritime Academy», Mariupol, UKRAINE

ABSTRACT In the modern methods of calculating the reciprocating engines there is an assumption that the ideal gas is used as actuation fluid in the cycle that makes the current task much easier however brings sufficient untruthfulness to the achieved results and misrepresents the description of the process itself. It was suggested an algorithm of calculating the thermodynamic cycle through releasing the equilibrium component of the energy flow in the non-equilibrium combined cycle at the cost of accepted concept of the process volume speed as a cycle parameter. The developed method allows to separate the most efficient cycle part and after achieving in the remaining part of energy can be used for ship power plant operation by means of effectively set phase of releasing the exhaust gases.

Key words: ship diesel power plant; energy flow; volume speed; piston speed; kinetic energy; law of thermodynamics.

Введение

В современных представлениях рассмотрение термодинамических процессов дизеля осуществляется использованием смешанного цикла, включающего изохорный и изобарный процессы. При этом, в стремлении повысить эффективность цикла, учитываются противопоставляемые гипотезы, смысл которых сводится к выбору предпочтений названным процессам, упуская при этом факт того, что реальный цикл характеризуется своими отличительными особенностями, связанными с условиями нагрузки на дизель, свойствами используемого топлива и многими другими факторами.

В таких подходах смешанный цикл, реализуемый в дизеле, полагают обратимым, априори делая допущение, что производство энтропии равно нулю. Такие подходы, однако, представляются не вполне корректными, поскольку здесь наблюдается подмена понятий между повторяемым (круговым)

циклом и обратимым в термодинамическом смысле циклом.

Для термодинамически обратимого цикла необходимо соблюдение условия, при котором производство энтропии в цилиндре оказывалось бы равным нулю, $\Delta S = 0$. Это условие нами рассмотрено в работе [1,2], где в качестве критерия, определяющего термодинамическое равновесие, было установлено по признаку равенства скоростей распределения объема образовавшихся в результате сгорания топливно-воздушной смеси газов и объема, высвобождаемого движущимся поршнем, что соответствует теоретическим выводам, сделанным в работе [3].

Таким образом, учитывая необходимость разработки научно-практических методов, обеспечивающих возможность повышения эффективности работы дизеля, рассматриваемый в статье вопрос представляется актуальным, как в теоретическом, так и в практическом плане.

Цель работы

Целью данной работы является разработка теоретических подходов и метода расчета потока энергии в неравновесном термодинамическом цикле, с учетом особенностей выделения равновесного состояния, так чтобы достигались оптимальные условия его распределения на непосредственную работу дизеля и привод судовых энергетических установок.

Изложение основного материала

В ходе выполнения настоящей работы, отмечалось, что наряду с возникновением необходимой температуры, достаточной для воспламенения топливно-воздушной смеси, развитию сгорания препятствует избыточное давление сжатия. Так, что образование движущей поршень силы можно охарактеризовать скоростью развития объемных процессов, связанных со сгоранием топливно-воздушной смеси в камере сгорания, в момент нахождения поршня в верхней мертвой точке (ВМТ) – $V_{\text{кв}}$ и скоростью развития процесса по мере высвобождения объема по причине перемещения поршня – $V_{\text{шп}}$. При этом отмечалось, что скорость – $V_{\text{кв}}$ зависит от термодинамических условий и физико-химических свойств топлива, а скорость – $V_{\text{шп}}$ обусловлена, также числом оборотов дизеля.

В определенном смысле отмечаемое положение согласуется с выводами Бриллинга, выраженными зависимостью в виде индикаторной мощности $N_i \sim P_i C$, где P_i – индикаторное давление, C – скорость поршня, [4,5]. В отмеченной зависимости, скорость поршня характеризует, в том числе и особенности развития объемных процессов в вертикальном, по ходу движения поршня, направлении.

В общем виде, характер развития объемных процессов представлен графической моделью, см. рис. 1.

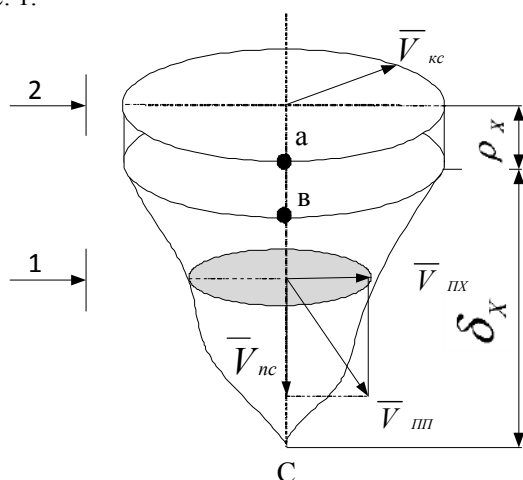


Рис. 1 – Характер развития объемных процессов в цилиндре дизеля

Замечено, что скорость перемещения поршня является результирующей и зависит от условий развития объемных процессов и сопротивления его перемещению, т.е. от нагрузки на двигатель. По этой причине, сделано допущение, см. рис. 1, о том, что взаимосвязь рассматриваемой скорости может быть отображена некоторой результирующей скоростью – $\overline{V_{nn}}$, которая определяется вертикальной составляющей – $\overline{V_{nc}}$, тождественной ранее отмечаемой скорости – C , и горизонтальной составляющей – $\overline{V_{nx}}$.

При этом, принималось во внимание, что рассматриваемый процесс характеризуется в объемных координатах – x , y и z . Однако принимая во внимание симметричность, его рассмотрение осуществлялось в плоской системе координат, что значительно упрощает рассматриваемую задачу.

Кроме этого, учитывалось условие непрерывности распределения энергии по объему цилиндра, в цикле расширения – рабочего хода дизеля. Что представляется очевидным. Скорость развития объемных процессов в плоской системе координат рассматривалась в виде суммы отмеченных скоростей.

$$\overline{V_{nn}} = \overline{V_{nc}} + \overline{V_{nx}} \quad (1)$$

В целях анализа приведенного соотношения допускалось, что скорость рабочего тела $\overline{V}_{nn}$ изменяется под воздействием сгорания топливовоздушной смеси и в результате перемещения поршня. Тогда можно отобразить некоторые соотношения между скоростями – $\overline{V}_{nc}$, $\overline{V}_{nx}$ и $\overline{c}$, с позиций развития объемных процессов при движении поршня от ВМТ к нижней мертвой точке (НМТ).

При таком подходе наиболее вероятны следующие варианты соотношений, которые и будут характеризовать работу дизеля: а) $\bar{c} > \bar{V}_{nn}$; б) $\bar{c} = \bar{V}_{nn}$; в) $\bar{c} < \bar{V}_{nn}$.

По варианту а) проявляется насосный эффект от движения поршня к НМТ, что приводит к вытягиванию потока энергии по объему цилиндра и, таким образом, вероятно ограничивает его развитие по сечению цилиндра. В этом случае эффективность использования выделяющегося тепла и нарастания давления ограничивается излишними оборотами дизеля. Проявляются наиболее благоприятные условия утилизации тепла на привод газовых турбин, утилизационный котел и т.п. устройства.

Вариант б) обусловлен проявлением следующего эффекта объемных процессов за перемещающимся поршнем. За счет равенства скорости, с которой высвобождается объем цилиндра движущимся поршнем и скорости перемещения рабочего тела образуемого вследствие протекания термодинамических процессов достигается экономический режим работы дизеля. Предположительно в этом случае соблюдается условие $\overline{V}_{\text{гх}} \approx \overline{V}_{\text{гс}} \approx \bar{c}$.

Вариант в) связан с возрастающим сопротивлением перемещению поршня по причине повышения нагрузки на двигатель. Предположительно можно допустить, что в этом случае

соблюдается условие $\overline{V_{nx}} \geq \overline{V_{nc}} > \bar{c}$. За счет повышения $\overline{V_{nx}}$ возрастает движущая поршень сила, что и позволяет преодолевать набросы нагрузок на дизель. Так вероятно проявляется эффект саморегуляции, характерный дизелям.

В рамках приведенной модели заметим, что она соответствует динамике развития термодинамических процессов и содержит в своей структуре, кроме параметров, характеризующих их равновесность, в виде давления – P , объема – V и температуры – T , скорость процесса – $V_{об}$. В этой связи можно дать описание модели использованием первого закона термодинамики для потока газа или жидкости, [4-7]. Однако для рассматриваемого случая, первый закон термодинамики мы представим в форме закона, отображающего поток энергии расширяющихся газов в комбинированном цикле современного дизеля.

Представляется, что реализация первого закона термодинамики в рассматриваемом случае оказывается вполне корректной, поскольку законы термодинамики имеют общий характер и справедливы как для неподвижных, так и движущихся систем.

Применительно к дизелю отметим, что поток энергии зарождается в камере сгорания, обладает свойством непрерывности до момента открытия органов газообмена и протекает по ходу перемещения поршня. В особенности такой поток энергии характерен для длинноходовых судовых дизелей, у которых ход поршня достигает трех и более метров. Так, что втулка цилиндра судового дизеля вполне может быть рассмотрена как некоторый «канал», в котором происходит перемещение газов.

Поток тепловой энергии, обладает кинетической энергией.

$$E_{кин} = \frac{G \cdot \overline{V_{nc}^2}}{2} \quad (2)$$

где, G – масса газов в потоке энергии, которая определяется с учетом цикловой подачи топлива и коэффициента молекулярного изменения и характеризуется плотностью – γ .

Учитывая, что по ходу перемещения поршня скорость потока энергии изменяется, можно допустить, что также изменяется и его кинетическая энергия, в зависимости от рассматриваемых сечений цилиндра двигателя, на некоторую величину – $\Delta E_{кин}$, см. рис. 1.

$$\Delta E_{кин} = G \left(\frac{\overline{V_{nc2}^2}}{2} - \frac{\overline{V_{nc1}^2}}{2} \right) \quad (3)$$

В соответствии с первым законом термодинамики для рассматриваемого случая, имеем:

$$Q_{1-2} = (U_2 - U_1) + L_{1-2} \quad (4)$$

где U_2 – внутренняя энергия газов, образуемая вследствие сгорания топливно-воздушной смеси; U_1 – внутренняя энергия газов после их расширения в цилиндре двигателя; L_{1-2} – работа, затраченная на перемещение поршня.

Подвергнем анализу структуру работы – L_{1-2} . Отметим, что для того чтобы переместить поршень на участке (а – в) на некоторое расстояние – ρ_x , нужно совершить работу, равную произведению силы действующей на поршень, на длину пути, пройденного поршнем.

$$L_1 = P_1 \cdot S \cdot \rho_x \quad (5)$$

где, ρ_x – показатель, отображающий скорость потока в сечении 2 – 2, на участке (а – в); S – площадь сечения цилиндра; P_1 – давление в сечении 2 – 2.

Обозначим через $V_1 = S \cdot \rho_x$ – объем газа, поступившего в рассматриваемый участок за единицу времени. Учтем, что $V_1 = v_1 \cdot G$, где G – масса газов, образовавшихся при сгорании топливно-воздушной смеси; v_1 – удельный объем газа в сечении 2 – 2, на участке (а – в). Таким образом, получим:

$$L_1 = P_1 \cdot v_1 \cdot G \quad (6)$$

или, что тоже, $L_1 = P_1 \cdot V_1$.

На участке (в – с), работа, которую совершает поршень определится из выражения:

$$L_2 = P_2 \cdot V_2 \text{ или } L_2 = P_2 \cdot v_2 \cdot G \quad (7)$$

где, v_2 – удельный объем газа, размещенного на участке (в – с).

Таким образом, с учетом выражений (6) и (7) можно записать, что суммарная работа в интервале между сечениями 1 – 1 и 2 – 2 определится из соотношения:

$$L = L_1 + L_2 = (P_1 \cdot v_1 + P_2 \cdot v_2)G \quad (8)$$

Учитывая специфику работы дизеля в смешанном цикле, можно заметить, что на участке (а – в) реализуется изобарный процесс, который характеризуется степенью предварительного расширения – ρ и объемной скоростью – V_x . В тоже время, нами была определена объемная скорость – $V_{об}$ для всего цикла работы дизеля, [2]. Таким образом, в дальнейших расчетах представляется возможным определять объемную скорость и на участке (в – с), которую обозначим – V_δ , характеризующую степень последующего расширения газов в цилиндре дизеля. Во всяком случае, можно заметить, что для всего ряда значений $V_x \neq V_\delta$ и поэтому, с учетом выражения (3) изменение кинетической энергии потока определится соотношением:

$$\Delta E_{кин} = G \left(\frac{V_x^2}{2} - \frac{V_\delta^2}{2} \right) \quad (9)$$

В общем виде, поток энергии должен удовлетворять условию превышения над некоторой величиной нагрузки на двигатель, которая связана с движением судна, преодолением сил сопротивления движению поршня, приводом газотурбинного нагнетателя (ГТН) и другим оборудованием. Обозначим в этой связи часть энергии затрачиваемой на привод ГТН индексом – $L_{гтн}$, а часть энергии затрачиваемой на преодоление сил трения в кривошипно-шатунном механизме индексом – $L_{мр}$.

Таким образом, суммарную работу, которую совершает движущийся поток энергии в дизеле, можно выразить в виде следующего соотношения:

$$L_{1-2} = G(P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1) + G \left(\frac{V_x^2}{2} - \frac{V_\delta^2}{2} \right) + L_{\text{зтн}} + L_{\text{мр}} \quad (10)$$

Воспользовавшись классическим представлением первого закона термодинамики можно записать следующее соотношение:

$$Q_{1-2} = (U_2 - U_1) + G(P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1) + G \left(\frac{V_x^2}{2} - \frac{V_\delta^2}{2} \right) + L_{\text{зтн}} + L_{\text{мр}} \quad (11)$$

Разделив обе части выражения (11) на G , получим выражение первого закона термодинамики для единицы массы потока энергии, т.е. в удельных массовых величинах.

$$q_{1-2} = (u_2 - u_1) + (P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1) + \left(\frac{V_x^2}{2} - \frac{V_\delta^2}{2} \right) + l_{\text{зтн}} + l_{\text{мр}} \quad (12)$$

В дифференциальной форме, выражение (12) примет вид:

$$dq_{1-2} = du + d(Pv) + V_i dV + dl_{\text{зтн}} + dl_{\text{мр}} \quad (13)$$

С учетом энтальпии процесса равной $h = u + Pv$, имеем:

$$q_{1-2} = (h_2 - h_1) + \left(\frac{V_x^2}{2} - \frac{V_\delta^2}{2} \right) + l_{\text{зтн}} + l_{\text{мр}} \quad (14)$$

и в дифференциальной форме получим:

$$dq = dh + V_i dV + dl_{\text{зтн}} + dl_{\text{мр}} \quad (15)$$

Обсуждение результатов

В целях достижения наглядности полученных результатов, сравним уравнение первого закона термодинамики, записанное в общем виде для произвольной системы, с выражением (13), которое представляется частным случаем этого закона и учитывает поток энергии в дизеле. Имеем:

$$dq = du + PdV \quad (16)$$

$$dq_{1-2} = du + d(Pv) + V_i dV + dl_{\text{зтн}} + dl_{\text{мр}} \quad (17)$$

Заметим, что оба выражения оказываются идентичными по своему смысловому наполнению элементами, отображающими термодинамический процесс. В тоже время, уравнение (13) позволяет учесть динамику изменений термодинамического процесса за счет введения характеристики потока энергии, связанной с понятием объемной скорости процесса. Кроме того, это выражение позволяет учитывать особенности протекания процесса при передаче части энергии для привода вспомогательных механизмов и устройств.

Учитывая, что выражения (16) и (17) в обоих случаях отображают первый закон термодинамики, приравняем правые части обоих выражений. Получим:

$$du + PdV = du + d(Pv) + V_i dV + dl_{\text{зтн}} + dl_{\text{мр}}$$

и упростив его, будем иметь:

$$PdV = d(Pv) + V_i dV + dl_{\text{зтн}} + dl_{\text{мр}} \quad (18)$$

Соотношение (18) отображает, что энергия, образуемая вследствие сгорания топливно-воздушной смеси $-(PdV)$, расходуется на изменения положения потока газов $d(Pv)$, изменение кинетической энергии потока газов $V_i dV$, передачи энергии на привод газовой турбины $dl_{\text{зтн}}$ и преодоление сил трения $dl_{\text{мр}}$.

Учитывая, что в выражении (18) $d(Pv) = PdV + v dP$ для рассматриваемого потока газов в дизеле можно записать:

$$V_i dV = -v dP - dl_{\text{зтн}} - dl_{\text{мр}} \quad (19)$$

При условии когда потерями на трение можно пренебречь, $dl_{\text{мр}} = 0$, затраты энергии потребляемые ГТН окажутся равными:

$$dl_{\text{зтн}} = v dP - V_i dV \quad (20)$$

Выводы

С практической точки зрения, представленные зависимости обеспечивают возможность взаимно увязать теоретические модели описания термодинамических циклов с реальными процессами дизелей, в целях определения конкретных конструктивных параметров. В первую очередь такое положение относится к обоснованию и расчету фаз газообмена и характеру влияния наброса нагрузок на дизель и изменения в термодинамическом цикле. Кроме этого, обеспечивается возможность установить характер протекания термодинамических процессов в зависимости от числа оборотов дизеля и определить энергию, которая может быть выделена для привода ГТН из условия максимума использования тепловой энергии для получения мощности, связанной с приводом движителя. Причем, такое условие достигается с учетом характеристики ГТН.

Список литературы

1. Литвиненко, В. П. Определение степени предварительного расширения посредством оценки внутрицилиндровых процессов объемными показателями. / В. П. Литвиненко // *Судовые энергетические установки: научно-технический сборник*. – 2016. – Вып. 36. – с. 96-104.
2. Литвиненко, В. П. Неравновесность в комбинированном цикле ДВС. / В. П. Литвиненко // *Міжнародна науково-практична конференція. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування*. СЕУТОО – 2016.
3. Пригожин, И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ. Ю.А. Данилова и В.В. Белого – М.: Мир, 2002. – 461 с.
4. Исаев, А. П. Анализ методов расчета показателей рабочего цикла судовых ДВС / А. П. Исаев, С. А. Каргин, К. К. Колосов // *Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология*. – 2009. – №1.
5. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Н. Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.
6. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей / А. С. Орлин и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.

7. Кирилин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кирилин.- М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
3. Prigojin, I., Kondepudi, D. Sovremennaya termodinamika. Ot tyeplovykh dvigateley do dissipativnykh struktur [Modern thermodynamics. From the heat engines to dissipative structures]. Per. S angl. U.A. Danilova i Byelogo V.V. – M: Mir, 2002, 461 s.
1. Litvinenko, V. P. Opredeleniye stepeni predvaritel'nogo rasshireniya posredstvom otsenki vnutrisylindrovyykh protsessov ob'yemnymi pokazatelyami [Determination of the degree of preliminary expansion by means of evaluation in intra cylinder processes by volumetric indicators]. *Sudovyye energeticheskiye ustanovki: nauchno-tekhnicheskyy sbornik*. 2016, **36**, 96-104.
4. Isayev, A. P., Kargin, S.A., Kolosov, K.K. Analiz metodov rascheta pokazateley rabocheho tsikla sudovykh DVS [Methods of analysis to calculate the operating cycle indexes of ship internal combustion engine]. *Vestnik AGTU. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2009, **1**.
2. Litvinenko, V.P. Neravnovesnost' v kombinirovannom tsikle DVS [Non-equilibrium in the combined cycle of the internal combustion engine]. *Mizhnarodna naukovopraktichna konferentsiya. Suchasni energetychni ustanovky na transporti, tekhnologii ta obladnamya dlya yikh obslugovuvannya*. SEUTTO, 2016.
5. Teoriya dvigateley vnytrennego sgoraniya [The internal combustion engines theory] / Pod red. N.Kh.D'yachenko.-L.: Mashinostroyeniye, 1974.-552s.
6. Teoriya rabochikh protsessov porshnevyykh i kombinirovannykh dvigateley [Theory of working processes in piston and combined engines] / A.S.Orlin i dr.-M.: Mashinostroyeniye, 1971, 400 s.
7. Kirilin, V.A. Tekhnicheskaya termodinamika. M.: Energoatomizdat, 1983, p.416.

Сведения об авторах (About authors)

Литвиненко Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия», зав. кафедрой «Эксплуатации судовых энергетических установок», г. Мариуполь, Украина; e-mail: jltinski@gmail.com.

Volodymyr Lytvynenko – candidate of Technical Sciences, Docent, the head of «Ship power plant operation», Azov Maritime Institute of the National University «Odessa Maritime Academy», c. Mariupol, Ukraine; e-mail: jltinski@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Литвиненко, В. П. О некоторых особенностях расчета потока энергии в неравновесном цикле дизеля / **В. П. Литвиненко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 37-41. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.06.

Please cite this article as:

Litvinenko, V. About some peculiarities of calculating the energy flow in the non – equilibrium diesel engine cycle. *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 37–41, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.06.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Литвиненко, В. П. О деяких особливостях розрахунку потоку енергії в нерівноважному циклі дизеля / **В.П. Литвиненко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 37-41. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.06.

АНОТАЦІЯ У сучасних методах розрахунку поршневих двигунів робиться припущення про те, що в якості робочого тіла в циклі використовується ідеальний газ, що багато в чому спрощує завдання виконується, але привносить суттєві неточності в одержувані результати і спотворює опис самого процесу. Запропоновано алгоритм розрахунку термодинамічного циклу за допомогою виділення рівноважної складової потоку енергії в нерівноважному комбінованому циклі за рахунок введення поняття об'ємної швидкості процесу як параметра циклу. Розроблена методика дозволяє виділити найбільш ефективну частину циклу, після досягнення якої, решта енергії може бути використана для роботи судових енергетичних установок, за рахунок оптимально встановленої фази випуску відпрацьованих газів. **Ключові слова:** судовий дизель; потік енергії; об'ємна швидкість; швидкість поршня; кінетична енергія; закон термодинаміки.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 621.74.045

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.07

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ШВИДКОРІЗУЮЧОЇ СТАЛІ НА СПАДКОВІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ

Д. В. МАРИНЕНКО^{1*}, Н. В. КРАВЦОВА²

¹ кафедра ливарне виробництво, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

² кафедра "Механіка суцільних середовищ та опір матеріалів", НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*email: prostooelementary@gmail.com

АНОТАЦІЯ Метою роботи є дослідження литої структури сталі Р6М5, яка утворюється при різних технологічних факторах охолодження. В ході дослідження основних чинників, які впливають на утворення структури та розподіл легувальних елементів було встановлено, що в певному інтервалі температур в розплаві сталей зберігається ближній порядок, що відповідає дисперсній структурі сталі вихідних шихтових заготовок. В ході математичного аналізу даних були отримані математичні рівняння, які дозволяють отримати значення вихідного параметра при конкретно заданому вхідному параметру у рамках експерименту та навпаки, а також зробити прогноз відносно стану структури відносно досліджуваних параметрів.

Ключові слова: сталь; охолодження; структура; спадковість; легувальні елементи.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF COOLING OF FASTENING STEEL ON THE STRENGTH OF THE ELEMENTS OF THE STRUCTURE

D. MARYNENKO*, N. KRAVTSOVA²

¹ Department of the foundry production, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

² Department "Mechanics of continua and mechanics of materials", NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Analytical review of information sources has led to the conclusion that the selected steel W6Mo5 has wide usage in the processing of structural materials with a strength less than 600-700 MPa (non-ferrous metals, like alloys on aluminum basis; Dalen steel; grey cast irons, etc.). To study the structure were established means of fabrication of micro-sections, the equipment chosen for analysis. In the study, the main factors affecting the structure and distribution of alloying elements was installed that pureplay showed that in a certain temperature range, the molten steel remains short-range order, which corresponds to the dispersed structure became the source of a charge of workpieces. The dispersion and homogeneity of the source svecokarelian steel structure inherited during remelting in the interval dobretici temperature Tr. Increasing the temperature of the melt above this temperature range Tr determines the process of radical structural adjustment of the molten steel, transfer them to a more equilibrium state and the loss to a certain extent hereditary traits of the original sitovo svecokarelian billet steel. For the experiment were selected the rate of cooling and 2 350°C/s which corresponds to the cooling rate in the sand mold and metal mold, respectively, and the melting temperature was changed from 1460°C to 1620°C, the two boundaries on different sides of the critical temperature. During matematychnego analysis of the data was obtained mathematics equations, which allow to obtain the value of the output parameter at the specifically given input parameter in the experiment, and Vice versa, as well as to make a prediction about the state of the structure with respect to the parameters.

Keywords: steel; cooling; structure; heredity; alloying elements.

Вступ

В умовах сучасного виробництва машинобудівних виробів постійно зростають обсяги використання, в якості шихтових матеріалів, вторинної сировини у вигляді відпрацьованого інструменту, брухту для повторного переплаву. Позитивний або негативний вплив вихідних шихтових матеріалів на будову розплаву, а через нього на структуру і фізико-механічні властивості твердого металу в системі «шихта – розплав – виливок» помічено давно. Прояви такої «металургійної спадковості» пов'язують із збереженням в розплаві неметалевих фаз, газів, домішок та елементів кристалічної будови вихідного металу, зумовлених технологічною перед історією виготовлення, підготовки, плавлення, розкислення і кристалізації металу шихти.

Одним із шляхів підвищення конкурентоспроможності металопродукції виробництва України є розробка методів управління процесом кристалізації, формування первинної структури металу, яка суттєво впливає на формування властивостей, що повинен мати кінцевий продукт.

Аналіз літературних даних

Вивчення проблем процесу трансформації литих структур при термічній обробці пов'язано з явищем спадковості металевих матеріалів. Під спадковістю металів і сплавів розуміють збереження в них певних особливостей будови, структури або властивостей вихідного матеріалу після дії різних технологічних впливів, які зумовлюють певні фазові або структурні перетворення і зміну властивостей

металевих матеріалів. Спочатку спадковість розглядали як зв'язок між характеристиками шихти і властивостями розплаву та литих виробів. На сьогодні визнають існування кількох видів спадковості – хімічної, технологічної, структурної, фазової тощо [1-6].

Із теорії відомо, що при твердненні сплавів відбувається виділення теплоти кристалізації, утворення та ріст кристалів, перерозподіл лікватів та конвективне переміщення розплаву вздовж границі тверднення [7,8]. Суттєво впливають на ці процеси температурно – часові умови кристалізації виливків. Процес зародження і росту кристалів твердої фази з рідкого стану називають первинною кристалізацією, а структуру, що утворюється – первинною. Кристали з рідини ростуть в напрямку перпендикулярному до поверхні охолодження [9,10]. У залежності від хімічного складу сталі, швидкості кристалізації і градієнту температур на міжфазній поверхні тверднення відбувається за комірковим, комірково – дендритним і дендритним типом кристалізації [11,12].

Мета роботи

Метою роботи є дослідження литої структури сталі Р6М5, яка утворюється при різних технологічних факторах охолодження, дослідити явище спадковості.

Для цього поставлені наступні задачі:

- обрати матеріал для дослідження, описати його властивості, проаналізувати структуру;
- обрати спосіб дослідження структури, засоби виготовлення мікрошліфів, обладнання для проведення аналізу;
- виявити основні чинники, що впливають на утворювання структури та розподіл легувальних елементів;
- встановити границі для натурального експерименту, обрати параметри для дослідження та аналізу, провести натуральний експеримент;
- використовуючи метод математичного моделювання виконати оптимізацію регулювання теплових чинників розплаву.

Виклад основного матеріалу

Матеріалом для дослідження в даній науково – дослідній роботі є сталь Р6М5. Призначення – ріжучі інструменти всіх видів для обробки при звичайній швидкості різання деталей з вуглецевих та середньо легованих конструкційних сталей з межею міцності до 90...100 МПа, а також зуборізні інструменти для обробки нержавіючих сталей.

Високий вміст карбідоутворюючих елементів, особливо вольфраму і молібдену, забезпечує сталі червоностійкість – здатність зберігати високу твердість до температур близько 620°C. Цією властивістю визначається основне призначення сталі – інструмент для інтенсивних режимів різання.

Дослідження впливу температури нагріву розплаву над ліквідусом на структурну спадковість при переплаві шихтових заготовок сталі Р6М5 здійснювали з різною вихідною литою структурою.

Для формування певних вихідних структур шихтових заготовок розплав досліджуваної сталі після індукційної плавки розливали від стандартних температур у ливарні форми з різною тепловідводною здатністю – земляні і мідні водоохолоджувані. Це забезпечувало середню швидкість охолодження розплаву під час кристалізації (V) відповідно 2°C/c (нормальне охолодження) і 350°C/c (швидкісне охолодження).

Наступні переплави шихтових заготовок здійснювали в алунових тиглях з вагою розплаву до 400 г за різних температур перегріву над ліквідусом. Для сталі Р6М5 температура ліквідусу $T = 1430^\circ\text{C}$.

Експерименти по переплаву шихтових заготовок сталі з різною вихідною структурою здійснювали при температурах нагріву розплаву 1460, 1500, 1540 та 1620°C. Наступне охолодження розплаву під час кристалізації відбувалось за нормальних умов охолодження в тиглі на повітрі зі швидкістю $V_{\text{ох}} = 2\text{--}5^\circ\text{C/c}$. Температуру розплаву фіксували термопарою.

Розмір зерна сталі Р6М5 при литті в землю та в мідний водо охолоджуваний кокіл визначали згідно ГОСТ 5639–82. Стандарт встановлює металографічні методи виявлення і визначення величини зерна сталей і сплавів. Металографічні методи визначають:

- величину дійсного зерна (після гарячої деформації або термічної обробки);
- схильність зерна до зростання – визначенням величини зерна аустеніту після нагріву при температурі і часу витримки, встановлених нормативно – технічною документацією на сталі і сплави;
- кінетика зростання зерна – визначення величини зерна після нагрівання в інтервалі температури і часу витримки, встановлена нормативно – технічна документація на сталь і сплави. При переплавах за невеликих перегрівів над ліквідусом в розплаві зберігаються певна структурна неоднорідність і особливості будови шихтового металу, що дозволяє розглядати його як нерівноважну систему [13,14]. Відзначимо, що тривалість збереження нерівноважності таких систем перевищує тривалість знаходження металу у рідкому стані. Наступна кристалізація такого нерівноважного розплаву, що зберігає певні спадкові ознаки шихтового металу, супроводжується відповідними особливостями процесів зародкоутворення і формування фазово – структурного стану виливків.

Перехід від нерівноважного стану розплаву до рівноважного може бути реалізований його нагрівом до певної температури. Підвищення температури над ліквідусом зумовлює закономірні зміни будови розплаву – зменшення кількості кластерних угруповань і збільшення частки активізованих атомів

в об'ємі розплаву. Рівень значень такої критичної температури розпорядкування T_r (інтервалу температур) для кожного складу сталі (сплаву) залежить від багатьох факторів. Він може характеризувати стабільність збереження, закладених у шихтовому металі, металогенетичних (спадкових) ознак і є важливим технологічним параметром цілеспрямованого використання проявів спадковості при перепадах сталей.

Виходячи з цього досліджено вплив температури нагріву розплаву над ліквідусом на структурну спадковість при перепаді шихтових заготовок сталі Р6М5 з різною вихідною литою структурою. Для формування певних вихідних структур шихтових заготовок розплав досліджуваної сталі після індукційної плавки розливали від стандартних температур у ливарні форми з різною тепловідвідною здатністю – земляні і мідні водоохолоджувачі. Це забезпечувало середню швидкість охолодження розплаву під час кристалізації (V) відповідно $2^\circ\text{C}/\text{с}$ (нормальне охолодження) і $350^\circ\text{C}/\text{с}$ (швидкісне охолодження).

Наступні перепади шихтових заготовок здійснювали в алундових тиглях з вагою розплаву до 400 г за різних температур перегріву над ліквідусом. Для сталі Р6М5 температура ліквідусу $T = 1430^\circ\text{C}$. Експерименти по перепаду шихтових заготовок сталі з різною вихідною структурою здійснювали при температурах нагріву розплаву 1460, 1500, 1540, 1620°C . Наступне охолодження розплаву під час кристалізації відбувалось за нормальних умов охолодження в тиглі на повітрі ($V_{\text{ox}} = 2\text{--}5^\circ\text{C}/\text{с}$).

Вихідні структури досліджуваної сталі суттєво відрізняються за дисперсністю залежно від температурно – часових умов (V) кристалізації. Так як розмір зерна сталі Р6М5 при литті в землю знаходиться в межах 6–7 номера, при литті в мідний водоохолоджувач копія відповідно в межах 9–10 номера згідно ГОСТ 5639–82.

Відомо, що температурно – часові умови кристалізації сталей суттєво впливають на проходження ліквацийних процесів у зв'язку з різною розчинністю хімічних елементів у розплав і твердому металі [15,16,17]. Наявність неоднорідності хімічного складу і, відповідно, фазово – структурного стану металу зумовлює зниження механічних властивостей. Тому підвищення хімічної і структурної однорідності виливків є однією з актуальних проблем ливарного виробництва. Інтенсивне охолодження сталі під час кристалізації і наступного охолодження виливка дозволяє знизити прояви лікваций, перевести у твердий розчин значну кількість вуглецю і легувальних елементів.

На прикладі сталі Р6М5 встановлено, що ступінь легуваності твердого розчину основними легувальними елементами і рівномірність їх розподілу в структурах нормально і швидкоохолодженої сталі, свідчить на користь інтенсивного тепловідбору при кристалізації. За умов повільного охолодження

розплаву при кристалізації шихтової заготовки спостерігається підвищення концентрації вольфраму, молібдену, хрому в міждендритних ділянках литого металу, збільшення розмірів евтектичних утворень, і вмісту в них основних карбідоутворюючих елементів.

За умов швидкісного охолодження також змінюється співвідношення площини структур сталі з мінімальним, середнім та максимальним вмістом легувальних елементів. Суттєво зростає площа із середнім вмістом легувальних елементів (понад 55 %) за рахунок відповідного зменшення площі ділянок структури з мінімальним і максимальним їх вмістом, що пов'язано з послабленням процесу лікваций.

Наступні перепади шихтових заготовок сталі Р6М5 швидкісного охолодження від зазначених вище температур перегріву розплаву над ліквідусом показали, що в певному інтервалі температур в розплаві сталей зберігається ближній порядок, що відповідає дисперсній структурі сталі вихідних шихтових заготовок.

Металографічно підтверджено, що в межах експерименту такою критичною температурою розплаву для сталі Р6М5 є 1500°C .

Розмір зерна кристалітів за таких умов перегріву розплаву в інтервалі $1460\text{--}1500^\circ\text{C}$ після перепаду змінюється незначно і відповідає номеру 8. Тобто дисперсність і однорідність вихідної швидкоохолодженої структури сталі успадковується при перепаді в інтервалі докритичних температур T_r . Підвищення ж температури розплаву вище вказаного інтервалу температур T_r зумовлює процес докорінної структурної перебудови розплавів сталей, перехід їх в більш рівноважний стан і втрату в певній мірі спадкових ознак вихідної шихтової заготовки швидкоохолодженої сталі.

Це підтверджується також закономірною зміною характеристик лікваций залежно від температури розплаву при перепадах сталі. Розподіл основних легувальних елементів (W, Cr, Mo) свідчить про суттєве зростання проявів лікваций вище температури розплаву 1500°C . В інтервалі температур $1460\text{--}1500^\circ\text{C}$ переважають ділянки структури з середнім вмістом легувальних елементів, а при більш високих температурах розплаву – ділянки із значним градієнтом зміни концентрації основних легувальних елементів.

При цьому значно підсилюються прояви лікваций щодо максимального вмісту елементів (до 15–18 %) в міжкристалічних ділянках карбідної евтектики.

Відповідно до цього середній вміст елементів в металевій матриці сталі закономірно зменшується, найбільш суттєво при перегріві розплаву вище температури 1500°C .

Таким чином показано, що при кристалізації розплаву від температур перегріву нижче температури рівноважної мікронеоднорідності розплаву T_r зберігається вплив вихідної структури шихти, при кристалізації ж від температур перегріву

вище T_r за відповідної швидкості охолодження розплаву існує можливість формування нової литої структури.

Це відкриває можливості цілеспрямованого керування структурою литих виробів, виходячи з доцільності збереження позитивних або усунення негативних металогенетичних (спадкових) ознак при використанні вторинних шихтових матеріалів або спеціальної шихти з підготовленою структурою.

Для кожного з легувальних елементів побудовано графіки залежності площі від їх концентрації та температури переплаву.

Апроксимація поліномом другого ступеня залежностей площі від їх концентрації та температури переплаву дозволила отримати математичні моделі з перевіркою достовірності апроксимації (R^2).

Ванадій:

Мінімальна площа

$$y = -2.95 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.1825 \cdot x - 160.47; \quad R^2 = 0.9289$$

Середня площа

$$y = -80 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 2.21 \cdot x - 1578.55; \quad R^2 = 0.9977$$

Максимальна площа

$$y = -40 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 1.14 \cdot x + 878.89; \quad R^2 = 0.9856$$

Молибден

Мінімальна площа

$$y = 10^{-4} \cdot x^2 - 0.35 \cdot x + 234.53; \quad R^2 = 0.9695$$

Середня площа

$$y = 30 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 1.08 \cdot x + 983.29; \quad R^2 = 0.9745$$

Максимальна площа

$$y = -50 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 1.55 \cdot x - 1214.99; \quad R^2 = 0.9569$$

Хром

Мінімальна площа

$$y = -20 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.7745 \cdot x - 593.12; \quad R^2 = 0.9988$$

Середня площа

$$y = 10^{-4} \cdot x^2 - 0.39 \cdot x + 391.19; \quad R^2 = 0.9861$$

Максимальна площа

$$y = -7.75 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.26 \cdot x - 203.71; \quad R^2 = 0.9988$$

Отриманні данні дають можливість отримати значення вихідного параметра при конкретно заданому вхідному параметру у рамках експерименту та навпаки. Також є можливість робити прогноз відносно розподілу легувальних елементів в інших температурних границях, поза даним експериментом.

Обговорення результатів

Переваги ливарних технологій ґрунтуються на можливості швидкого отримання виливків різних розмірів та ваги, наближених до форми готових виробів, низької собівартості їх виготовлення, зменшення витрат металу при механічній обробці.

Умови твердіння мають вирішальне значення для формування мікроструктури і рівня властивостей литих виробів, визначають їх якість. Змінюючи умови кристалізації можна цілеспрямовано впливати на характеристики первинної литої структури сталей, а також на структуру і властивості виливків після зміцнюючої термічної обробки.

Таким чином показано, що при кристалізації розплаву від температур перегріву нижче температури рівноважної мікронеоднорідності розплаву T_r зберігається вплив вихідної структури шихти, при кристалізації ж від температур перегріву вище T_r за відповідної швидкості охолодження розплаву існує можливість формування нової литої структури.

Це відкриває можливості цілеспрямованого керування структурою литих виробів, виходячи з доцільності збереження позитивних або усунення негативних металогенетичних (спадкових) ознак при використанні вторинних шихтових матеріалів або спеціальної шихти з підготовленою структурою.

Підвищення швидкості охолодження до $350\text{--}800^\circ\text{C}/\text{с}$ забезпечує підвищення характеристик фізико-механічних властивостей литих виробів до рівня властивостей деформованого металу. Це відкриває додаткові можливості керування структуроутворенням виробів з литих сталей і значного підвищення їх механічних і експлуатаційних характеристик.

Висновки

1. Аналітичний огляд джерел інформації дозволив зробити висновок, що обрана сталь Р6М5 має поширене використання при обробці конструкційних матеріалів з міцністю менше $600\text{--}700$ МПа (кольорові метали, наприклад, сплави на алюмінієвій основі; відпалені сталі; сірі чавуни та ін.).

2. Для дослідження структури були встановлені засоби виготовлення мікрошліфів, вибрано обладнання для проведення аналізу.

3. В ході дослідження основних чинників, які впливають на утворення структури та розподіл легувальних елементів було встановлено, що переплави показали, що в певному інтервалі температур в розплаві сталей зберігається ближній порядок, що відповідає дисперсній структурі сталі вихідних шихтових заготовок. Дисперсність і однорідність вихідної швидкоохолодженої структури сталі успадковується при переплаві в інтервалі докритичних температур T_r . Підвищення ж температури розплаву вище вказаного інтервалу температур T_r зумовлює процес докорінної структурної перебудови розплавів сталей, перехід їх в більш рівноважний стан і втрату в певній мірі спадкових ознак вихідної шихтової заготовки швидкоохолодженої сталі.

4. Для експерименту було обрано швидкість охолодження 2 та $350^\circ\text{C}/\text{с}$ що відповідає швидкості охолодження в піщаній формі та в кокіль відповідно, а температуру переплаву змінювали від 1460°C до 1620°C , ці дві границі знаходяться по різні сторони від критичної температури.

5. В ході математичного аналізу даних були отримані математичні рівняння, які дозволяють отримати значення вихідного параметра при

конкретно заданому вхідному параметру у рамках експерименту та навпаки, а також зробити прогноз відносно стану структури відносно досліджуваних параметрів.

Список літератури

1. **Chaus, A. S.** Wear resistance of high-speed steels and cutting performance of tool related to structural factors / **A. S. Chaus, M. Hudáková** // *Wear*. – 2009. – V. 267. – №. 5-8. – P. 1051-1055. – doi: 10.1016/j.wear.2008.12.101.
2. **Ghomashchi, M. R.** Microstructural changes in as-cast M2 grade high speed steel during high temperature treatment / **M. R. Ghomashchi, C. M. Sellars** // *Metal Science*. – 2013. – V. 18. – №. 1. – P. 44-48. – doi:10.1179/030634584790420339.
3. **Fu, H.** A Study of Modification of M2 Cast High Speed Steel, / **H. Fu, J. Xing** // *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. – 2004. – V. 35. – №. 9. – P. 578-581. – doi:10.1002/mawe.200300697.
4. **Jun, Y.** Effect of Rare Earth on Microstructures and Properties of High Speed Steel With High Carbon Content / **Y. Jun, Z. De-ning, L. Xiao-ming, D. Zhong-ze** // *Journal of Iron and Steel Research, International*. – 2007. – V. 14. – №. 1. – P. 47-52. – doi:10.1016/S1006-706X(07)60011-9.
5. **Zhou, X. F.** Morphology and microstructure of M2C carbide formed at different cooling rates in AISI M2 high speed steel / **X. F. Zhou, F. Fang, F. LiJ, Q. Jiang** // *Journal of Materials Science*. – 2011. – V. 46. – №. 5. – P. 1196-1202. – doi:10.1007/s10853-010-4895-4.
6. **Poulachon, G.** The influence of the microstructure of hardened tool steel workpiece on the wear of PCBN cutting tools / **G. Poulachon, B. P. Bandyopadhyay, I. S. Jawahir, S. Pheulpin** // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2003. – V. 43. – №. 2. – P. 139-144. – doi:10.1016/S0890-6955(02)00170-0.
7. **Shizhong, W.** Effects of carbon on microstructures and properties of high vanadium high-speed steel / **W. Shizhong, Z. Jinhua, X. Liujie, L. Rui** // *Materials & Design*. – 2006. – V. 27. – №. 1. – P. 58-63. – doi:10.1016/j.matdes.2004.09.027.
8. **Pryds, N. H.** The effect of cooling rate on the microstructures formed during solidification of ferritic steel / **N. H. Pryds, X. Huang** // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2000. – V. 31. – №. 12. – P. 3155-3166. – doi:10.1007/s11661-000-0095-1.
9. **Nakada, N.** Inheritance of Dislocations and Crystallographic Texture during Martensitic Reversion into Austenite / **N. Nakada, R. Fukagawa, T. Tsuchiyama, S. Takaki, D. Ponge, D. Raabe** // *ISIJ International*. – 2013. – V. 53. – №. 7. – P. 1286-1288. – doi:10.2355/isijinternational.53.1286.
10. **Pan, H.** Preparation of High Silicon Electrical Steel Sheets with Strong {100} Recrystallization Texture by the Texture Inheritance of Initial Columnar Grains / **H. Pan, Z. Zhang, J. Xie** // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2016. – V. 47. – №. 5. – P. 2277-2285. – doi:10.1007/s11661-016-3371-4.
11. **Idan, A. F. I.** The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels / **A. F. I. Idan, O. Akimov, L. Golovko, O. Goncharuk, K. Kostyk** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 2. – №. 5 (80). – P. 69-73. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65455.

12. **Mohanad, M. K.** Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding / **M. K. Mohanad, V. Kostyk, D. Domin, K. Kostyk** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 2. – №. 5 (80). – P. 45-49. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65454.
13. **Kostyk, K.** Development of innovative method of steel surface hardening by a combined chemical-thermal treatment / **K. Kostyk** // *EUREKA: Physics and Engineering*. – 2016. – №. 6. – P. 46-52. – doi:10.21303/2461-4262.2016.00220.
14. **Dhafer, W. A.-R.** The choice of the optimal temperature and time parameters of gas nitriding of steel / **W. A.-R. Dhafer, V. Kostyk, K. Kostyk, A. Glotka, M. Chechel** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 3. – №. 5 (81). – P. 44-50. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.69809.
15. **Kostyk, K.** Surface hardening of tool from steel 38Cr2MoAl complex chemical-heat treatment / **K. Kostyk** // *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New Solutions in Modern Technologies*. – 2015. – №. 39 (1148). – P. 26-33. – doi:10.15587/1729-4061.2017.100014.
16. **Акимов О. В.** Сплавы с эффектом памяти формы. История появления и развития, физика процесса их уникальных свойств / **О. В. Акимов, С. М. Нури Ахмед** // *Вісник Національного технічного університету*. – 2015. – №. 14. – С. 42-49.
17. **Акимов О. В.** Влияние термической обработки на свойства нового сплава на основе железа / **О. В. Акимов, С. М. Нури Ахмед** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 6. – №. 11 (78). – С. 35-40. – doi:10.15587/1729-4061.2015.56370.

Bibliography (transliterated)

1. **Chaus, A. S., Hudáková, M.** Wear resistance of high-speed steels and cutting performance of tool related to structural factors. *Wear*, 2009, **5-8**, 1051-1055. – doi:10.1016/j.wear.2008.12.101.
2. **Ghomashchi, M. R., Sellars, C. M.** Microstructural changes in as-cast M2 grade high speed steel during high temperature treatment. *Metal Science*, 2013, **1**, 44-48. – doi:10.1179/030634584790420339.
3. **Fu, H., Xing, J.** A Study of Modification of M2 Cast High Speed Steel. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2004, **9**, 578-581. – doi: 10.1002/mawe.200300697.
4. **Jun, Y., De-ning, Z., Xiao-ming, L., Zhong-ze, D.** Effect of rare earth on microstructures and properties of high speed steel with high carbon content. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2007, **1**, 47-52. – doi:10.1016/S1006-706X(07)60011-9.
5. **Zhou, X. F., Fang, F., LiJ, F., Jiang, Q.** Morphology and microstructure of M2C carbide formed at different cooling rates in AISI M2 high speed steel. *Journal of Materials Science*, 2011, **5**, 1196-1202. – doi:10.1007/s10853-010-4895-4.
6. **Poulachon, G., Bandyopadhyay, B. P., Jawahir, I. S., Pheulpin, S.** The influence of the microstructure of hardened tool steel workpiece on the wear of PCBN cutting tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2003, **2**, 139-144. – doi:10.1016/S0890-6955(02)00170-0.
7. **Shizhong, W., Jinhua, Z., Liujie, X., Rui, L.** Effects of carbon on microstructures and properties of high

- vanadium high-speed steel. *Materials & Design*, 2006, **1**, 58-63. – doi:10.1016/j.matdes.2004.09.027.
8. **Pryds, N. H., Huang, X.** The effect of cooling rate on the microstructures formed during solidification of ferritic steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2000, **12**, 3155-3166. – doi:10.1007/s11661-000-0095-1.
9. **Nakada, N., Fukagawa, R., Tsuchiyama, T., Takaki, S., Ponge, D., Raabe, D.** Inheritance of Dislocations and Crystallographic Texture during Martensitic Reversion into Austenite. *ISIJ International*, 2013, **7**, 1286-1288. – doi:10.2355/isijinternational.53.1286.
10. **Pan, H., Zhang, Z., Xie, J.** Preparation of High Silicon Electrical Steel Sheets with Strong {100} Recrystallization Texture by the Texture Inheritance of Initial Columnar Grains. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2016, **5**, 2277-2285. – doi:10.1007/s11661-016-3371-4.
11. **Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K.** The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5** (80), 69-73. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65455.
12. **Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., Kostyk, K.** Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5** (80), 45-49. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65454.
13. **Kostyk, K.** Development of innovative method of steel surface hardening by a combined chemical-thermal treatment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2016, **6**, 46-52. – doi:10.21303/2461-4262.2016.00220.
14. **Dhafer, W. A.-R., Kostyk, V., Kostyk, K., Glotka, A., Chechel, M.** The choice of the optimal temperature and time parameters of gas nitriding of steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5** (81), 44-50. – doi:10.15587/1729-4061.2016.69809.
15. **Kostyk, K.** Surface hardening of tool from steel 38Cr2MoAl complex chemical-heat treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, **39** (1148), 26-33. – doi:10.15587/1729-4061.2017.100014.
16. **Акимов, О. В., Нури Ахмед, С. М.,** Сплавы с эффектом памяти формы. История появления и развития, физика процесса их уникальных свойств. *Вісник Національного технічного університету*, 2015, **14**, 42-49.
17. **Акимов, О. В., Нури Ахмед, С. М.,** Влияние термической обработки на свойства нового сплава на основе железа. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2015, **11** (78), 35-40. – doi:10.15587/1729-4061.2015.56370.

Сведения об авторах (About authors)

Мариненко Дмитро Віталійович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: prostooelementary@gmail.com.

Marynenko Dmytro – National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, Kharkiv city, Ukraine; e-mail: prostooelementary@gmail.com.

Кравцова Наталія Вікторівна – инженер 1 категории кафедры "Механика сплошных сред и сопротивление материалов", Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина.

Kravtsova Nataliia – the engineer of 1 category of Department of "continuum Mechanics and mechanics of materials", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мариненко, Д. В. Дослідження впливу технологічних параметрів охолодження швидкоріжучої сталі на спадковість елементів структури / **Д. В. Мариненко, Н. В. Кравцова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 42-47. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.07.

Please cite this article as:

Marynenko, D., Kravtsova, N. Investigation of the effects of the technological parameters of cooling of fastening steel on the strength of the elements of the structure. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 42–47, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мариненко, Д. В. Дослідження впливу технологічних параметрів охолодження швидкоріжучої сталі на спадковість елементів структури / **Д. В. Мариненко, Н. В. Кравцова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 42-47. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.07.

АННОТАЦИЯ Целью работы является исследование литой структуры стали Р6М5, которая образуется при различных технологических факторах охлаждения. В ходе исследования основных факторов, которые влияют на образование структуры и распределение легирующих элементов было установлено, что в определенном интервале температур в расплаве сталей сохраняется ближний порядок, что соответствует дисперсной структуре стали исходных шихтовых заготовок. В ходе математического анализа данных были получены математические уравнения, которые позволяют получить значение выходного параметра при конкретно заданном входном параметру в рамках эксперимента и наоборот, а также сделать прогноз относительно состояния структуры относительно исследуемых параметров.

Ключевые слова: сталь; охлаждения; структура; наследственность; легирующие элементы.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 622.834:622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08

О КОЛЕБАНИЯХ БОКОВЫХ ПОРОД ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

С. В. ПОДКОПАЕВ, И. В. ИОРДАНОВ, Д. А. ЧЕПИГА*, Н. Н. ВЛАСЕНКО

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

* email: daria.chepiha@donntu.edu.ua

АННОТАЦИЯ В результате проведенных исследований было изучено влияние ударных нагрузок, в виде обрушений боковых пород, на состояние кровли разрабатываемого угольного пласта. Установлено, что при обрушении расслоившихся боковых пород в горную выработку и их соударении с породами непосредственной кровли, необходимо учитывать скорость и место соударения пород о балку, ее угловую скорость и амплитуду колебаний. Доказано, что применение податливых опор, в виде закладочного массива, способствует не только демпфированию колебаний балки – пород непосредственной кровли при проявлении динамических нагрузок, но и уменьшению ее угловой скорости после удара, что позволяет создать благоприятные условия для эффективного поддержания горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: горное давление; динамические нагрузки; ударный импульс; обвалы, закладка выработанного пространства.

REVISITING POSSIBILITY TO CROSS THE DISJUNCTIVE GEOLOGICAL FAULTS WITH UNDERGROUND GASIFIER

S. PODKOPAEV, I. IORDANOV, D. CHEPIGA*, N. VLASENKO

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

ABSTRACT Analytical studies were carried out to study the condition of the roof rocks of the developed coal seam under the action of dynamic loads in the form of collapses of exfoliated lateral rocks, with the placement of a lining massif or broad compliant bands in the developed space. The main provisions of classical mechanics, the theory of oscillations and mathematical analysis, the theory of elasticity, and the theory of impact were used. As a result of the conducted studies, the effect of impact loads, in the form of lateral rock collapse, on the condition of the roof of the developed coal seam, was studied. The rocks of the roof were presented in the form of a beam with a hinged fixed support and with a supple support, and the collapsed rocks-in the form of a block. When collapsing lateral rocks collapse into the mine workings and their collision with the rocks of the direct roof, it is necessary to take into account the speed and the place of rock collision on the beam, its angular velocity and the amplitude of the oscillations have been established. The use of compliant supports, in the form of a backfilling array, contributes not only to the damping of the beam oscillations - the rocks of the immediate roof under the manifestation of dynamic loads, but also to the reduction of its angular velocity after impact has been proved. This allows creating favorable conditions for effective maintenance of mine workings and safe working conditions for miners in difficult mining and geological conditions.

Key words: rock pressure; dynamic force; impact pulse; caving; goaf stowing.

Введение

Опыт работы шахт 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 возможному их завалу, а так же травматизму горнорабочих. В реальных условиях разработки угольных пластов, при отсутствии для расслоившихся пород кровли эффективного подпора со стороны выработанного пространства, опасность возникновения аварийных ситуаций от обвалов и обрушений возрастает. Подработанные и расслоившиеся боковые породы, оседающие на хаотически обрушенные слои непосредственной кровли, представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной

длины. Причем породы основной кровли, представленные в виде породной консоли, одновременно изгибаются и неконтролируемо обрушаются позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку в окрестности поддерживаемых и проводимых горных выработок.

Детальный анализ аварий, произошедших в период 2000-2016 гг. на угольных шахтах Украины, позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях основными причинами травматизма от обвалов и обрушений пород в углепородном массиве, является недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических решений. Очевидно, изучение сущности обрушений, их влияние на состояние боковых пород и разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости горных выработок, будет

способствовать созданию условий безопасного ведения горных работ в условиях глубоких шахт.

Анализ исследований и публикаций

Изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине [1] позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива осадочных горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при объемном сжатии, а так же способность деформироваться и разрушаться при разгрузке.

Как показало изучение процесса сдвижений и деформаций боковых пород [2], в зависимости от горно-геологических условий, зона расслоения боковых пород составляет по нормали к напластованию в кровлю и почву разрабатываемого пласта 4-8м. Негативные последствия такой геомеханической ситуации могут проявляться в том, что расслоившиеся породы внезапно обрушаются по всей длине очистного забоя разрабатываемого пласта и способствуют проявлению динамических нагрузок. На динамику и параметры образования таких зон, в значительной степени влияет способ управления кровлей в лаве и охраны горных выработок.

Характерной особенностью динамических нагрузок является то, что в результате их воздействия на породы кровли, в последних возникают колебания. Меняющаяся по величине нагрузка, имеющая место при обрушениях боковых пород, если точка ее приложения перемещается, вызывает нестационарные колебания [3]. Следует отметить, что процесс соударения твердых тел только при относительно малых скоростях сопровождается упругими деформациями материала. В связи с этим, проблема количественного описания характеристик процесса и прогноза его последствий сводится к начально-краевой задаче динамической теории упругости. Во многих иных случаях, представляющих не только научный, но и практический интерес, скорости соударения таковы, что материал испытывает значительные необратимые деформации и разрушается. В результате этого, задача количественного описания значительно осложняется и для ее решения требуются сведения о свойствах материала при его неупругом деформировании и разрушении, а с другой – модельные построения для адекватной ее математической формулировки [4,18,19]. Именно поэтому проблема соударения твердых тел представляет собой целое научно-техническое направление исследований, в т.ч. и для повышения безопасности труда на угольных шахтах, где имеют место обрушения расслоившейся породной толщи. Очевидно, понятие устойчивости боковых пород и горных выработок, тесно связано с учением о

колебаниях, имеющих место при проявлении динамических (ударных) нагрузок.

В динамических задачах, в частности в задачах о колебаниях, положение точек системы изменяется с течением времени и установленные координаты являются функциями времени [5,6]. Основная задача динамического исследования состоит в нахождении этих функций, т.е. в определении закона движения рассматриваемой системы.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ [1,7] ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие сдвижений горных пород в окрестности выработок и создает зоны устойчивых пород впереди и позади очистного забоя. По всей видимости, закладочный массив или податливые опоры, на которые опираются породы кровли, устраняют негативные явления, проявляющиеся в углепородном массиве при обрушении пород или посадке основной кровли.

Постановка задачи

С целью изучения состояния пород кровли разрабатываемого угольного пласта при действии на них динамических нагрузок в виде обрушений расслоившихся боковых пород, с размещением в выработанном пространстве закладочного массива или широких податливых полос, нами были проведены аналитические исследования с использованием основных положений классической механики, теории колебаний и математического анализа, теории упругости и теории удара [6,8-20].

Изложение материала и результаты

В результате проведенных исследований было изучено и установлено влияние ударных нагрузок на состояние пород кровли разрабатываемого пласта при изгибных колебаниях балок, имеющих неподвижную шарнирную опору и податливую опору.

Рассмотрим породы кровли разрабатываемого пласта в виде балки длиной l , (м) и массой m_2 , (кг) (рис.1). В результате обрушения боковых пород на балку – породы непосредственной кровли падает блок массой m_1 , (кг) со скоростью v , (м/с). Место соударения обрушившихся пород о балку относительно опор А и В, определяется расстоянием a , (м) и b , (м). Обрушившиеся породы, представленные в виде блока, будем считать материальной точкой. Балка в плоскости вращается вокруг шарнира в точке А. Исходя из этого, система имеет два независимых виртуальных перемещения и определяется двумя обобщенными координатами q_1 и q_2 , которые определяют ее положение в любой момент времени. Тогда, для решения задачи, позволяющей определить устойчивость данной системы, рассмотрим балку с неподвижной шарнирной опорой (рис.1,а) и с податливой опорой, имеющей жесткость C (рис.1,б).

В случае, когда балка на свободном конце (опора В) имеет неподвижную шарнирную опору (рис.1,а), уравнение Д'Аламбера [10-12] в виде моментов импульсов относительно опоры А и опоры В имеет вид:

$$\begin{cases} \sum M_{A_i} = S_B \cdot l - S' \cdot a = 0, \\ \sum M_{B_i} = -S_A \cdot l + S' \cdot b = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из системы уравнений (1) определим ударные импульсы при обрушении боковых пород, т.е.

$$S_A = \frac{b}{l} (1+k) \cdot v \cdot m_1, \quad (2)$$

$$S_B = \frac{a}{l} (1+k) \cdot v \cdot m_1, \quad (3)$$

где k – коэффициент восстановления при ударе.

На рис.2 а,б представлена корреляция величины ударных импульсов балки – пород непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта от скорости соударения обрушившихся пород, с учетом различных значений коэффициента восстановления при ударе. При этом учитывалось следующее положение: в случае, когда $b=0,2l$, удар происходит ближе к опоре В, при $b=0,9l$, удар имеет место ближе к опоре А. Если $a=0,2l$, событие происходит ближе к опоре А, при $a=0,9l$ – ближе к опоре В. С учетом коэффициента восстановления (k) в исследованиях рассматривали удар, близкий к упругому, когда $k=0,7$ и, близкий к неупругому, когда $k=0,2$.

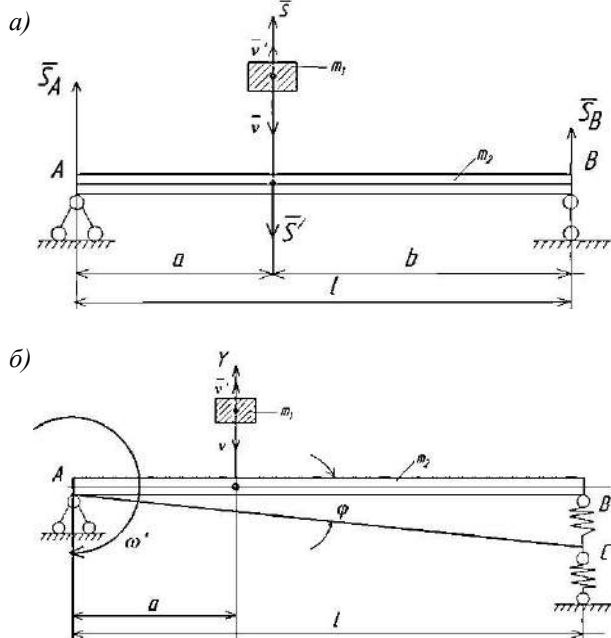


Рис. 1 – Расчетная схема балки – непосредственной кровли при обрушении боковых пород: а) с неподвижной шарнирной опорой; б) с податливой опорой.

Установлено, что при увеличении скорости соударения обрушившихся пород о балку – породы непосредственной кровли, величина ударного импульса возрастает. Максимальные значения этой величины отмечены при ударе, близком к упругому, когда место соударения обрушившихся пород с балкой ближе к ее опорам (рис. 2,а,б, зависимости 1,2). Такая же закономерность прослеживается и в случае, когда рассматривается удар, близкий к неупругому. Но при этом величина ударного импульса у опор А и В меньше на 25-30% (рис. 2,а,б, зависимости 3,4).

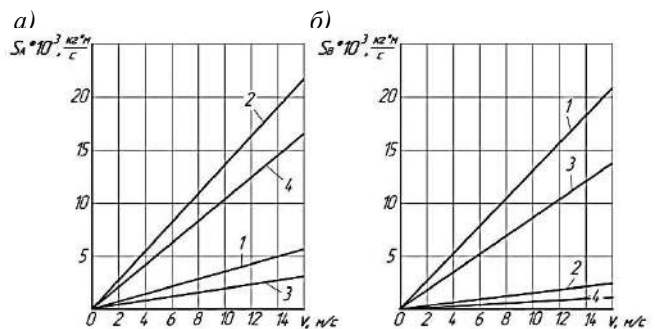


Рис. 2 – Изменение величины ударного импульса S (кг·м/с) балки – непосредственной кровли от скорости соударения v , (м/с) обрушившихся пород, с учетом места соударения при различных значениях коэффициента восстановления k : а) в опоре А, при $k=0,7$ 1 – $b=0,2l$, 2 – $b=0,9l$, при $k=0,2$ 3 – $b=0,2l$, 4 – $b=0,9l$; б) в опоре В, при $k=0,7$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, при $k=0,2$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$

Очевидно для того, чтобы уменьшить вредное воздействие удара, необходимо разместить на свободном конце балки податливую опору (рис.1,б). При этом удар следует считать близким к неупругому.

Для рассматриваемой расчетной схемы такой балки (рис. 1, б) используем принцип Д'Аламбера [10,12] и обозначим абсолютные обобщенные координаты как $q_1=y$, $q_2=\varphi$, а обобщенные скорости как $\dot{q}_1=\dot{y}$, $\dot{q}_2=\dot{\varphi}$.

Кинетическая энергия материальной точки и балки определяется по выражению [10]

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{y}^2 + \frac{1}{2} \frac{m_2 l^2}{3} \dot{\varphi}^2, \quad (4)$$

с учетом того, что координата y положительная, при перемещении материальной точки вверх от балки, а угловая координата φ поворачивается по ходу часовой стрелки.

Определим частные производные кинетической энергии по обобщенным скоростям как

$$\frac{dT}{dy} = m_1 \dot{y}; \quad \frac{dT}{d\varphi} = m_2 \dot{\varphi} \frac{l^2}{3}; \quad (5)$$

В начале удара балка находится в состоянии статического покоя. При этом ее начальная угловая скорость равна нулю. Обозначим через v' (м/с) скорость тела после удара, а через w' (1/с) угловую скорость балки в конце удара. Тогда, приращение частных производных кинетической энергии системы по обобщенным скоростям имеют вид

$$\Delta \left(\frac{dT}{dy} \right) = m_1 (v' + v), \quad (6)$$

$$\Delta \left(\frac{dT}{d\varphi} \right) = \frac{m_2 l^2}{3} \cdot w'. \quad (7)$$

Для того чтобы характеризовать виртуальную работу рассматриваемой системы на соответствующее виртуальное перемещение, определим ее обобщенные импульсы как

$$Q_y^{y\partial} = \frac{\delta A}{\delta y} \Big|_{\delta y=0} = \frac{S \delta y}{\delta y} = S,$$

$$Q_\varphi^{y\partial} = \frac{\delta A}{\delta \varphi} \Big|_{\delta \varphi=0} = \frac{S \delta \varphi}{\delta \varphi} = S \cdot a. \quad (8)$$

Используя уравнение Лагранжа [10-12], имеем

$$\begin{cases} m_1 (v' + v) = S, \\ \frac{m_2 l^2}{3} \cdot w' = S \cdot a. \end{cases} \quad (9)$$

Эти уравнения являются линейными и отражают действия соударяющихся тел после удара.

В связи с тем, что удар о балку происходит в результате внезапного обрушения пород, их скорость при соударении определяет последующее состояние и движение последней. Связь между скоростями, в этом случае, можно определить с помощью коэффициента восстановления (k) как

$$k = \frac{v' + w' a}{v}, \quad (10)$$

а зависимость скоростей до и после удара пород о балку по равенству

$$kv = v' + w' a. \quad (11)$$

На основании вышеизложенного, получим систему линейных уравнений в виде

$$\begin{cases} v' + w' a = kv, \\ v' - \frac{m_2 l^2 w'}{3 m_1 a} = -v. \end{cases} \quad (12)$$

из которой определим скорость материальной точки после удара

$$v' = \left(\frac{km_2 l^2 - 3m_1 a^2}{m_2 l^2 + 3m_1 a^2} \right) \cdot v, \quad (13)$$

и угловую скорость балки после удара

$$w' = \left(\frac{3m_1 a(1+k)}{m_2 l^2 + 3m_1 a^2} \right) \cdot v, \quad (14)$$

На рис.3 представлена корреляция угловой скорости балки w' , (1/с) после удара обрушившихся пород, с учетом скорости соударения v , (м/с) твердых тел.

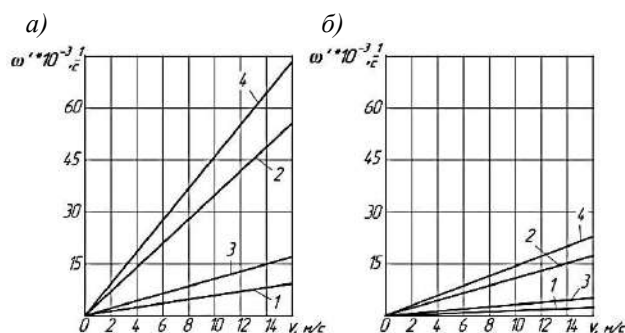


Рис. 3 - Изменение угловой скорости балки w' , (1/с) от скорости соударения обрушившихся пород о балку: а) при длине балки $l=20$ м, когда $k=0,2$ 1 - $a=0,2l$, 2 - $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 - $a=0,2l$, 4 - $a=0,9l$; б) при длине балки $l=60$ м, когда $k=0,2$ 1 - $a=0,2l$, 2 - $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 - $a=0,2l$, 4 - $a=0,9l$.

Установлено, что угловая скорость балки, длина которой $l=20$ м, после удара растет по мере увеличения скорости соударения твердых тел (рис.3, а). Отмечен рост исследуемой величины при увеличении длины балки до $l=60$ м (рис.3,б). Максимальные значения величины w' имеют место при ударе, близком к упругому и минимальные, когда рассматриваемый удар, близкий к неупругому. В этом случае, свободный конец балки опирается на податливую опору. Увеличение длины балки в 3 раза, с $l=20$ м до $l=60$ м, снижает величину ее угловой скорости после удара в 2,5-2,6 раза (рис. 3 а,б). Очевидно, проявление больших скоростей соударения более $v=15-20$ м/с, в результате обрушения пород, может существенно изменить характер разрушений пород кровли и ухудшить состояние горных выработок.

Для того чтобы определить частоту и период колебаний рассматриваемой балки считаем, что угол ее поворота φ является обобщенный координатой. Тогда, уравнение движения балки имеет вид [15,17]

$$\varphi = a_{\varphi} \sin(pt + \alpha), \quad (15)$$

где a_{φ} – амплитуда колебаний, размерность которой совпадает с размерностью определяемой физической величины;

α – начальная фаза колебаний.

Эти величины зависят от начальных условий рассматриваемой системы. Для того чтобы установить вид выражения для их определения, вначале найдем производную угловой функции по времени, т.е.

$$\dot{\varphi} = a_{\varphi} p \cos(pt + \alpha), \quad (16)$$

С учетом начальных условий

$$0 = a_{\varphi} \sin \alpha \quad (17)$$

и

$$\dot{w}' = a_{\varphi} p \cos \alpha, \quad (18)$$

Отсюда следует, что $\alpha = 0$ и

$$a_{\varphi} = \frac{w'}{p}. \quad (19)$$

После преобразований, уравнение движения системы имеет вид

$$\varphi = \frac{w'}{p} \sin(pt + \alpha) = \frac{w'}{p} \sin pt. \quad (20)$$

где p – круговая частота колебаний, (1/с).

Круговую частоту колебаний рассматриваемой системы (рис.1,б) можно определить как в [17]

$$p = \sqrt{\frac{3C}{m_2}}, \quad (21)$$

а период ее колебаний как

$$T = \frac{2\pi}{p}. \quad (22)$$

На рис. 4 представлены зависимости, отражающие изменение амплитуды колебаний балки a_{φ} от скорости соударения обрушившихся пород при ударе, близком к упругому ($k=0,7$) и неупругому ($k=0,2$) с учетом изменения ее длины l , (м). Нами установлено, что для балок длина которых равна $l=20$ м, с увеличением скорости соударения твердых тел, амплитуда колебаний увеличивается (рис. 4, а).

Максимальные значения этой величины (зависимость 4, рис. 4а,б) отмечены при ударе близком к упругому, когда $k=0,7$, ближе к опоре В. При ударе близком к неупругому, когда $k=0,2$, величина амплитуды колебаний вблизи опоры В уменьшается на 30% (рис. 4,а, зависимости 2 и 4). Следует отметить, что с увеличением длины балки в 3

раза, амплитуда ее колебаний, при проявлении динамических нагрузок, уменьшается на 28-30%. Минимальные значения исследуемой величины имеют место при ударе, близком к неупругому, когда на свободном конце балки расположена податливая опора (рис. 4а,б).

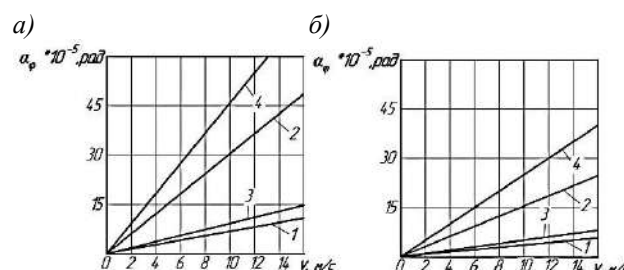


Рис. 4 - Изменение амплитуды колебаний балки a_{φ} , (рад) от скорости соударения обрушившихся пород с балкой v , (м/с): а) при длине балки $l=20$ м, когда $k=0,2$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$; б) при длине балки $l=60$ м, когда $k=0,2$ 1 – $a=0,2l$, 2 – $a=0,9l$, когда $k=0,7$ 3 – $a=0,2l$, 4 – $a=0,9l$.

Нами также установлено уменьшение на 30% круговой частоты балки и увеличение в 1,8-2 раза периода ее колебаний с увеличением длины последней в 3 раза (рис. 5).

Очевидно, что применение податливых опор, представленных в виде закладочного массива, способствует демпфированию колебаний балки – пород непосредственной кровли и уменьшению ее угловой скорости после удара. При этом необходимо учитывать место и скорости соударения твердых тел при обрушении расслоившихся боковых пород в горную выработку, которые при определенных условиях могут существенно изменить механические характеристики пород кровли разрабатываемого угольного пласта и повлиять на природу обрушений.

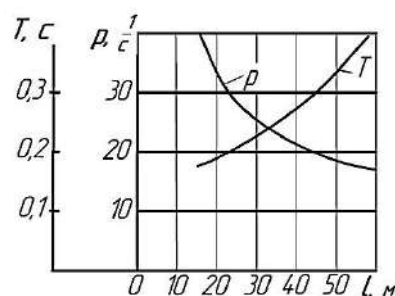


Рис. 5 - Изменение круговой частоты p , (1/с) и периода колебаний T , (с) балки от ее длины l , (м)

Таким образом, в результате проведенных исследований, установлено, что при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, когда опасность возникновения аварийных ситуаций исходит от обвалов и обрушений пород кровли, использование податливых опор в виде

закладочного массива способствует устранению негативных проявлений, при которых возможны завалы горных выработок. При традиционных способах управления горным давлением (удержанием кровли на кострах, полное обрушение кровли) в очистном забое создаются условия, при которых в результате зависания породной консоли на больших площадях возможны ситуации близкие к аварийным, когда нависающие породы подработанной толщи, не имея достаточного подпора со стороны выработанного пространства, внезапно обрушаются. Наличие податливой опоры, в виде закладочного массива, уменьшает негативные действия динамических нагрузок, проявляющихся в результате обрушений и внезапных посадок пород основной кровли. Использование закладки выработанного пространства, как способа управления горным давлением в очистном забое позволит обеспечить не только устойчивость боковых пород и горных выработок, но и уменьшить вероятность обрушений расслоившейся породной толщи в результате ведения горных работ, а, следовательно, уменьшать травматизм горнорабочих по исследуемому опасному производственному фактору.

Вывод

При разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, во избежание аварийных ситуаций с учетом динамики боковых пород, следует ориентироваться на способ управления горным давлением – закладкой выработанного пространства. Это позволит исключить проявление негативных последствий, имеющих место в результате внезапных обрушений и посадок пород кровли разрабатываемого угольного пласта в условиях глубоких шахт.

Список литературы:

1. **Николин, В. И.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / **В.И. Николин, С.В. Подкопаев, А.В. Агафонов, Н.В. Малеев.** – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 232 с.
2. **Викторов, С. Д.** Сдвигение и разрушение горных пород / **С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров.** – М.: Наука, 2005. – 277 с.
3. **Agarwal, R.P.** Discrete Oscillation Theory / **R.P. Agarwal, M. Bohner, S.R. Grace, P. O'Regan.** – Hindwai Publishing Corporation, 2005. – 961 p.
4. **Зукас, Дж. А.** Динамика удара / **Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт, Л. Б. Грешук и др.** – М.: Мир, 1985. – 296с.
5. **Richard, F. E.** Comparison of footing vibration with theory / **F. E. Richard, R. V. Whitman** – *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1967. - №93,6 – p.143-168.
6. **Pippard, A. B.** The Physics of Vibration / **A. B. Pippard.** – Cambridge University Press, 2007. – 656 p.
7. **Жуков, В. Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых угольных пластов / **В. Е. Жуков** // *Уголь Украины.* – 2001. - №7. – с. 6-10.
8. **Ehrler, O.** Nonlinear parameters of vibrating foundation / **O. Ehrler** // *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1968. - №94,6 – p.1091-1214.
9. **Novak, M.** Prediction of footing vibrations / **M. Novak** // *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE.* – 1970. - №96,3 – p. 837-861.
10. **Пирс, Л. А.** Аналитическая механика / **Л. А. Пирс.** – М.: Наука, 1971. – 636с.
11. **Арнольд, В. И.** Математические методы классической механики / **В. И. Арнольд.** – М.: Наука, 1989. – 472с.
12. **Ginsberg, J.** Engineering Dynamics / **J. Ginsberg** – Cambridge University Press, 2008. – 726p.
13. **Gross, D.** Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics 3 / **D. Gross, W. Ehlers, P. Wriggers, J. Scroder, R. Muller** // Springer – Verlag, Berlin, Heigelberg, 2017. – 249p.
14. **Bottega, W. I.** Engineering Vibrations / **W.I. Bottega.** CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. – 727 p.
15. **Sinha, A.** Vibration of Mechanical Sitems / **A. Sinha.** Cambridge University Press, 2010. – 324p.
16. **Ильин, М. М.** Теория колебаний / **М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов.** – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 271 с.
17. **Тимошенко, С. П.** Колебания в инженерном деле / **С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Унвер.** – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
18. **Лапшин, В. В.** Нелинейная упругопластичная модель коллинеарного удара / **В. В. Лапшин, Е. А. Юдин** // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки.* – 2016. - №1. – с.90-99. – doi:10.18698/1812-3368-2016-1-90-99.
19. **Иванов, А. П.** Задача об ударе твердых тел / **А. П. Иванов** // *Соросовский образовательный журнал.* – 2001. – Т.7. - №5. – с. 122-127.
20. **Kelly, S. G.** Advanced Vibration Analysis / **S. G. Kelly** – CRCPress, Taylor@Francis Group. – 2007. – 650.

Bibliography: (transliterated)

1. **Nikolin, V. I., Podkopaev, S. V., Agafonov, A. V., Maleev, N. V.** Snizhenie travmatizma ot projavlenij gornogo davlenija. Nord-Press, Donetsk, Ukraine, 2005.
2. **Viktorov, S. D., Iofis, M. A., Goncharov, S. A.** Sdvizhenie i razrushenie gornyh porod. Nauka, Moscow, Russia, 2005.
3. **Agarwal, R. P., Bohner, M., Grace, S. R., O'Regan, P.** Discrete Oscillation Theory. Hindwai Publishing Corporation, 2005. – 961 p.
4. **Zukas, Dzh. A., Nikolas, T., Swift, H. F., Grashuk, L. B., Kurran, D. R.** Dinamika udara. Mir, Moscow, Russia, 1985.
5. **Richard, F. E., Whitman, R. V.** Comparison of footing vibration with theory. *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE*, 1967, **93**, 6, 143-168.
6. **Pippard, A. B.** The Physics of Vibration. Cambridge University Press, 2007. – 656 p.
7. **Zhukov, V. E.** About one strategic error in solving the problem of the development of steep seams. *Coal of Ukraine*, 2001, **7**, 6-10.
8. **Ehrler, O.** Nonlinear parameters of vibrating foundation. *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE*, 1968, **94**, 6, 1091-1214.
9. **Novak, M.** Prediction of footing vibrations. *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE*, 1970, **96**, 3, 837-861.
10. **Pirs, L. A.** Analiticheskaya mehanika. Nauka, Moscow, Russia, 1971.
11. **Arnold, V. I.** Matematicheskie metody klassicheskoy mehaniki. Nauka, Moscow, Russia, 1989.

12. **Ginsberg, J.** Engineering Dynamics. Cambridge University Press, 2008, 726p.
13. **Gross, D., Ehlers, W., Wriggers, P., Scroder, J., Muller, R.** Dynamics – Formulas and Problems: Engineering Mechanics 3. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 2017, 249 p.
14. **Bottega, W. I.** Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, 727 p.
15. **Sinha, A.** Vibration of Mechanical Systems. – Cambridge University Press, 2010, 324 p.
16. **Ilin, M. M., Kolesnikov, K. S., Saratov, Yu. S.** Teoriya kolebaniy. Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, Moscow, Russia, 2003.
17. **Timoshenko, S. P., Yang, D. H., Unver, U.** Kolebaniya v inzhenernom tele. Mashinostroenie, Moscow, Russia, 1985.
18. **Lapshin, V. V., Judin, E. A.** Nonlinear elastic-plastic model of collinear impact. *Bulletin of the MSTU. N.E. Bauman. Series of Natural Sciences*, 2016, **1**, 90-99.
19. **Ivanov, A. P.** The problem of impact of solids. *Soros Educational Journal*, 2001, **7**, **5**, 122-127.
20. **Kelly, S. G.** Advanced Vibration Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2007. – 650.

Сведения об авторах (About authors)

Подкопаев Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина; e-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Sergey Podkopaiev– Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

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.

Власенко Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая инженерия», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина; e-mail: nikola_v@mail.ru.

Nikolay Vlasenko– Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: nikola_v@mail.ru.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Подкопаев, С. В. О колебаниях боковых пород при действии динамических нагрузок / **С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига, Н. Н. Власенко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 48-54. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

Please cite this article as:

Podkopaev, S., Iordanov, I., Chepiga, D., Vlasenko, N. On the vibrations of lateral rocks under the action of dynamic loads. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 48–54, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Подкопась, С. В. Про коливання бічних порід при дії динамічних навантажень / **С. В. Подкопась, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга, М. М. Власенко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 48-54. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.08.

АНОТАЦІЯ В результаті проведених досліджень було вивчено вплив ударних навантажень, у вигляді обвалень бічних порід, на стан покрівлі вугільного пласта, який розробляється. Встановлено, що при обваленні бічних порід, які розшарувалися, в гірничу виробку і їх зіткненні з породами безпосередньої покрівлі, необхідно враховувати швидкість і місце зіткнення порід і балки, кутову швидкість і амплітуду коливань балки. Доведено, що застосування піддатливих опор, у вигляді закладного масиву, сприяє не тільки демпфіруванню коливань балки - порід безпосередньої покрівлі при прояві динамічних навантажень, але і зменшенню її кутової швидкості після удару, що дозволяє створити сприятливі умови для ефективної підтримки гірничих виробок і безпечні умови праці гірників в складних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: гірничий тиск, динамічні навантаження, ударний імпульс, обвалення, закладка виробленого простору.

Поступила (received) 01.09.2017

УДК 004.773.2

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.09

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРИЙОМІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ

З. Д. ГОЛУБ

Кафедра соціальних комунікацій та інформаційної діяльності, НУ «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
email: zorianaholub@gmail.com

АНОТАЦІЯ У статті розглянуто маніпулятивний прийом як складову частину тактик інформаційно-психологічних маніпуляцій (ІПМ). Запропоновано класифікацію прийомів ІПМ за метою. Формалізовано прийом ІПМ, описано систему маркерів ІПМ, яка базується на синтаксичних та лексичних ознаках. Продемонстровано формалізацію структурних елементів прийому ІПМ за допомогою нотації Бекуса-Наура та наведено приклади маркерів синтаксичного, пропозиційного та семантичного рівнів для української, англійської та німецької мов.

Ключові слова: інформаційно-психологічна маніпуляція; прийом; система маркерів; форма реалізації прийому; семантичні змінні; діалогічні акти; онлайн-спільнота; нотація Бекуса-Наура.

FORMALIZATION OF INFORMATIONAL AND PSYCHOLOGICAL MANIPULATION TOOLS

Z. HOLUB

Social Communication and Informational Activities Department, Lviv National Polytechnic University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT This paper is devoted to the problem of detecting informational and psychological manipulation (IPM) in online communities. In this paper a manipulation tool as a structural element of the tactic of informational and psychological manipulation is scrutinized. The aim of the research is to formalize IPM tools with the prospect of using them to develop automatic means for detecting IPM in online communities. Classification of IPM tools on the criterion of expected IPM goal is suggested. The basic elements of the IPM tool are determined, in particular a goal, a form of realization and intensity. The trail which is left behind IPM tools in online discussions is analyzed. Semantical and structural peculiarities of an implementation of a tool that triggers psychological mechanisms of influencing people are identified. These peculiarities constitutes a basis for the formal description of the IPM tool realization form. The realization form of IPM tool comprises syntactic structures, dialog acts and semantic variables. The system of IPM markers, which grounds on syntactic, propositional and lexical features is described. Formalization of markers on the structural, semantic and propositional levels by means of Backus-Naur form is demonstrated and examples of markers of syntactic level for Ukrainian, English and German language are provided. Regular expressions as an instrument for bringing markers into the form appropriate for applying in a program complex is suggested.

Keywords: informational and psychological manipulation; tool; system of markers; tool realization form; semantic variables; dialog acts; online communities; Backus-Naur form.

Вступ

Інформаційно-психологічна маніпуляція (ІПМ) є популярним інструментом впливу на реципієнтів інформації з метою досягнення широкого спектру корисливих цілей. Розробленням алгоритмів та вказівок для захисту від психологічної маніпуляції займалися [1-3]. Ці алгоритми успішно застосовувалися для виявлення психологічної маніпуляції в оффлайн спілкуванні, але є неефективними для онлайн спільнот, оскільки передбачають аналіз комунікації людиною. Значні об'єми та швидкість оновлення інформації в онлайн спільнотах вимагають автоматизованих рішень проблеми ІПМ, а, відповідно, формалізації основних понять ІПМ. Математичну модель тактики ІПМ описано у [4]. Виникає необхідність формалізації прийому ІПМ та розроблення методів ідентифікації прийомів ІПМ в комунікативних актах.

Симптоми здійснення психологічної маніпуляції [1,5] виявлялись на основі аналізу невербальної інформації, наприклад постави, міміки, жестів, фізіологічних процесів (темп дихання). Ці

ознаки є непридатними для виявлення ІПМ в онлайн спільнотах, адже невербальні засоби передачі інформації в онлайн спільнотах практично відсутні. Оскільки в онлайн спільнотах домінує текстова інформація, то доцільно виявляти ІПМ за допомогою вербального сліду, який залишає маніпулятор. Цим слідом є мовні одиниці, за допомогою яких маніпулятор здійснює прийоми ІПМ. Це звичайні мовні одиниці, які набувають маніпулятивних властивостей лише, коли вживаються в певних комбінаціях. У цій статті формалізовано прийом ІПМ та розроблено систему маркерів для виявлення ІПМ.

Ціль роботи

У роботі поставлено мету визначити універсальні ознаки прийомів ІПМ та на основі останніх розробити математичну модель прийому ІПМ. Також, необхідно запропонувати метод формалізації ознак прийомів ІПМ, з ціллю використати їх під час розроблення автоматизованого засобу виявлення ІПМ.

Виклад основного матеріалу**Аналіз існуючих досліджень**

Онлайн спільноти є цінним інформаційним ресурсом та ефективною платформою для інформування. Отож багато досліджень спрямовано на аналіз комунікації, отримання інформації щодо певних аспектів дійсності, а також на закономірності поширення інформації в онлайн спільнотах. Окрім цього розробляють методи отримання глибинної інформації зі спілкування в онлайн-спільнотах, а саме: інтеніт-аналіз [6], аналіз тональності тексту [7], виявлення суджень [8], виявлення споживацького досвіду [9]. Також ведуться дослідження спрямовані на безпеку та захист прав суб'єктів, які беруть участь в інформаційних процесах. Результатами цих досліджень є алгоритми, методи та програмні засоби для виявлення неправдивої інформації та таких деструктивних явищ як флейм та тролінг [10-12]. Автоматичні засоби виявлення неправдивої інформації ґрунтуються на заповнюваних експертами базах даних неавторитетних джерел чи на експертній оцінці. Тому ці засоби ефективні для моніторингу обговорень на популярні теми. Виявлення тролінгу і флейму базуються на пошуку ключових слів, а саме ненормативної лексики, емоційно насичених слів.

Система маркерів суджень та споживацького досвіду не підходять для вирішення проблеми ППМ, адже передбачають чітко вказану тематику пошуку, в той же час як ефективна система маркерів ППМ має бути універсальною.

Класифікація прийомів ППМ

Тактики ППМ складаються з маніпулятивних прийомів, які, в основному, перейшли в онлайн-комунікацію з оффлайн спілкування. Дослідженню цих прийомів та пошуку методів захисту присвячені наукові праці у сфері пропаганди, міжособистісних та масових маніпуляцій, а також нейролінгвістичного програмування (НЛП) [13].

Прийоми пропаганди змушують людей неусвідомлено здійснювати певні дії або змінювати світоглядну позицію. Існують класифікації та переліки прийомів пропаганди, виділено сім основних прийомів пропаганди. Для того, щоб розробити універсальну систему маркерів прийомів ППМ, їх було об'єднано у класи за метою. Як приклад наведено клас прийомів «Перехід на особисте» (табл. 1).

Формалізація прийому ППМ

Прийоми ППМ будуються за допомогою звичайних мовних засобів. Прийоми ППМ реалізуються як висловлення, але внаслідок поєднання певної синтаксичної структури, лексики та

Таблиця 1 – Клас прийомів «Перехід на особисте»

Прийом	Мета	Механізм	Приклад з онлайн-комунікації
Інвективний перехід на особисте	Викликати негативне ставлення до слів чи поглядів іншої людини	Упередження чи негатив непов'язаних з темою дискусії фактів перенести на твердження чи позицію людини	«не роби так, як він каже, бо він жид» «та, слухай далі олігарха!»
Імітація необізнаності співрозмовника	Завершити, вийти або змусити опонента покинути <i>небажане обговорення</i>	Імітувати необізнаність чи відсутність досвіду опонента і, таким чином, завершити дискусію як недоцільну	"Ви не чули про...?! Про що тоді з Вами говорити?!" «ти не знаєш елементарних ...?» «тобі ... нічого не каже?»
Ситуативний перехід на особистості	Змусити опонента зайняти необхідну позицію	Наголосити на ситуації, в якій перебуває опонент і подати необхідну позицію як єдино вірній у даній ситуації	«якщо ти українець, то ти маєш воювати» «якщо ти професіонал, то заціниш Lenovo ideapad 700!»
Імітація меркантильності	Заперечити, спростувати твердження опонента	Створити вид, що позиція людини залежить від її <i>спеціальних одноосібних інтересів</i> , а не впливає з раціональних фактів	«та він на тому хату побудував, то що він буде проти?!» «можна подумати він би інакше сказав! Керівник!»
Ілюзія суперечки	Відійти від теми обговорення	Змусити опонента виправдовуватись і пояснювати нерелевантні до теми обговорення питання	«Ти так кажеш, бо тобі так сказали!»
Отруєння джерела	дискредитувати все, буде сказано опонентом.	Негативно представити людину до, того як вона вступить в дискусію	«Запитаємо експерта, надіюсь цього разу його передбачення будуть успішнішими»
Необґрунтовані оціночні судження	Спровокувати емоційне виправдовування	Змусити опонента реагувати на необґрунтовані оцінки.	"Це банально" "Дурня!" «Забобони!»

метаграфеміки мають вплив на підсвідомість реципієнта. Кожен прийом ІПМ має мету, може приймати одну з форм реалізації і, відповідно, мати різний ступінь ефективності впливу, тому прийом ІПМ формалізовано наступним чином (1):

$$Tool_i = \langle Goal_i, Form_i, Intensity_i \rangle, \quad (1)$$

де $Goal_i$ – мета прийому; $Form_i$ – застосована форма реалізації прийому; $Intensity_i$ – ступінь ефективності прийому.

Форма реалізації прийому має наступну структуру (2):

$$Form_i = \langle SyntacticStructure_i, DialogAct_i, SemanticVariable_i \rangle \quad (2)$$

де $SyntacticStructure_i$ – це множина синтаксичних структур, які можуть бути використані для реалізації даного прийому; $DialogAct_i$ – це множина мовних актів, за допомогою яких може бути реалізований прийом; $SemanticVariable_i$ – це множина змінних, з яких може бути вибудований прийом.

Дана формальна модель реалізації прийому маніпуляції відповідає математичній моделі ІПМ, описаній у [4-5].

Множина можливих синтаксичних реалізацій прийому ІПМ поданих у нотації Бекуса-Наура виглядає наступним чином (3):

$$SyntacticStructure_i = \{ SyntacticStructure_{ij} \}_{j=1}^{N(SyntacticStructure_i)} \quad (3)$$

де $SyntacticStructure_i$ – синтаксична реалізація прийому ІПМ подана у нотації Бекуса-Наура; $N_{SyntacticStructure}$ – кількість можливих синтаксичних структур даного прийому.

Множина діалогічних актів, за допомогою яких може бути поданий прийом ІПМ наведена нижче (4). Діалогічний акт мінімальна одиниця діалогічного спілкування, - це процес створення конкретної пропозиції, наділеної пропозиційним змістом, забезпечення комунікативною метою, яка передається від адресанта до адресата [14].

$$DialogAct_i = \{ DialogAct_{ij} \}_{j=1}^{N(DialogAct_i)} \quad (4)$$

де $DialogAct_i$ – діалогічний акт, за допомогою якого може бути реалізований прийом ІПМ; $N_{SyntacticStructure}$ – кількість можливих діалогічних актів для даного прийому.

Характер спілкування в онлайн спільнотах та соціальних мережах має діалогічний характер, тому діалогічні акти, які спершу використовували для аналізу усного мовлення, почали використовувати для дослідження комунікативної поведінки користувачів Twitter [15-17]. У цих дослідженнях було розроблено набір ознак базованих на лексичних і графічних символічних ознаках для розпізнавання діалогічних актів. Діалогічні акти доцільно використати для формалізації діалогічних актів у онлайн спільнотах.

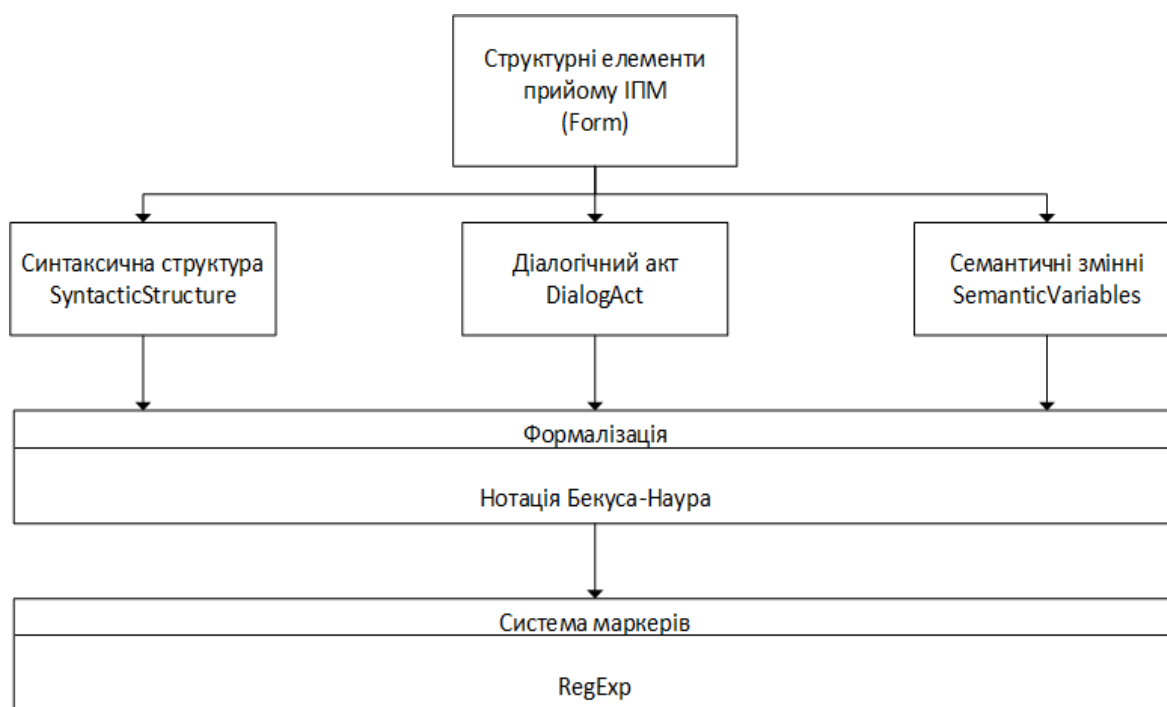


Рис.1 – Формалізація структурних елементів прийому ІПМ

Таблиця 2 – Реалізації синтаксичної структури прийому «ситуативний перехід на особисте»

Lang	Реалізації синтаксичної структури	Приклади з онлайн-комунікації
UA	SyntacticStructure ₁ ::=<умовний підрядний сполучник> довільний рядок символів <вказівне слово> довільний рядок символів	«якщо ти українець, то ти маєш воювати»
	SyntacticStructure ₂ ::=<означальний займенник множини> <іменникове словосполучення> <дієслово, теперішній час, дійсний спосіб, перша особа> довільний рядок символів	«Всіх екологічно свідомих і ініціативних чекаємо в понеділок 4 червня за адресою...»
	SyntacticStructure ₃ ::=<обмежувально-вказівна частка> <іменникове словосполучення> <дієслово, теперішній час, дійсний спосіб, перша особа> довільний рядок символів	«Тільки для знавців вишуканої кухні – Телятина з фуагра!»
	SyntacticStructure ₄ ::=довільний рядок символів <власна назва> довільний рядок символів<дієслово, теперішній час, дійсний спосіб, третя особа> довільний рядок символів <іменникове словосполучення> (<прийменник:для><іменникове словосполучення>)(<прийменник:для><вказівний займенник><відносний займенник>) довільний рядок символів	«Туристична фірма «Навколо світу» пропонує елітний вояж для тих, кого вже не здивуєш стандартними пропозиціями!»
ENG	SyntacticStructure ₁ ::=довільний рядок символів <власна назва>/<вказівне слово: тоді підсилювальна частка: то> довільний рядок символів	«Were you a strong guy, you would take part in the competition!»
	SyntacticStructure ₂ ::=довільний рядок символів <власна назва> довільний рядок символів<іменикове словосполучення>	«The company provides gadgets for true experts»
	SyntacticStructure ₃ ::=довільний рядок символів <власна назва> довільний рядок символів (<прийменник:for><іменникове словосполучення>)	«imagePROGRAF iPF6400SE is the best choice for keen on state of art technologies!»
	SyntacticStructure ₄ ::=<допоміжне дієслово> довільний рядок символів<дієслово, наказовий спосіб><іменник> <іменникове словосполучення>	«Are you into extreme sports? Try out skydiving!» Auxiliary verb Question mark. Bare infinitive verb Exclamation mark
DEU	SyntacticStructure ₁ ::=<дієслово> довільний рядок символів<довільна к-сть прикметників> довільний рядок символів <прислівник часу><іменник> <іменникове словосполучення>< zu інфінітив>	«Bist du mutig und energisch, dann ist Erholung in Tridol Freizeitpark nicht zu verpassen!»
	SyntacticStructure ₂ ::=<власна назва> <прийменник für > <вказівний займенник> <вказівний займенник> довільний рядок символів	«Bosch Instrumente für den, der sich gut mit Bauarbeiten auskennt!»
	SyntacticStructure ₃ ::=<умовний сполучник> <особовий займенник> <іменникове словосполучення> довільний рядок символів <дієслово> <допоміжне дієслово умовного способу> <особовий займенник> довільний рядок символів <власна назва> <дієслово>	«Wenn du wirklich viele Erfahrungen im Fotografieren hast, würde ich an deiner Stelle Canon EOS 1200D kaufen»
	SyntacticStructure ₄ ::=<дієслово> <особовий займенник> <іменникове словосполучення> довільний рядок символів <дієслово> <дієслово> <особовий займенник> <довільна к-сть прикметників> <прислівник часу> <дієслово> довільний рядок символів <власна назва>	«Möchtest du gute Änderungen machen, bist du bewusst und sozial aktiv, dann melde dich an PolitikmacherIn!»

Множина семантичних змінних наявних у варіює залежно від дискурсу, стилю, теми прийомі ІПМ подана нижче (5). Семантична змінна – обговорення, але належить до одного класу понять. це частина лексичного наповнення висловлення, яка

Таблиця 3 – Реалізація діалогічного акту «декларативне запитання»

Діалогічний акт	Мовна реалізація	Приклади з онлайн-комунікації
Декларативне запитання	SyntacticStructure ₁ ::=<займенник 2-ої особи, Називний в.> <дієслово в 2-ій особі, Називний в.><підрядний сполучник> довільний рядок символів ?	Ви знаєте, що успішні компанії користуються послугами нашого рекламного агентства?

$$SemanticVariable_i = \{SemanticVariable_{ij}\}_{j=1}^{N^{(SemanticVariable_i)}} \quad (5)$$

де $SemanticVariable_i$ – семантична змінна, яка може бути в прийомі ПІМ; $N^{(SemanticVariable_i)}$ – кількість семантичних змінних, які можуть бути в прийомі.

Ступінь ефективності прийому $Intensity_i$ залежить від наявності одиниць специфічної лексики. $Lexis_i$ – це кортеж, елементами якого є кількість вжитих у висловленні одиниць специфічної лексики, а також пасивної лексики такої, як неологізми та застарілі слова. До видів специфічної лексики, які є в кортежі належать: експресивна лексика, аргі, жаргон, ненормативна лексика, просторіччя, діалектизми, терміни, неологізми. Отже, лексичні особливості висловлення характеризуються наступним кортежем параметрів (6):

$$Lexis_i = \left\langle \begin{array}{l} LoadedLanguage_i, Argot_i, Jargon_i, \\ Profanities_i, SimpleLanguage_i, \\ Dialect_i, Terminology_i, Neologism_i \end{array} \right\rangle \quad (6)$$

де $LoadedLanguage_i$ – кількість одиниць експресивної лексики у висловленні; $Argot_i$ – кількість арготизмів у висловленні; $Jargon_i$ – кількість жаргонізмів у висловленні, – кількість одиниць ненормативної лексики у висловленні; $SimpleLanguage_i$ – кількість одиниць просторіччя у висловленні, – кількість діалектизмів у висловленні; $Terminology_i$ – кількість термінів у висловленні; $Neologism_i$ – кількість неологізмів у висловленні.

Нижче наведено приклад насиченості специфічною лексикою реалізації прийому «ситуативний перехід на особисте».

«Якщо ти професіонал то заціниш Lenovo ideapad 700!»

$$Lexis_i = \langle 0,0,0,0,1,0,0,0 \rangle \quad (7)$$

Як видно з кортежу $Lexis_i$ (7) у наведеному вище прикладі прийому ПІМ зі специфічної лексики наявне лише просторіччя.

Структурні елементи прийому ПІМ, а саме: синтаксична структура, діалогічний акт та семантичні змінні формалізуються за допомогою нотації Бекуса-Наура. На основі виразів у нотації Бекуса-Наура, за допомогою регулярних виразів (RegExpr) система маркерів даного прийому подається у підходящому для подальшої автоматизації вигляді (рис. 1). Маркери подані як регулярні вирази використовуються у програмному засобі для виявлення ПІМ.

Елементи множини SyntacticStructure, тобто, реалізації синтаксичної структури формалізуються за допомогою нотації Бекуса-Наура. У таблиці (табл. 2) наведено реалізації синтаксичної структури прийому ПІМ «ситуативний перехід на особисте» для української SyntacticStructure2Утп, англійської та німецької мов.

Прийом «ситуативний перехід на особисте» може бути реалізований як один з діалогічних актів (табл. 3), які містить множина $DialogAct_1$ (8):

$$DialogAct_1 = \left\{ \begin{array}{l} DeclarativeQuestion_1, \\ RestateInfo_1, Opinion_1, \\ Comment_1, ActionDirective_1 \end{array} \right\} \quad (8)$$

Множина семантичних змінних (табл. 4), з яких складається прийом «ситуативний перехід на особисте» подана нижче (9):

$$Variable_1 = \langle Recipient_1, Affiliation_1, Directive_1 \rangle \quad (9)$$

Таблиця 4 – Реалізації семантичних змінних «ситуативний перехід на особисте»

Змінні	Мовна реалізація	Приклади зі словника
Адресат	SyntacticStructure ₁ ::=<займенник 2-ої особи, Називний в.>	ти Ви ви
Приналежність до групи	SyntacticStructure ₂ ::=<слово/словосполучення з загальним іменником >	Національна приналежність::= справжній українець патріот син своєї Батьківщини
Директива	SyntacticStructure ₃ ::= <дієслівне словосполучення в наказ. способі> <присудкове слово> <дієсл. в неознач. формі>	годі чекати зроби свій вибір

де *Recipient₁* – це вказівка на реципієнта висловлення; *Affiliation₁* – це вказівка на соціальну, професійну, демографічну чи іншу групу, до якої відносить себе реципієнт; *Directive₁* – вказівка на дію, яку нав'язує маніпулятор.

Специфічна лексика, семантичні змінні, реалізовані за допомогою певних синтаксичних структур та інтенція мовного акту дають змоги виявляти випадки, коли за допомогою звичайних мовних засобів реалізовано прийом ІПМ.

Висновки

Формалізація прийому ІПМ є значним поступом у вирішенні проблеми захисту учасників онлайн спільнот від даного виду деструктивних прихованих впливів. Оскільки формалізація прийому ІПМ стане основою для розроблення автоматизованих засобів виявлення ІПМ. Під час визначення ключових елементів форми прийому ІПМ враховано той факт, що ІПМ здійснюється за допомогою засобів синтаксичного, пропозиційного та лексичного рівнів. Доведено доцільність застосування нотації Бекуса-Наура для формального запису системи маркерів прийому ІПМ. Формалізована система маркерів застосовна до виявлення ІПМ українською, англійською та німецькою мовами.

Список літератури

- 1 Доценко, Е. Л. Психология манипуляции / Е. Л. Доценко. – Москва: ЧеРо, 2001. – 344с.
- 2 Шейнов, В. П. Скрытое управление человеком / В. П. Шейнов. – Минск: «Издательство АСТ», 2002. – 848 с.
- 3 Berne, E. Games People Play – The Basic Hand Book of Transactional Analysis / E. Berne. – New York: Ballantine Books, 1964. – 81p.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Ушакова, Т.Н. Психолінгвістика / Т. Н. Ушакова, И. В. Королева, В. И. Лубовский и др. – Москва: ПЕР СЭ, 2006. – 416 с.
- 7 Pozzi, F. A. Sentiment Analysis in Social Networks / F. A. Pozzi E. Fersini, E. Messina, et al. – 2016 – 284p. – doi: 10.1016/B978-0-12-804412-4.00001-2.
- 8 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 (IJCSSES)*. – 2015. – vol. 6. – p.21-27. – doi: 10.5121/ijcses.2015.6502.
- 9 Тимовчак-Максимець, О. Ю. Методи використання розширених можливостей глобальних пошукових систем в задачі пошуку споживачього досвіду в онлайн середовищах / О. Ю. Тимовчак-Максимець // *Вісн.*

Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2011. - № 715. - С. 333-342.

- 10 B. S. Detector [Electronic resource]. – Access mode: <https://chrome.google.com/webstore/detail/bs-detector/dlcgkekjiopopabcfhebmbphmfndbjod> (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 11 Fake News Alert [Electronic resource]. – Access mode: <https://chrome.google.com/webstore/detail/fake-news-alert/aickfmgnhocgepdbfnfndpeionfkbh> (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 12 FactChecker [Electronic resource]. – Access mode: https://www.washingtonpost.com/news/fact-checker/?utm_term=.e45d6c8b0350 (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 13 Dilts, R. Encyclopedia of Systemic Neuro-Linguistic Programming and NLP New Coding / R. Dilts, J. DeLozier. – Santa Cruz: NLP University Press, 2000 – p. 1002.
- 14 Stolcke, A. Dialogue Act Modeling for Automatic Tagging and Recognition of Conversational Speech / K. Ries, N. Coccaro, E. Shriberg, et al.: [Electronic resource]. – Access mode: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/ws97/CL-dialog.pdf> (last access: 15.03.17).. – Title from the screen.
- 15 Clark, A. Multi-level Dialogue Act Tags / A. Popescu-Belis: [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.aclweb.org/anthology/W04-2328>. – Title from the screen.
- 16 Zhang, R. What Are Tweeters Doing: Recognizing Speech Acts in Twitter / R. Zhang, D. Gao, W. Li : [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.aaii.org/ocs/index.php/WS/AAAIW11/paper/viewFile/3803/4337> – Title from the screen.
- 17 Qadir, A. Classifying sentences as speech acts in message board posts / A. Qadir, E. Riloff // *In EMNLP 2011 - Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*. – 2011. – pp. 748-758.

Bibliography (transliterated)

- 1 Docenko, E. L. Psycholohiia manipulatsii. Moskva: CheRo, 2001, 344 s.
- 2 Shejnov, V. P. Skrytoe upravlenie chelovekom. – Minsk: «Izdatelstvo ACT», 2002, 848 s.
- 3 Berne, E. Games People Play – The Basic Hand Book of Transactional Analysis. New York: Ballantine Books, 1964, 81 p.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Ushakova, T. N., Koroleva, Y. V., Lubovskyj, V. Y. y dr. Psycholinhvistyka. – Moskva: PER SЭ, 2006. – 416 s.
- 7 Pozzi, F. A., Fersini, E., Messina, E., et al. Sentiment Analysis in Social Networks, 2016, 284 p. – doi: 10.1016/B978-0-12-804412-4.00001-2.
- 8 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.

- 9 Tymovchak-Maksymets, O. Yu. Metody vykorystannya rozshyrenykh mozhlyvostej hlobalnykh poshukovykh system v zadachi poshuku spozhyvackoho dosvidu v onlajn seredovyshhax. *Visn. Nac. un-tu "L'viv. politexnika"*, 2011, № 715, 333-342.
- 10 B.S. Detector [Electronic resource]. – Access mode: <https://chrome.google.com/webstore/detail/bs-detector/dlckekjjiopopabcifhebmphmfmdbjod> (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 11 Fake News Alert [Electronic resource]. – Access mode: <https://chrome.google.com/webstore/detail/fake-news-alert/aickfmgnhocgepdbfnfinedpeionfkbh> (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 12 FactChecker [Electronic resource]. – Access mode: https://www.washingtonpost.com/news/fact-checker/?utm_term=.e45d6c8b0350 (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 13 Dills, R., DeLozier, J. Encyclopedia of Systemic Neuro-Linguistic Programming and NLP New Coding. Santa Cruz: NLP University Press, 2000, 1002.
- 14 Stolcke, A., Ries, K., Cocco, N., Shriberg, E., et al. Dialogue Act Modeling for Automatic Tagging and Recognition of Conversational Speech [Electronic resource]. – Access mode: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/ws97/CL-dialog.pdf> (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
- 15 Clark, A. Multi-level Dialogue Act Tags / A. Popescu-Belis: [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.aclweb.org/anthology/W04-2328>. – Title from the screen.
- 16 Zhang, R., Gao, D., Li, W. What Are Tweeters Doing: Recognizing Speech Acts in Twitter [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.aclweb.org/anthology/WS/AAAIW11/paper/viewFile/3803/4337> – Title from the screen.
- 17 Qadir, A., Riloff, E. Classifying sentences as speech acts in message board posts. In *EMNLP 2011 - Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 2011, 748-758.

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, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Голуб, З. Д. Формалізація прийомів інформаційно-психологічної маніпуляції / **З. Д. Голуб** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 55-61. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.09.

Please cite this article as:

Holub, Z. Formalization of informational and psychological manipulation tools. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 55–61, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.09.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Голуб, З. Д. Формализация приемов информационно-психологической манипуляции / **З. Д. Голуб** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 55-61. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.09.

АННОТАЦІЯ В статті розглянуто маніпулятивний прийом як складову частину тактики інформаційно-психологічних маніпуляцій (ІПМ). Предложена класифікація прийомів ІПМ по механізму здійснення. Формалізовано прийом ІПМ, описано систему маркерів ІПМ, засновану на синтаксических і лексических ознаках. Продемонстровано формалізацію маркерів з допомогою нотації Бэкуса-Наура і наведено приклади маркерів синтаксического рівня для українського, англійського і німецького мов.

Ключевые слова: інформаційно-психологічна маніпуляція; прийом; система маркерів; форма реалізації прийому; семантичні змінні; діалогічні акти; онлайн спільнота; нотація Бэкуса-Наура.

Поступила (received) 15.09.2017

УДК 004.451.83

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.10

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ARDUINO В ЯКОСТІ WEB-CLIENT ТА WEB-SERVER З ВИКОРИСТАННЯМ ДАТЧИКА DHT11 ТА ЇХ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Д. В. ЛУБКО, Ю. О. ЛИТВИН*

Кафедра комп'ютерних наук, Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, УКРАЇНА
email: litwin.yu@yandex.ua

АНОТАЦІЯ У статті проаналізовано можливість використання мікроконтролеру Arduino в двох режимах: веб-сервер та веб-клієнт, які слугують основою для розробки автономних інтерактивних приладів або може працювати під управлінням програмного забезпечення, встановленого на з'єднаному з ним комп'ютері. Розроблений програмний засіб має такі комплектуючі, як: Arduino Uno, Ethernet shield, DHT11, резистор та проводи типу «мама-папа», «папа-папа». Представлений код програми дає змогу порівняти два режими роботи Ардуїно та виявити їх певні переваги та недоліки в плані передачі, зберігання та відображення певних даних для користувача.

Ключові слова: Arduino; Ethernet shield; DHT11; web-server; web-client; датчик.

METHODOLOGY OF ARDUINO DESIGNING AS A WEB-CLIENT AND WEB-SERVER WITH THE USE OF THE DHT11 SENSOR AND THEIR COMPARATIVE CHARACTERISTICS

D. LUBKO¹, Y. LYTVYN²

Department of Computer Science, Tavria State Agrotechnological University, t. Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT Currently, there is a significant increase in interest in Smart House technology. The issue of availability and ease of monitoring of the management of a smart house is of crucial importance. An owner or a user of a smart house should have access to all systems, be able to manage them remotely and receive information about the status of each of them on a 24-hour basis. Therefore, the question of implementation of monitoring of the received data from sensors arises. This paper discusses the choice between using Arduino as a server or a client. The purpose of this work is to provide a program for processing temperature and humidity data using Arduino as a web server and a web client and conducting their comparative characteristics in terms of speed and quality of transmission and data display. In the context of this work, the following functions should be performed: processing the received temperature data, humidity of the room from the sensor DHT 11 and displaying data in the browser. As a result of the work, the basic principles of Arduino's work as a web server and web client are analyzed. The "Server" class creates a server that can transfer data and receive data from connected clients (users). The "Client" class creates clients that can connect to servers and exchange data that connects to the server by the IP address and port specified in the parameters. In the aspect of monitoring, according to the results obtained on the web page, we can conclude that using Arduino as a web client is more appropriate because it allows the developer to create data display in a more user-friendly form for the user. In the aspect of data storage it is better to use Arduino as a web client, since the resulting data will be stored in the developed database, in our case phpMyAdmin. All this allows monitoring of the received data from any "Smart House" equipment.

Keywords: Arduino; Ethernet shield; DHT11; web-server; web-client; sensor.

Вступ

В даний час спостерігається значний ріст інтересу до технології «Розумний дім». Термін «розумний будинок» (або «інтелектуальний будинок») використовується для позначення сучасних будинків і будівель, в яких інженерні, інформаційні системи і системи безпеки об'єднані в єдину і організовану комплексну інтелектуальну систему. Дана інтелектуальна система покликана забезпечити більшу безпеку, а також найкращий комфорт мешканцям будинку. Як правило, основна причина установки систем розумного будинку полягає в підвищенні домашнього комфорту шляхом автоматизації рутинних завдань, таких як керування

освітленням, клімат-контролем, системами мультимедіа і т.д. Все гостріше постає питання доступності і легкості моніторингу та управління розумним будинком. Власник, або користувач, розумного будинку повинен мати доступ до всіх систем, мати змогу керувати ними на відстані та отримувати інформацію про стан кожної з них цілодобово. Тому постає питання - як саме реалізувати моніторинг отриманих даних з датчиків. В рамках цієї роботи ми розглянемо питання вибору між використанням Arduino (Ардуїно) в якості серверу чи клієнту.

Сьогодні на Україні, а також у світі є тенденція значного зростання інтересу до технологій, пов'язаних

з мікроконтролерами Arduino. Наприклад, задачі управління пристроями за допомогою певних команд.

Останнім часом з'явилася можливість підключати різноманітні датчики, робототехніку та керувати ними за допомогою веб-сайтів. Мікроконтролер Arduino має можливість виступати в якості веб-клієнта чи веб-сервера.

Мета роботи

Мета даної роботи полягає в представленні програми для обробки даних температури та вологості, використовуючи Arduino в якості веб-сервера та веб-клієнту, а також проведення їх порівняльної характеристики в плані швидкості, якості передачі та відображення даних.

В рамках цієї роботи повинні виконуватися такі функції: обробка отриманих даних температури та вологості приміщення з датчика DHT11; відображення потрібних користувачу даних у браузері.

Основний матеріал

Для виконання даної роботи ми використали датчик температури та вологості DHT11. Принцип роботи датчику температури заснований на вимірюванні опору при вимірюванні температури, що приводить до вимірювання вихідної напруги, яка слугує для вимірювання температури. Датчик вологості заснований на зміні концентрації електроліту, що покриває собою будь-електроізоляційний матеріал.

Розглянемо докладно та покроково методологію проектування Ардуіно в якості веб-сервера.

1 крок.

Для того, щоб усі комплектуючі могли коректно працювати, треба спочатку імпортувати певні бібліотеки, а саме такі: SPI.h, Ethernet.h, Wire.h та DHT.h.

2 крок.

Ініціюємо константи та номери контактів датчику температури та вологості. Введемо наступний код:

```
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

3 крок.

Введемо mac-address контролера. Код:
byte mac[] = {0x10, 0xBF, 0x48, 0xDD, 0xB5, 0xDA};

4 крок.

Введемо IP-адрес Ethernet shield.

Примітка: Обов'язково треба перевірити, щоб IP-адрес Ethernet shield не співпадав з ip адресою іншого пристрою в мережі. При необхідності треба змінити останній байт. Код:

```
byte ip[] = {192, 168, 1, 100};
byte subnet[] = {255, 255, 255, 0};
```

```
EthernetServer server(80);
EthernetClient client;
String readString;
```

Для того, щоб написати цикл програми, який буде приймати вхідних веб-клієнтів та відображати http сторінку з даними, які будуть відновлюватися кожні 5 секунд без оновлення веб-сторінки браузера, треба використати в коді програми такі функції, як:

- available () - отримує посилання на підключеного до сервера клієнта для обміну даними. Возвращаемое значення: посилання на підключений до сервера клієнт (EthernetClient client = server.available ());

- connected () - визначає, підключений клієнт чи ні. Клієнт вважається підключеним, якщо з'єднання закрито, але є непрочитані дані;

- println () - відправляє дані на сервер з підключеного клієнта. Аналогічна функції print () з додаванням в відправку символу переходу на новий рядок;

- read () - отримує наступний (після останнього, отриманого командою read ()) байт від сервера або -1, якщо даних більше немає;

- client.println("Content-Type: text/html"); - відображення веб-сторінки;

- client.println("<metahttp-equiv='refresh' content='5'>"); - відновлення веб-сторінки кожні 5 секунд;

- write () - відправляє дані всім клієнтам, підключеним до сервера;

- print () - відправляє дані всім клієнтам, підключеним до сервера. При цьому число відправляється як послідовність цифр даного числа.

- Ethernet.begin () - ініціалізує бібліотеку і мережеві настройки.

Синтаксис функції: Ethernet.begin (mac); Ethernet.begin (mac, ip); Ethernet.begin (mac, ip, gateway); Ethernet.begin (mac, ip, gateway, subnet).

Параметри: mac - mac-адресу (Media Access Control) пристрою (масив з 6 байтів). Це апаратний адрес адаптера вашого пристрою. Нові версії Arduino Ethernet shield мають наклейку з MAC-адресою пристрою. Для старих пристроїв mac потрібно знайти самостійно.

ip – це IP-адреса пристрою (масив з 4 байтів); gateway - IP-адреса шлюзу (масив з 4 байтів). Опціонально - за замовчуванням IP-адрес пристрою з останнього октету встановлений в значення 1; subnet - маска підмережі мережі (масив з 4 байтів). Опціонально, за замовчуванням, такий - 255.255.255.0;

5 крок.

Отримання даних з датчика DHT11 розрахунку та відображення результатів на екрані:

```
client.print("Temperature (C): ");
client.println((float)DHT11.temperature, 1);
client.println("<br />");
client.print("Temperature (F): ");
```

```

client.println(Fahrenheit(DHT11.temperature), 1);
client.println("<br />");
client.print("Humidity (%): ");
client.println((float)DHT11.humidity, 0);
client.println("<br />");
client.print("Temperature (K): ");
client.println(Kelvin(DHT11.temperature), 1);
client.println("<br />");
client.print("DewPoint (C): ");
client.println(dewPoint(DHT11.temperature, DHT11.humidity));
client.println("<br />");
client.print("DewPointFast (C): ");
client.println(dewPointFast(DHT11.temperature, DHT11.humidity));
client.println("<br />");

```

6 крок.

Закінчення роботи циклу обробки даних. Код:

```

client.println("</html>");
break;
if (c == '\n')
{ currentLineIsBlank = true;}
elseif (c != '\r')

```

7 крок.

Отримання даних в поточному рядку. Код:

```
currentLineIsBlank = false;
```

8 крок.

Надання в браузер даних з Arduino. Код:

```

delay(1);
client.stop();
Serial.println("clientdisconnected");

```

9 крок.

Перерахуємо данні з градусів Цельсія до Фаренгейта. Код:

```

doubleFahrenheit(doublecelsius)
{ return 1.8 * celsius + 32; }

```

10 крок.

Перерахуємо данні з Цельсія до Кельвіна:

```

doubleKelvin(doublecelsius)
{ returncelsius + 273.15; }

```

2 крок.

Вводимо мак-адресу та IP-address серверу.

3 крок.

Використовуємо функцію delay (), яка зупиняє виконання програми на задане в параметрах значення - кількість мілісекунд (1000 мілісекунд в 1 секунд).

4 крок.

Для того, щоб використати Ардуіно в якості веб-клієнта потрібно ще використати такі функції:

- client () - створює клієнта, який підключається до сервера по вказаному в параметрах IP-адресою і порту. Client (ip, port), де ip - IP-адреса підключення клієнта (масив з 4 байтів); port - порт підключення клієнта.

- EthernetClient () - створює клієнта, який підключається до сервера. параметрів підключення (IP-адреса і порт) визначаються в функції client.connect ();

- write () - відправляє на сервер дані з підключеного клієнта;

- print () - відправляє дані на сервер з підключеного клієнта. При цьому число відправляється як послідовність цифр даного числа;

- println () - відправляє дані на сервер з підключеного клієнта. аналогічна функції print () з додаванням в відправку символу переходу на новий рядок;

- available () - повертає число байтів, доступних для читання (тобто обсяг даних, який був відправлений сервером для клієнта);

- read () - отримує наступний (після останнього, отриманого командою read ()) байт від сервера або -1, якщо даних більше немає;

- flush () - скидає отримані від сервера, але ще не прочитані дані;

- stop () - відключає клієнта від сервера.



Рис. 1 – Данні температури та вологості

5 крок.

Проектуємо в програмі цикл, який дозволяє отримати данні з датчику вологості та температури.

Код:

```

floathumidity = dht.readHumidity();
floattemperature = dht.readTemperature();
float f = dht.readTemperature(true);
Serial.print("Temperature: ");
Serial.println(temperature);
Serial.print("Humidity: ");
Serial.println(humidity);

```

1 крок.

Для того, щоб використати Ардуіно в якості веб-клієнта, ми використали бібліотеки SPI.h, Ethernet.h, Wire.h, DHT.h та ініціалізували датчик температури та вологості.

```
if (isnan(humidity) || isnan(temperature)
|| isnan(f)) {
Serial.println("Failed to read from DHT
sensor");
return; }
sendTemperature(temperature);
sendHumidity(humidity);
delay(3000);
```

Об'являємо змінну та вносимо данні температури та вологості. Код:

```
$sql_insert = "insert into
sensor_temp_hum (humedad, time) values
('$humedad', time())";
```

#	Имя	Тип	Сравнение	Атрибуты	Null	По умолчанию	Дополнительно	Действие
1	id	int(11)			Нет	Нет	AUTO_INCREMENT	Изменить Удалить Обзор уникальных значений Первичный
2	temperatura	int(3)			Нет	Нет		Изменить Удалить Обзор уникальных значений Первичный
3	humedad	int(2)			Нет	Нет		Изменить Удалить Обзор уникальных значений Первичный
4	time	datetime			Нет	Нет		Изменить Удалить Обзор уникальных значений Первичный

Рис. 2 – Структура таблиці «Sensor_temp_hum» в базі даних

6 крок.

Примітка: Головною відмінною веб-серверу від веб-клієнту являється те, що данні ми передаємо GET-запитом.

Нами був розроблений код для відправки даних за допомогою GET-запиту на сервер. Код:

```
Void sendTemperature(float temperature) {
if (client.connect("31.170.165.229 ",80)) {
Stringrequest = "GET
/write_temp.php?temp=";
request += String(temperature);
request += " HTTP/1.0";
client.println(request);
client.println("Host: 31.170.165.229 ");
client.println("Content-Type:
application/x-www-form-urlencoded");
client.print("Content-Length: ");
client.println(data.length());
client.println();
client.print(data); }
if (client.connected()) {
client.stop(); } }
Void sendHumidity(float humidity){
if (client.connect("31.170.165.229",80)) {
Stringrequest = "GET
/write_hum.php?humidity=";
request += String(humidity);
request += " HTTP/1.0";
client.println(request);
Serial.println("Данні надіслані");
client.println("Host: 31.170.165.229 ");
client.println("Content-Type:
application/x-www-form-urlencoded");
client.print("Content-Length: ");
client.println(data.length());
client.println();
client.print(data); }
if (client.connected()) {
client.stop(); } }
```

7 крок.

Далі данні з датчику DHT11 ми помістили в базу даних phpMyAdmin (рис. 2) за допомогою файлів write_hum.php та write_temp.php, які підключаються до бази даних.

8 крок.

Примітка: Попередньо ці файли були розміщені в головній папці серверу.

9 крок.

Використавши мови програмування PHP, CSS, HTML та AJAX створюємо сторінку відображення даних температури та вологості на графіку (рис. 3).

Обговорення результатів

В результаті проектування коду на мікроконтролері Arduino, з датчику DHT11 за допомоги веб-запиту та файлів write_hum.php та write_temp.php дані передаються в базу даних phpMyAdmin. Після чого туди вносяться дані температури та вологості. Далі використовуємо ці дані для побудови та відображення на графіку, використавши мови програмування PHP, CSS, HTML та AJAX.

Висновки

У результаті виконаної роботи були проаналізовані основні принципи роботи Ардуіно в якості веб-сервера та веб-клієнта. Клас «Server» створює сервер, який може передавати данні та отримувати данні від підключених клієнтів (користувачів). Клас «Client» створює клієнтів, які можуть підключатися до серверів та обмінюватися даними, який підключається до сервера по вказаному в параметрах IP-адресою та портом.

В аспекті моніторингу, згідно отриманих результатів на веб-сторінці, можемо зробити висновок, що використовувати Ардуіно в якості веб-клієнту доцільніше, бо це дозволяє розробнику створити відображення даних у більш зручній формі для користувача. А саме - зробити графік зданими температури та вологості, отримувати данні про дату, час отриманих даних та виводити їх статистику, тощо, що буде влаштовувати розробника подібної метеостанції.

В аспекті збереження даних - краще використовувати Ардуіно в якості веб-клієнту, так як

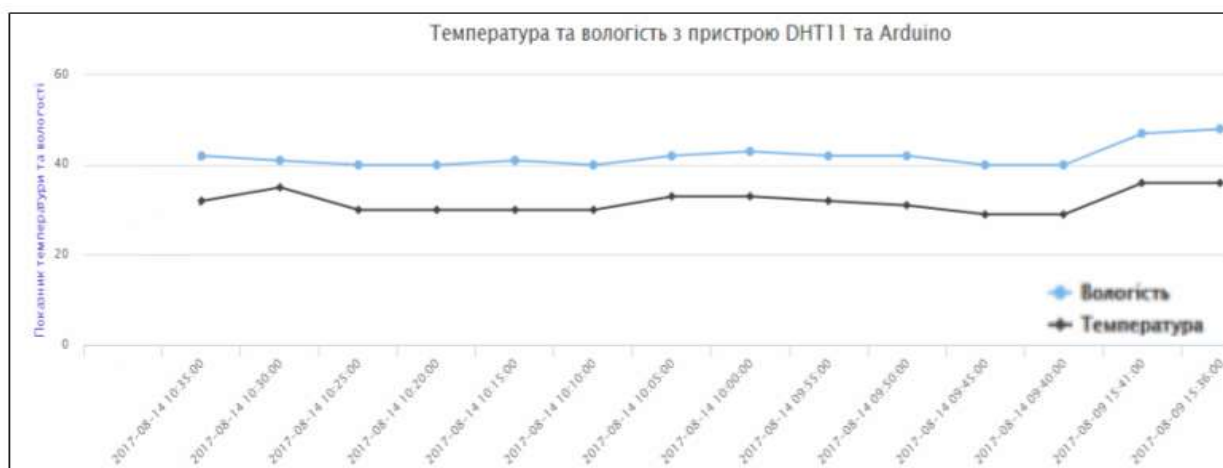


Рис. 3 – Графік відображення даних температури та вологості

отримані данні будуть зберігатися в розробленій базі даних, в нашому випадку у phpMyAdmin.

Все вищенаведене і дає змогу аналізувати та проводити моніторинг отриманих даних з будь-якого устаткування «Розумного будинку».

У перспективі ми розглянемо питання керування таким устаткуванням «Розумного будинку» як веб-камера (наприклад модель OV7670 300КР з VGA-модулем) через веб-сервер.

А це допоможе значно розширити можливості нашого проекту. Що в свою чергу дасть змогу підвищити ефективність проектування та роботи подібних систем, і в цілому, принесе значну користь, зручність та комфорт у будинки людей.

Список літератури

1. **Боос, Г. О.** Следящая система механизма подачи станка с ЧПУ с использованием "Arduino Uno" / **Г. О. Боос, А. С. Гордеев, Р. А. Просоедов** // *Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XLV междунар. науч.-практ. конф. № 4(41).* – Новосибирск: СибАК, 2015.
2. **Петин, В.** Проекты с использованием контроллера Arduino / **В. Петин.** Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. – 401 с.
3. **Момот, М.** Мобильные роботы на базе Arduino / **М. Момот.** - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.
4. **Massimo, B.** Getting Started with Arduino, 2nd Edition / **B. Massimo.** - MakerMedia, 2011. - 130 P.
5. **Марголис, М.** Arduino Cookbook / **М. Марголис.** - O'ReillyMedia, 2011. - 648 P.
6. **Монк, С.** Arduino Projects for the Evil Genius / **С. Монк.** - McGraw-Hill Book Company, Inc., 2010. - 208 P.
7. **Монк, С.** Programming Arduino: Getting Started with Sketches / **С. Монк.** – СПб.: Питер, 2017. - 452 P.
8. **McRoberts, M.** Beginning Arduino / **М. McRoberts.** – Apress, 2010. - 460 P.
9. **Agus, K.** Arduino and Genuino MKR1000 Development Workshop (+code) / **K. Agus.** - PE Press, 2016. - 125 P.
10. **Oxer, J.** PracticalArduino: Cool Projects for Open Source Hardware. / **J. Oxer, H. Blemings.** – Apress, 2009. - 445 P.
11. **Jones, D.** Arduino: Simple and Effective Strate giesto Learn Arduino Programming / **D. Jones.** – Amazon Digital Services LLC, 2017. - 81 P.
12. **Leong, K. C.** Arduino Web-Control system for Broiler house / **K. C. Leong** // Submitted to the Faculty of Electrical Engineering in partial fulfillment of the requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering. - *Faculty of Electrical Engineering. Universiti Teknologi Malaysia*, 2014. - 70 P.

Bibliography (transliterated)

1. **Boos, G. O.** Sledyaschaya sistema mehanizma podachi stanka s ChPU s ispolzovaniem "Arduino Uno". *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike: sb. st. po mater. XLV mezhdu-nar. nauch.-prakt. konf. 4(41).* – Novosibirsk: SibAK, 2015.
2. **Petin, V.** Proektyi s ispolzovaniem kontrollera Arduino. *Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg*, 2014.
3. **Momot, M.** Mobilnyie robotyi na baze Arduino. - *Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg*, 2017.
4. **Massimo, B.** Getting Started with Arduino, 2nd Edition. - *MakerMedia*, 2011.
5. **Margolis, M.** Arduino Cookbook. - *O'Reilly-Media*, 2011.
6. **Monk, S.** Arduino Projects for the Evil Genius. - *McGraw-Hill Book Company, Inc.*, 2010.
7. **Monk, S.** Programming Arduino: Getting Started with Sketches. – *SPb.: Piter*, 2017.
8. **McRoberts, M.** Beginning Arduino. – *Apress*, 2010.
9. **Agus, K.** Arduino and Genuino MKR1000 Development Workshop (+code). - *PE Press*, 2016.
10. **Oxer, J.** PracticalArduino: Cool Projects for Open Source Hardware. – *Apress*, 2009.
11. **Jones, D.** Arduino: Simple and Effective Strate giesto Learn Arduino Programming. – *Amazon Digital Services LLC*, 2017.
12. **Leong, K. C.** Arduino Web-Control system for Broiler house. Submitted to the Faculty of Electrical Engineering in partial fulfillment of the requirement for the degree of Bachelor in Electrical Engineering, *Faculty of Electrical Engineering. Universiti Teknologi Malaysia*, 2014, 70.

Відомості про авторів (About authors)

Лубко Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри комп'ютерних наук; м. Мелітополь, Україна, e-mail: di75ma@mail.ru.

Dmitro Lubko - Candidate of Engineering Sciences, Associate professor, Tavria State Agrotechnological University, Associate professor of the Department of Computer Science; Melitopol, Ukraine, e-mail: di75ma@mail.ru.

Литвин Юлія Олександрівна - асистент, Таврійський державний агротехнологічний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук; м. Мелітополь, Україна, e-mail: litwin.yu1994@gmail.com.

Yulia Lytvyn - assistant, Tavria State Agrotechnological University, assistant of the Department of Computer Science; Melitopol, Ukraine, e-mail: litwin.yu1994@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Лубко, Д. В. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика / **Д. В. Лубко, Ю. О. Литвин** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 62-67. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.10.

Please cite this article as:

Lubko, D., Lytvyn, Y. Methodology of Arduino designing as a Web-client and Web-server with the use of the DHT11 sensor and their comparative characteristics. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017, **32** (1254). – С. 62-67. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лубко, Д. В. Методология проектирования Arduino в качестве Web-client и Web-server с использованием датчика DHT11 и их сравнительная характеристика / **Д. В. Лубко, Ю. А. Литвин** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 62-67. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.10.

АННОТАЦИЯ В статье проанализирована возможность использования микроконтроллера Arduino в двух режимах: веб-сервер и веб-клиент, которые служат основой для разработки автономных интерактивных приборов либо может работать под управлением программного обеспечения, установленного на соединенном с ним компьютером. Разработанное программное средство имеет такие комплектующие, как: Arduino Uno, Ethernet shield, DHT11, резистор и провода типа «мама-папа». Представленный код программы дает возможность сравнить два режима работы Ардуино и выявить их определенные преимущества и недостатки в плане передачи, хранения и отображения определенных данных для пользователя.

Ключевые слова: Arduino; Ethernet shield; DHT11; web-server; web-client; датчик.

Поступила (received) 10.09.2017

УДК 681.511.4:661.333(075)

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТАТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ НАСИЧЕННЯ ОЧИЩЕНОГО РОЗСОЛУ ГАЗАМИ ВИРОБНИЦТВА СОДИ

А. М. ПЕРЕВЕРЗЄВА*, А. О. БОБУХ

¹кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

*email: pereverzieva_alya@ukr.net

АНОТАЦІЯ У статті розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди і алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії. Цей алгоритм використаний для розрахунків за результатами пасивного експерименту, серед інших показників: коефіцієнтів парної кореляції поміж чотирма параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку поміж ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статистики) та коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції поміж параметрами. Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соди.

Ключові слова: математична модель статистики; методи парної кореляції та множинної регресії; пасивний експеримент; комп'ютерно-інтегрована технологія.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF STATICS OF THE TECHNOLOGY SATURATION OF THE PURIFIED BRINE GAS PRODUCTION SODA

A. PEREVERZIEVA, A. BOBUKH

¹ department of automation of the technological systems and ecological monitoring. The National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In the article the basic principles of the mathematical model of the statics of the saturation technology of the purified brine by the soda production gases and the algorithm of the pair correlation and multiple regression methods are considered. This algorithm is used for calculations based on the results of a passive experiment, among other indicators: the coefficients of pair correlation between four parameters that characterize the degree of linear connection between them; unknown coefficients that determine the values of multiple regression coefficients; the definition of multiple regression (mathematical model of statics) and the coefficient of multiple correlation through the coefficients of pair correlation between parameters. The resulting mathematical model of statics can be used to develop this computer-integrated technology based on microprocessor controllers, will contribute to the efficient functioning and increase of energy saving in the whole production of soda ash.

Keywords: mathematical model of statics; methods of pair correlation and multiple regression; passive experiment; computer-integrated technology.

Вступ

Для сучасних технологій хімічних виробництв характерними являються: багатофакторність, наявність на їх входах неконтрольованих параметрів, змінювання характеристик основних збуджуючих впливів у широкому діапазоні, складні залежності поміж параметрами, відсутність теоретичної математичної моделі, значні запізнення за основними каналами керування, розподіленість параметрів тощо. Все це ускладнює процес керування такими технологіями, визначення математичної моделі та її адекватність реальній технології [1–4]. На практиці все більше використовують системи із комбінованим принципом керування, структурна схема яких має не менше двох каналів керування. Один із них працює за принципом керування за збудженням та має розімкнений контур відносно

параметру, яким керують, а другий – за принципом керування за відхиленням цього параметру від заданого значення та має замкнений контур. Основною перевагою комбінованого принципу керування є можливість отримати високу точність параметру, яким керують. А тому важливим постає питання дослідження поведінки комбінованих систем в стані рівноваги, тобто в статичі, при цьому треба досліджувати питання статичної точності – відхилення параметру, яким керують, від заданого значення при закінченні перехідного процесу [5–10].

Сучасний розвиток науково-технічного прогресу дозволяє розглядати основні принципи підвищення ефективності окремих технологій виробництва кальцинованої соди за рахунок визначення надійних математичних моделей статистики.

Мета роботи

Розглянути теоретичні підстави та розробити математичну модель статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС), які повинні бути економічними з точки зору необхідної для їх реалізації кількості операцій, сприяти підвищенню енергозбереження і покращанню ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології ВКС в цілому.

Виклад основного матеріалу

Математична модель статистики реальної технології зводиться до математичної задачі пошуку екстремуму функціонала заданого виду, залежно від якого екстремум знаходиться математичним шляхом, або за допомогою деяких обчислювальних процедур. Проблема математичного опису технологій зводиться до проблеми отримання інформації про стан керованих технологій, оцінювання їх параметрів, а також характеристик. Існує декілька підходів до вирішення проблеми математичного опису реальних технологій. При цьому підходи настільки різні, що виникає необхідність в зіставленні та аналізі принципів та існуючих методів математичного опису цих технологій, при цьому виділяють два підходи вирішення цієї задачі [5–10]:

а) фізико-математичний аналіз явищ, які обумовлюють динаміку процесів реальних технологій, але ці методи часто виявляються малоефективними;

б) експериментальні методи, при яких основну інформацію про реальну технологію отримують шляхом безпосереднього контролю відповідних параметрів, зважаючи на складність і різноманітність технологій.

За способами накопичення експериментальних даних методи математичного опису поділяють на активні та пасивні. Найбільш прийнятими у реальних виробничих умовах через неможливість впроваджувати штучні збурення є експериментальні пасивні методи, які не виключають можливості використання апріорної ("до досвіду") інформації про властивість досліджуваної технології.

Основним призначенням технології насичення очищеного розсолу газами (ТНОРГ), одержаних регенерацією розчинів ВКС [11], є отримання регламентної кількості та якості амонізованого розсолу та формування неперервного матеріального потоку цього розсолу. Особливе значення цієї технології має температура амонізованого розсолу, який спрямовується на технологію насичення його вуглекислим газом. ТНОРГ комплектується апаратами: промивач повітря вакуум-фільтрів (ППВФ), другий промивач газу карбонізаційних колон (ПГКЛ-2), промивач газу абсорбції (ПГАБ), абсорбер (АБ), які представляють собою абсорбційну

колону, та пластинчатий холодильник (ПХ). Разом ці апарати називають елементом ТНОРГ, а типова технологія ВКС складається із чотирьох таких елементів ($i = \overline{1,4}$).

Аналіз процесів ТНОРГ ВКС в статистиці краще всього виконувати за допомогою математичних моделей статистики з урахуванням основних допущень та обмежень. Для їх визначення необхідно використовувати експериментальні аналітичні методи, серед яких найбільше вживані методи парної кореляції та множинної регресії [6–10, 12–15].

Для ТНОРГ ВКС кожний елемент ($i = \overline{1,4}$) має контрольовані залежні (керовані) параметри (Y_{si}) $s = \overline{1, m}$; але найважливішим є температура амонізованого розсолу після кожного елементу, а тому $s = 1$; а незалежних (керуючі та корегуючі) параметрів (X_{ji}) $j = \overline{1, n}$; серед яких нам необхідні тільки три ($j = \overline{1, 3}$). Пасивний експеримент був проведений для першого елементу ($i = 1$), тому виконаємо спрощення запису умовних позначень для усіх нижче наведених параметрів та формул (тобто зменшимо кількість індексів):

залежний (керований) параметр (функція):

Y_1 – температура амонізованого розсолу після елементу, °C;

незалежний (керуючий) параметр:

X_1 – витрати очищеного розсолу в ПГКЛ-2, м³/год;

незалежні (корегуючі) параметри :

X_2 – температура амонізованого розсолу із АБ в ПХ, °C;

X_3 – температура пара-газової суміші із технології регенерації газів із розчинів ВКС в нижню частину АБ, °C;

Для функції Y_1 від трьох параметрів, коли:

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3), \quad (1)$$

розглянемо алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії [6–10]:

1) розрахунок простих середніх арифметичних значень за умови, якщо вага та частота кожного значення контрольованих параметрів однакові із числом вимірювань ($k = \overline{1, N}$), наприклад, для першого незалежного параметру $\overline{X_1}$, за формулою:

$$\overline{X_1} = \frac{\sum_{k=1}^N X_{1k}}{N}; \quad (2)$$

2) розрахунок відхилення усіх контрольованих параметрів від їх простих середніх арифметичних значень за формулами:

$$\begin{aligned} y &= Y_{1k} - \bar{Y}_1; x_1 = X_{1k} - \bar{X}_1; \\ x_2 &= X_{2k} - \bar{X}_2; x_3 = X_{3k} - \bar{X}_3; \end{aligned} \quad (3)$$

3) розрахунок середніх квадратичних відхилень тих же параметрів за формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sqrt{\sum_{k=1}^N y_k^2 / N}; \quad \sigma_{x_1} = \sqrt{\sum_{k=1}^N x_{1k}^2 / N}; \\ \sigma_{x_2} &= \sqrt{\sum_{k=1}^N x_{2k}^2 / N}; \quad \sigma_{x_3} = \sqrt{\sum_{k=1}^N x_{3k}^2 / N}; \end{aligned} \quad (4)$$

4) розрахунок коефіцієнтів парної кореляції поміж параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку поміж ними за формулами:

$$\begin{aligned} r_{yx_1} &= \sum_{k=1}^N y_k x_{1k} / N \sigma_y \sigma_{x_1}; \quad r_{yx_2} = \sum_{k=1}^N y_k x_{2k} / N \sigma_y \sigma_{x_2}; \\ r_{yx_3} &= \sum_{k=1}^N y_k x_{3k} / N \sigma_y \sigma_{x_3}; \quad r_{x_1 x_2} = \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} / N \sigma_{x_1} \sigma_{x_2}; \\ r_{x_1 x_3} &= \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} / N \sigma_{x_1} \sigma_{x_3}; \quad r_{x_2 x_3} = \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} / N \sigma_{x_2} \sigma_{x_3} \end{aligned} \quad (5)$$

5) розрахунок значення множинної регресії за формулою (математичної моделі статистики):

$$Y_{1k} - \bar{Y}_1 = a_1(X_{1k} - \bar{X}_1) + a_2(X_{2k} - \bar{X}_2) + a_3(X_{3k} - \bar{X}_3) \quad (6)$$

при цьому коефіцієнти a_1, a_2, a_3 визначаються із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_1 \sum_{k=1}^N x_{1k}^2 + a_2 \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + a_3 \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} &= \sum_{k=1}^N x_{1k} y_k; \\ a_1 \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + a_2 \sum_{k=1}^N x_{2k}^2 + a_3 \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} &= \sum_{k=1}^N x_{2k} y_k; \\ a_1 \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} + a_2 \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} + a_3 \sum_{k=1}^N x_{3k}^2 &= \sum_{k=1}^N x_{3k} y_k. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для визначення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3

системи рівнянь (7) застосуємо найбільш зручний метод, запропонований Фішером [10], для розв'язання симетричних систем лінійних рівнянь. Тому складемо наступні три системи лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} b_{11} \sum_{k=1}^N x_{1k}^2 + b_{12} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{13} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} &= 0; \\ b_{11} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{12} \sum_{k=1}^N x_{2k}^2 + b_{13} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} &= 1; \\ b_{11} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} + b_{12} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} + b_{13} \sum_{k=1}^N x_{3k}^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{21} \sum_{k=1}^N x_{1k}^2 + b_{22} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{23} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} &= 0; \\ b_{21} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{22} \sum_{k=1}^N x_{2k}^2 + b_{23} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} &= 1; \\ b_{21} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} + b_{22} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} + b_{23} \sum_{k=1}^N x_{3k}^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{31} \sum_{k=1}^N x_{1k}^2 + b_{32} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{33} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} &= 0; \\ b_{31} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{2k} + b_{32} \sum_{k=1}^N x_{2k}^2 + b_{33} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} &= 0; \\ b_{31} \sum_{k=1}^N x_{1k} x_{3k} + b_{32} \sum_{k=1}^N x_{2k} x_{3k} + b_{33} \sum_{k=1}^N x_{3k}^2 &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (8.3)$$

Ліві частини систем лінійних рівнянь (8.1), (8.2), (8.3) такі ж як відповідні частини системи рівнянь (7). Після визначення чисел b_{kj} , стають відомими невідомі a_1, a_2, a_3 , які задовольняють систему рівнянь (7) за допомогою наступних формул:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= b_{11} \sum_{k=1}^N y_{1k} + b_{12} \sum_{k=1}^N y_{2k} + b_{13} \sum_{k=1}^N y_{3k} \\ a_2 &= b_{21} \sum_{k=1}^N y_{1k} + b_{22} \sum_{k=1}^N y_{2k} + b_{23} \sum_{k=1}^N y_{3k} \\ a_3 &= b_{31} \sum_{k=1}^N y_{1k} + b_{32} \sum_{k=1}^N y_{2k} + b_{33} \sum_{k=1}^N y_{3k} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

6) розрахунок коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції поміж параметрами за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{r_{yx_1}^2 + r_{yx_2}^2 + r_{yx_3}^2 - 2r_{yx_1}r_{yx_2}r_{yx_3}}{1 - r_{x_1x_2}^2 - r_{x_1x_3}^2 - r_{x_2x_3}^2}} \quad (10)$$

Коефіцієнт множинної кореляції (R) показує оцінку близькості зв'язку поміж параметрами $Y_{1k}, X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}$ і являється своєрідним критерієм адекватності математичної моделі статистики та реальної ТНОРГ ВКС.

Обговорення результатів

Для перевірки вищенаведеного алгоритму (фор. 1–10) розглянемо результати розрахунків, які виконані за результатами проведення пасивного експерименту для першого елементу ($i=1$) ТНОРГ ВКС із числом (N) вимірювань, отримано $N=150$ значень контрольованих параметрів, для яких розраховані за формулою (2) та приведені (табл. 1) умовні позначення та прості середні арифметичні значення ($\bar{Y}_1, \bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$) відповідних параметрів.

Таблиця 1 – Умовні позначення та прості середні арифметичні значення контрольованих параметрів

$\bar{Y}$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$
30,45	85,52	64,54	59,87

Окрім того, за формулами (2) – (5) розраховані: середні квадратичні відхилення параметрів (σ):

$$\sigma_y = 3,23; \sigma_{x_1} = 7,91; \sigma_{x_2} = 8,05; \sigma_{x_3} = 4,78; \quad (11)$$

та коефіцієнти парної кореляції (r) поміж ними:

$$\begin{aligned} r_{yx_1} &= 0,419; r_{yx_2} = 0,398; r_{yx_3} = 0,544; \\ r_{x_1x_2} &= 0,441; r_{x_1x_3} = 0,392; r_{x_2x_3} = 0,482. \end{aligned} \quad (12)$$

За формулами (7), (8.1), (8.2), (8.3) та (9) розраховані невідомі коефіцієнти a_1, a_2, a_3 , які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії:

$$a_1 = -2,0959; a_2 = 0,7716; a_3 = -2,3482 \quad (13)$$

Отримані значення коефіцієнтів, а також прості середні арифметичні значення (табл. 1) підставляємо в формулу (6) та визначаємо рівняння множинної регресії (математичної моделі статистики):

$$Y = 30,45 - 2,0959(X_1 - 85,52) + 0,7716(X_2 - 64,34) - 2,3482(X_3 - 59,87) \quad (14)$$

Значення коефіцієнту множинної кореляції за формулою (10) для математичної моделі статистики (14) розраховано за коефіцієнтами парної кореляції поміж параметрами (12) визначено:

$$R = 0,771. \quad (15)$$

Порівняння розрахованої математичної моделі статистики ТНОРГ ВКС за значеннями коефіцієнтів множинної регресії (15) $R=0,771$ та парної кореляції (12) $r_{yx_1}=0,419; r_{yx_2}=0,398; r_{yx_3}=0,544; r_{x_1x_2}=0,441; r_{x_1x_3}=0,392; r_{x_2x_3}=0,482$ поміж параметрами говорить про те, що отримана математична модель статистики ТНОРГ ВКС адекватна реальній ТНОРГ ВКС.

При цьому треба пам'ятати, що коефіцієнти (13) $a_1; a_2; a_3$ та прості середні арифметичні значення параметрів (табл. 1) необхідно уточнювати в процесі функціонування реальної технології (один раз за робочу зміну).

Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки комп'ютерно-інтегрованої технології насичення очищеного розсолу газами ВКС на базі сучасних мікропроцесорних контролерів.

Модель економічна з точки зору необхідної для її реалізації кількості операцій, сприяє підвищенню енергозбереження і покращанню ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології ВКС в цілому.

Висновок

Розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди і алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії. Цей алгоритм використаний для розрахунків за результатами пасивного експерименту, серед інших показників: коефіцієнтів парної кореляції поміж чотирма параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку поміж ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статистики) та коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції поміж параметрами. Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соди за аміачним способом.

Список літератури

1. **Charlie, C.** Recent technology in design and manufacturing automation / **C. Charlie, L. Wang** // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2013. – 26. – doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
2. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research / **D. Frederic** // *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*. – 2010. – 6. – 147–180. – doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
3. **Советов, Б. Я.** Математическое моделирование / **Б. Я. Советов., С. А. Яковлев**. – М.: Высшая школа. – 2001. – 343 с.
4. **Степашко, В. С.** Методы и критерии решения задач структурной идентификации / **В. С. Степашко, Ю. Л. Кочерга** // *Автоматика*. – 1985. № 5. – С. 28–37.
5. **Елисеева, И. И.** Статистика / **И. И. Елисеева**. – М.: ТК Велби. – 2005. – 448 с.
6. **Ефимова, М. Р.** Общая теория статистики / **М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев**. – М.: ИНФРА-М. – 2007. – 416 с.
7. **Кобзарь, А. И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / **А. И. Кобзарь**. – М.: ФИЗМАЛИТ. – 2006. – 816 с.
8. **Chang, Y.-H. O.** Fuzzy regression methods—a comparative assessment / **Y.-H. O. Chang, B. M. Ayyub** // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2001. – 119 (2). – 187–203. doi:10.1016/S0165-0114(99)00091-3.
9. **Seraya, O. V.** Linear Regression Analysis of a Small Sample of Fuzzy Input Data / **O. V. Seraya, D. A. Demin** // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2012. – 44. – 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
10. **Крушель, Е. Г.** Обработка экспериментальной информации. Лабораторный практикум: учеб. пособие / **Е. Г. Крушель, А. Э. Панфилов, И. В. Степанченко**. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2014. – 55 с.
11. **Зайцев, И. Д.** Производство соды / **И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев**. – М.: Химия. – 1984. – 312 с.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming: These of reports / **J. T. Betts** // *SIAM, second edition*. – 2010. – 23–25. – doi: 10.1137/1.9780898718577.
13. **Lipovetsky, S.** Multiple Regression in Pair Correlation Solution / **S. Lipovetsky** // *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. – 8. – 122–131. – doi: 10.22237/jmasm/1241136600.
14. **Бобух, А. А.** Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография / **А. А. Бобух, Д. А. Ковалев**; под ред. А. А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова. – 2013. – 226 с.
15. **Бобух, А. А.** Выбор и оптимизация критерия управления объектом абсорбции-десорбции производства кальцинированной соды / **А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, А. Н. Переверзева** // *Щоквартальний науково-практичний журнал*

«Інтегровані технології та енергозбереження». Видавничий центр НТУ «ХПІ». – 2015. № 4. – С. 72–81.

Bibliographi (transliterated)

1. **Charlie, C., Wang, L.** Recent technology in design and manufacturing automation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013, **26**, doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
2. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research. *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*, 2010, **6**, 147–180, doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
3. **Sovetov, B. Ya., Yakovlev, S. A.** Matematicheskoe modelirovanie. M.: Vysshaya shkola, 2001, 343.
4. **Stepashko, V. S., Kocherga, Yu. V.** Metody i kriterii resheniya zadach strukturnoy identifikatsii. *Avtomatika*, 1985, **5**, 29–37.
5. **Yeliseyeva I.I.** Statistika / **I. I. Yeliseyeva**. M.: TK Velby, 2005, 448.
6. **Yefimova, M. R., Petrova, E. V., Rumyantsev, V. N.** Obschaya teoriya statistiki. – M.: INFRA-M, 2007, 416.
7. **Kobzar, A. I.** Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. M.: FIZMALIT, 2006, 816.
8. **Chang, Y.-H. O., Ayyub, B. M.** Fuzzy regression methods—a comparative assessment. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, **119** (2), 187–203. doi:10.1016/S0165-0114(99)00091-3.
9. **Seraya, O. V., Demin, D. A.** Linear Regression Analysis of a Small Sample of Fuzzy Input Data. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2012, **44**, 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
10. **Krushel, E. G., Panfilov, A. E., Stepanchenko, I. V.** Obrabotka eksperimentalnoy informatsii. Laboratorniy praktikum : ucheb. posobie. Volgograd : IUNL VolgGTU, 2014, 55.
11. **Zaytsev, I. D., Tkach, G. A., Stoev, N. D.** Proizvodstvo sody. – M.: Khimiya, 1984, 312.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming : These of reports. *SIAM, second edition*, 2010, 23–25, doi: 10.1137/1.9780898718577.
13. **Lipovetsky, S.** Multiple Regression in Pair Correlation Solution. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, **8**, 122–131, doi: 10.22237/jmasm/1241136600.
14. **Bobukh, A. A., Kovalev, D. A.** Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem: monografiya; pod red. A. A. Bobukha. – Kharkiv.: HNUGH im. A. N. Beketova, 2013, 226.
15. **Bobukh, A. A., Dzevochko, A. M., Podustov, M. A., Pereverzeva, A. N.** Vyibor i optimizatsiya kriteriya upravleniya ob'ektom absorbtzii-desorbtzii proizvodstva kaltsinirovannoy sodyi. *Schokvartalniy nauково-praktichniy zhurnal «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya»*. Vidavnichiy tsentr NTU «HPI». 2015, **4**, 72–81.

Відомості про авторів (About the Authors)

Переверзева Алевтина Миколаївна – аспірантка кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; e-mail: pereverzieva_alya@ukr.net.

Pereverzieva Alevtyna Mykolaivna – post-graduate student of Department of automation of the technological systems and ecological monitoring; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; e-mail: pereverzieva_alya@ukr.net.

Бобух Анатолій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; e-mail: aabobukh@ukr.net.

Bobukh Anatoliy Alekseevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate professor of Department of automation of the technological systems and ecological monitoring; e-mail: aabobukh@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Переверзєва, А. М. Розробка математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди / **А. М. Переверзєва, А. О. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 68-73. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

Pleas cite this article as:

Perverzjeva, A., Bobukh, A. Development of a mathematical model of statics of the technology saturation of the purified brine gas production soda. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 32 (1254), 68-73, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Переверзева, А. Н. Разработка математической модели статистики технологии насыщение очищенного рассола газами производства соды / **А. Н. Переверзева, А. А. Бобух** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 68-73. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

АННОТАЦІЯ В статті розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статистики технології насичення очищеного рассола газами виробництва соди і алгоритм методів парної кореляції і множинної регресії. Цей алгоритм використано для розрахунків по результатам пасивного експерименту, серед інших показувачів: коефіцієнтів парної кореляції між чотирма параметрами, які характеризують ступінь лінійної зв'язу між ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статистики) і коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції між параметрами. Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню і підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соди.

Ключові слова: математична модель статистики; методи парної кореляції і множинної регресії; пасивний експеримент; комп'ютерно-інтегрована технологія.

Поступила (received) 10.09.2017

УДК 658.562.012.7

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.12

МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

Л. М. ПЕРПЕРИ*, Г. А. ОБОРСКИЙ, А. М. ГОЛОБОРОДЬКО

Кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*email: lmp.mvms@ukr.net

АННОТАЦИЯ Определены атрибуты процесса, порядок его реализации с указанием конкретных действий и ответственных за его осуществление с целью получения информации, необходимой для последующей оценки процесса и определения его возможностей. Предложена многоуровневая модель управления процессом. Показано на примере применение модели управления при регламентации процесса проектирования и разработки образовательных программ в Одесском национальном политехническом университете с применением цикла Plan-Do-Check-Act (PDCA), который реализуется отдельно на каждом уровне управления. Выполнение различных видов деятельности в рамках процесса с применением цикла PDCA позволяет установить планы для каждой области деятельности на разных уровнях, провести анализ, оценку, корректирующие и улучшающие действия для выполненных работ.

Ключевые слова: образовательная деятельность; управление качеством; процессный подход; управление процессом; регламент процесса.

MULTI-LEVEL MODEL OF PROCESS MANAGEMENT

L. PERPERI, H. OBORSKYI, G. GOLOBORODKO

Department metal-cutting machines, metrology and certification, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Researched are the issues, related to the higher education system's educational services quality assurance and quality management. Determined are the process' attributes, its implementation procedure, with a detailed exposition of specific actions and responsible staff, that purposed to obtain the information necessary for the subsequent process evaluation and relevant opportunities determining. Defined is the approach to the development of the process-based activity model representation that takes into account the different management levels in the university structure. A multi-level process management model is proposed that embraces all implementation levels: top management level, associated with strategic management, results and management system effectiveness analysis based on process indicators, and tasks formulation based on management system analysis; process owner level, associated with the resources and process-related data management, work sequence established, data collection and analysis; process implementing link level, associated with the management compliant to the process rules and the relevant reports preparation.

Considered is the example of such management scheme model application when process regulation establishing in respect of educational programs elaborated and developed in the Odessa National Polytechnic University using the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle, implemented separately at each management level. Thus various activities' implementation within the process using the PDCA cycle allows elaborating and assigning plans for each area of activity at different levels, as well as to analyze, evaluate, correct and improve actions for works performed.

Keywords: educational activity; quality management; process approach; process management; process regulation.

Введение

В последнее время достаточно большое количество научных работ посвящено рассмотрению вопросов, связанных с обеспечением качества или управлением качеством предоставления образовательных услуг в сфере высшего образования. Особое внимание уделяется процессному подходу к управлению качеством [1-3].

В соответствии с контекстом основных понятий стандарта ДСТУ ISO 9000:2015 качество трактуется следующим образом [4]:

- организация, ориентированная на качество, способствует формированию культуры, которая оказывает влияние на поведение, отношение, деятельность и процессы, добавляющие ценность через удовлетворение потребностей и ожиданий заказчиков и других соответствующих заинтересованных сторон;

- качество услуг организации определяют способностью удовлетворять заказчиков, а также предусмотренным и непредсказуемым влиянием на соответствующие заинтересованные стороны;

- качество услуг охватывает не только их предусмотренные функции и характеристики, но также их воспринимаемые ценность и пользу для заказчика.

В соответствии с Законом Украины «О высшем образовании»: под качеством предоставления образовательных услуг понимают уровень организации образовательного процесса в высшем учебном заведении, соответствующий стандартам высшего образования, обеспечивающий получение лицами качественного высшего образования и способствующий созданию новых знаний [5]. Учитывая выше изложенное – качество образовательной услуги не может быть ограничено только удовлетворением требований, потребностей и ожиданиям заинтересованных сторон, оно также может влиять на репутацию ВУЗа и его конкурентоспособность на рынке предоставления образовательных услуг. Предоставление качественных образовательных услуг – это достаточно большой перечень составляющих, связанных с показателями и функциональными возможностями высшего учебного

заведения [6]. Поэтому рассмотрение этого вопроса более подробно является актуальной задачей.

Цель работы

Определить атрибуты процесса, порядок его реализации с указанием конкретных действий и ответственных за его осуществление с целью получения информации, необходимой для последующей оценки процесса и определения его возможностей.

Разработать модель деятельности в виде процесса, учитывающей различные уровни управления.

Изложение основного материала

Для успешного функционирования ВУЗ должен определить многочисленные взаимосвязанные виды деятельности, связанные с проектированием, предоставлением и совершенствованием предоставляемых образовательных услуг и осуществлять управление ими. Все это требует применения процессного подхода [7, 8]. Все виды деятельности организация может рассматривать как совокупность процессов. Для этого необходимо подробно описать все процессы, которые ВУЗ использует для достижения своих целей. В соответствии с положениями ДСТУ ISO 9001:2015 процессы организации можно разделить на процессы различных видов деятельности, связанных непосредственно с производством продукции (предоставлением услуг) и процессов системы, связанных с внутренними аудитами и анализом со стороны руководства. По определению ДСТУ ISO 9001:2015 «Процесс – совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих действий, которые преобразуют входные данные в выходы». Три основные концепции для управления процессами и системой в целом: риск-ориентированное мышление, применение цикла Шухарта-Деминга Plan-Do-Check-Act (PDCA) и технологический подход [9].

Систему процессов различных видов деятельности представляют в виде процессного ландшафта, как визуализацию того, какие виды деятельности осуществляются и как они взаимодействуют в организации. Процессный ландшафт отображает иерархию процессов и области деятельности организации. Области процессов делят на: процессы управления, основные процессы и поддерживающие процессы.

Рассмотрим подробнее вопросы, связанные с описанием и документированием процессов. Описание процесса – определяет порядок его реализации с указанием конкретных действий, сроков выполнения и ответственных. В каждой организации оформление регламентов процесса может быть различным: с применением информационных карт, положений, блок-схем процедур и др. Главное, структура регламента и информация, которую он отображает, должна быть представлена в соответствии с потребностями организации и удобна

в использовании. На наш взгляд такой документ должен иметь графическую и описательную составляющие, обеспечивающие получение информации, необходимой для последующей оценки процесса с целью улучшения и определения его возможностей. Внутренний нормативный документ для каждого процесса системы менеджмента качества ВУЗа, как правило, должен описывать следующие компоненты: 1) цель процесса, согласованная с целями и политикой ВУЗа; 2) идентификация процесса, определение границ; 3) ответственность, т.е. определение владельца процесса с соответствующими полномочиями для обеспечения функционирования процесса (если необходимо структурное(ые) подразделение(я), ответственное(ые) за процесс); 4) входы – информация для преобразования в выходы; 5) выходы – результат преобразования входов при реализации процесса; 6) ресурсы – средства для преобразования входов в выходы; 7) систему показателей и критериев результативности. Чаще всего для этого используют базовую графическую модель процесса, представленную на рисунке 1 [10].

Формальный подход, определяющий процесс как выполнение некоторой технологической последовательности действий (операций) не раскрывает сложности реальной деятельности при проведении анализа управления процессом. Действительно, большая часть процессов в организации, добавляющая ценность для удовлетворенности потребителей носит характер сквозных (межфункциональных) процессов, которые включают деятельность, выполняемую структурными подразделениями организации, имеющими различную функциональную и административную подчиненность. При этом работы, выполняемые в рамках структурных подразделений, осуществляются на уровне исполнителей. А принятие решений, согласований, утверждений и т.д., осуществляются с учетом с циркуляцией «сверху – вниз» (с учетом особенностей структурной модели организации) [11]. На практике, реализация процессной модели в ВУЗе без учета взаимосвязей со структурной моделью может приводить к: возможности появления дублирования функций разными структурными подразделениями, возникновению барьеров либо появлению зон безответственности. Поэтому, целесообразным, является подход к разработке модели представления деятельности в виде процесса, учитывающей различные уровни управления в структуре ВУЗа. Графическая многоуровневая модель управления процессом представлена на рисунке 2.

Управление на уровне высшего руководства связано со стратегическим управлением, анализом результативности и эффективности системы управления на основе показателей процессов, постановкой заданий на основе анализа системы управления. Управление на уровне владельца процесса связано с управлением ресурсами и

информацией по процессу, определением последовательности выполнения работ в процессе, организацией системы сбора информации о ходе выполнения процесса, анализом полученной информации и подготовки отчетов по определению возможностей и реализации улучшений процесса для первого уровня управления [12]. На уровне

исполнителей – связано с управлением процессом в соответствии с регламентом (положением, процедурой и др.), с подготовкой отчетов (записей) для второго уровня управления. Данная модель управления процессом может быть использована при регламентации основных процессов ВУЗа.

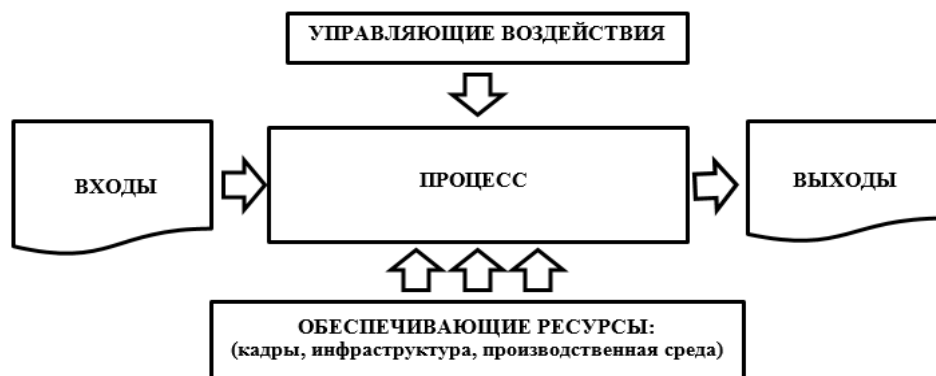


Рис. 1 – Базовая модель процесса

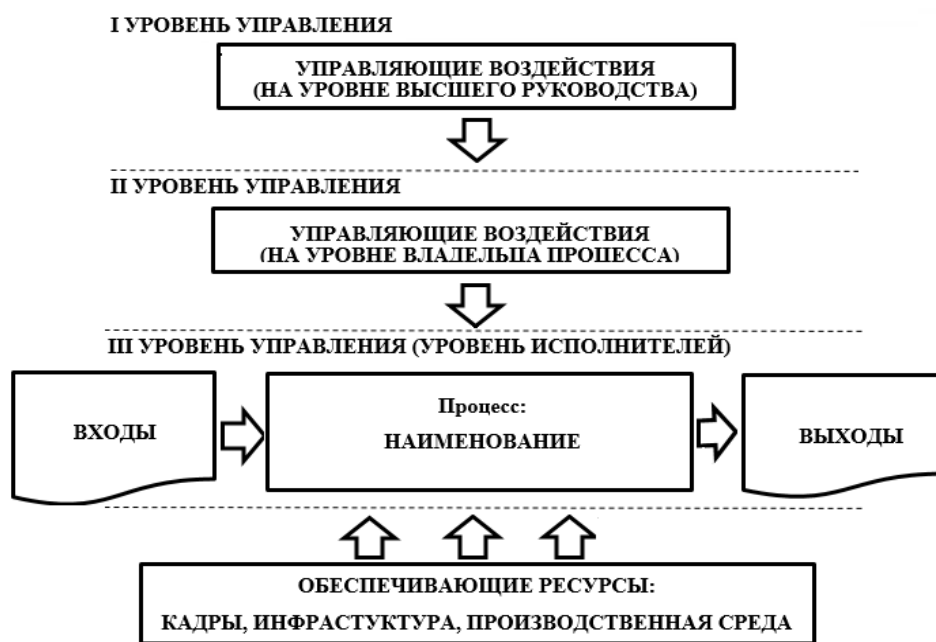


Рис. 2 – Многоуровневая модель управления процессом

В соответствии с процессным ландшафтом Одесского национального политехнического университета (ОНПУ) к основным процессам относятся процессы, связанные с образовательной деятельностью: приемом студентов, довузовской подготовкой, планированием и осуществлением образовательной и научной деятельности, выпуском и распределением специалистов, оценкой, анализом и улучшением образовательной деятельности, корректирующими и улучшающими действиями. Рассмотрим применение модели управления при регламентации процесса проектирования и разработки образовательных программ (ОП) в ОНПУ. Схема

управления процессом проектирования и разработки ОП ОНПУ представлена на рис. 3.

Деятельность на каждом уровне управления реализуется с применением цикла PDCA. Результатом деятельности этапа «Plan» (включение разработки ОП в приказ) первого уровня управления будет приказ для второго уровня управления, который одновременно является исполнителем этапа «Do» для первого и управлением для третьего уровней. Результатом деятельности этапа «Plan» второго уровня управления будет план последовательности выполнения работ по проектированию и разработке ОП для третьего уровня, который одновременно является исполнителем этапа «Do» для второго и

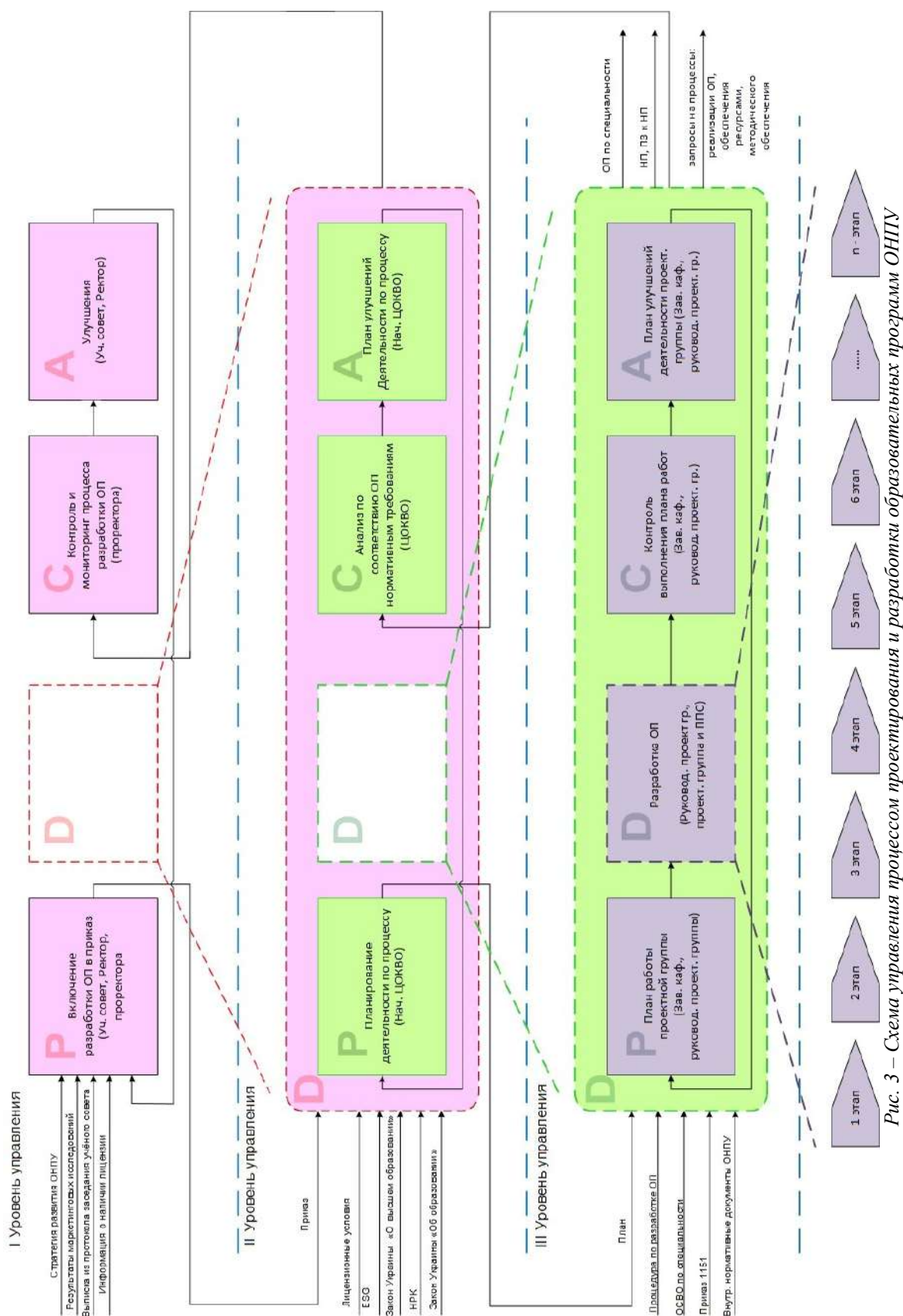


Рис. 3 – Схема управления процессом проектирования и разработки образовательных программ ОНПУ

управлением для профессорско-преподавательского состава (ППС), обеспечивающего специальность. Информация о результатах контроля этапа «Check» подвергается анализу на этапе «Act» и с планом улучшений передается с третьего уровня на второй и затем на первый для принятия решения по корректирующим действиям, которые смогут обеспечить более эффективное управление процессом.

Основные компоненты внутреннего нормативного документа – информационной карты процесса:

1) цель процесса – разработка ОП, соответствующей установленным требованиям образовательного стандарта высшего образования (ОСВО) соответствующего образовательного уровня, специальности, удовлетворяющей запросы всех стейкхолдеров процесса;

2) идентификация процесса, определение границ – основной процесс, устанавливает последовательность действий при разработке ОП в рамках образовательного процесса;

3) ответственность – ответственным за поддержание процесса (процедуры) является начальник центра по обеспечению качества высшего образования, требования этой документированной процедуры распространяются на все структурные подразделения ОНПУ (кафедры, осуществляющие или планирующие осуществлять процесс подготовки бакалавров, магистров и аспирантов); ответственными за выполнение положений процедуры являются руководители структурных подразделений ОНПУ (кафедр), осуществляющих образовательную деятельность;

4) входы – стратегия развития ОНПУ, результаты маркетинговых исследований, выписка из протокола заседания учёного совета, информация о наличии лицензии, лицензионные условия, ESG, Закон «О высшем образовании», национальная рамка квалификаций (НРК), Закон «Об образовании», процедура по разработке ОП, ОСВО, приказ 1151, внутренние нормативные документы ОНПУ;

5) выходы – ОП по специальности (специализации), учебный план и пояснительная записка к нему (НП, ПЗ к НП), запросы на процессы: реализации ОП, обеспечения ресурсами, методического обеспечения;

6) ресурсы – ППС, инфраструктура, среда для функционирования процесса;

7) систему показателей и критериев результативности – процент утвержденных ОП, процент ОП согласованных с стейкхолдерами процесса; для оценки процесса – методы мониторинга и измерения процесса, контроль соответствия документов ОП требованиям ОСВО, процедуры по разработке ОП, анализ данных и информации, составление отчета о выполнении плана ОНПУ по разработке ООП на календарный год.

Исполнители третьего уровня управления работают согласно процедуре по разработке ОП, утвержденной Ученым советом университета.

Выводы

Применение многоуровневой модели управления процессами позволяет реализовать политику и процедуры стратегического управления сквозными процессами, распределить ответственность и полномочия при осуществлении отдельных этапов процесса. Выполнение различных видов деятельности в рамках процесса с применением цикла PDCA позволяет установить планы для каждой области деятельности на разных уровнях, выполнять работу в соответствии с планом, осуществлять своевременный контроль и вносить необходимые улучшения.

Список литературы

1. **Radoica, L.** Synergistic effects of total quality management and operational risk management in central banks / **L. Radoica** // *International Journal for Quality research*. – 2012. – Vol.6, No. 4. – P. 381 – 388.
2. **Goran, P.** Mechanisms to promote continuous improvement in quality management systems / **P. Goran, A. Paulo** // *International Journal for Quality research*. – 2016. – 9(1). – P.1-7.
3. **Živojinović, S.** Support of quality management system and balanced scorecard in the integration of normative, strategic and operational management / **S. Živojinović, A. Stanimirović** // *International Journal for Quality research*. – 2012. – Vol.6, No. 4. – P. 389 – 401.
4. **ДСТУ ISO 9000:2015.** Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). – Введ. 2017 – 01–01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45с.
5. **Закон України «Про вищу освіту»** №1556-VII від 1 липня 2014 року (Редакція від 27.07.2017). Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
6. **Oborsky, G.A.** Functioning principles of the internal quality assurance system of educational services / **G.A. Oborsky, G.M. Goloborodko, L.M. Perperi, V.P. Guhnin, Yu.G. Palennyi** // *Odes'kyi Politechnichniy Universytet.Pratsi.* – 2016. – 3(50). – P.70-73. – doi: 10.15276/opu.3.50.2016.12.
7. **ДСТУ ISO/IEC 20000-1:2015.** Інформаційні технології. Менеджмент послуг. Частина 1. Вимоги до системи управління послугами (ISO/IEC 20000-1:2015). – Введ. 2016 – 01 – 01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 25 с.
8. **ДСТУ EN ISO 22301:2014.** Соціальна безпека. Системи управління безперервністю бізнесу (ISO 22301:2014) – Введ. 2016 – 01 – 01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 21 с.
9. **ДСТУ ISO 9001:2015.** Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). – Введ. 2016 – 07 – 01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 22 с.
10. **Базовая модель процесса** [Электронный ресурс] / Иллюстрации и графические материалы // Режим доступу: http://www.big.spb.ru/publications/other/pic/pic_1_base_model_process.shtml.
11. **Управление процессами систем менеджмента качества на предприятиях машиностроения: учеб. пособие** / В.А. Барвинок [и др.]; под общ. ред. чл.-кор. РАН, д-ра техн. наук, проф. В.А. Барвинка. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2012. – 380 с.
12. **Перпери, Л.М.** Аспекты реализации процессного подхода в ВУЗе / **Л.М. Перпери** // *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 17-й Междунар. науч.-практ. Конф.* – 2017. – Киев: АТМ України. – С. 138 – 140.

Bibliography (transliterated)

1. **Radoica, L.** Synergistic effects of total quality management and operational risk management in central banks. *International Journal for Quality research*. 2012, **6**, 4, 381-388.
2. **Goran, P., Paulo, A.** Mechanisms to promote continuous improvement in quality management systems. *International Journal for Quality research*. 2016, **9**(1), 1-7.
3. **Živojinović, S., Stanimirović, A.** Support of quality management system and balanced scorecard in the integration of normative, strategic and operational management. *International Journal for Quality research*, 2012, **6**, 4, 389 – 401.
4. **DSTU ISO 9000:2015.** Sistemi upravlinnya yakistyu. osnovni polozhennya ta slovník terminiv (ISO 9000:2015, IDT). - Vved. 2017 - 01-01. - K.: DP «UkrNDNTs», 2016, 45.
5. **Zakon Ukraini «Pro vischu osvitu» #1556-VII vld 1** lipnya 2014 roku (Redaktsiya vid 27.07.2017). Rezhim dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
6. **Oborsky, G.A., Goloborodko, G.M., Perperi, L.M., Guhnin, V.P., Palennyi, Yu.G.** Functioning principles of the internal quality assurance system of educational services. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*, 2016, **3**(50), 70 – 73. – doi: 10.15276/opu.3.50.2016.12.
7. **DSTU ISO/IEC 20000-1:2015.** Informatsiyni tehnologiyi. Menedzhment poslug. Chastina 1. Vimogi do sistemi upravlinnya poslugami (ISO/IEC 20000-1:2015). – Vved. 2016 – 01 – 01. – K.: DP «UkrNDNTs», 2016. 25 s.
8. **DSTU EN ISO 22301:2014.** Sotsialna bezpeka. Sistemi upravlinnya bezperervnistyu biznesu (ISO 22301:2014) – Vved. 2016 – 01 – 01. – K.: DP «UkrNDNTs», 2015. 21 s.
9. **DSTU ISO 9001:2015.** Sistemi upravlinnya yakistyu. Vimogi (ISO 9001:2015, IDT). – Vved. 2016 – 07 – 01. – K.: DP «UkrNDNTs», 2016. 22 s.
10. **Bazovaya model protsessa** [Elektronnyy resurs] / Illyustratsii i graficheskie materialy // Rezhim dostupu // Rezhim dostupu: http://www.big.spb.ru/publications/other/pic/pic_1_base_model.
11. **Upravlenie protsessami sistem menedzhmenta kachestva na predpriyatiyah mashinostroeniya: ucheb. Posobie / V.A. Barvinok [i dr.]; pod obsch. red. chl.-kor. RAN, d-ra tehn. nauk, prof. V.A. Barvinka. – Samara: Izd-vo SNTs RAN, 2012. – 380 s. – Bibliogr.: s. 328 – 334.**
12. **Perperi, L.M.** Aspekty realizatsii protsessnogo podhoda v VUZe. *Kachestvo, standartizatsiya, kontrol: teoriya i praktika: Materialy 17-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* 2017, Kiev: ATM Ukrainyi, 138 – 140.

Сведения об авторах (About authors)

Перпери Людмила Михайловна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, консультант центра по обеспечению качества высшего образования, доцент кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; г. Одесса, Украина; e-mail: lmvms@ukr.net.

Liudmyla Perperi – PhD, Odessa National Polytechnic University; Consultant of the Centre for quality assurance in higher education, Docent of the department metal-cutting machines, metrology and certification; Odessa, Ukraine; e-mail: lmvms@ukr.net.

Оборский Геннадий Александрович – доктор технических наук, Одесский национальный политехнический университет, ректор, профессор кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; г. Одесса, Украина; e-mail: rector@opu.ua.

Hennadii Oborskyi – doctor technical sciences, Odessa National Polytechnic University; rector, professor of the department metal-cutting machines, metrology and certification; Odessa, Ukraine; e-mail: rector@opu.ua.

Голобородько Анна Михайловна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, начальник сектора центра по обеспечению качества высшего образования, доцент кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; г. Одесса, Украина; e-mail: amg.mvms@ukr.net.

Ganna Goloborodko – PhD, Odessa National Polytechnic University; Head of sector of the Centre for quality assurance in higher education, associate professor of the department metal-cutting machines, metrology and certification; Odessa, Ukraine; e-mail: amg.mvms@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Перпери, Л. М. Многоуровневая модель управления процессом / **Л. М. Перпери, Г. А. Оборский, А. М. Голобородько** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 74-79. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.12.

Please cite this article as:

Perperi, L., Oborskyi, H., Goloborodko, G. Multi-level model of process management. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 74–79, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.12.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Перпері, Л. М. Багаторівнева модель управління процесом / **Л. М. Перпері, Г. О. Оборський, Г. М. Голобородько** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017 – № 32 (1254). – С. 74-79. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.12.

АНОТАЦІЯ Визначено атрибути процесу, порядок його реалізації із зазначенням конкретних дій і відповідальних за його здійснення з метою отримання інформації, необхідної для подальшої оцінки процесу і визначення його можливостей. Запропоновано багаторівневу модель управління процесом. Показано на прикладі застосування моделі управління при регламентації процесу проектування і розробки освітніх програм в Одеському національному політехнічному університеті із застосуванням циклу Plan-Do-Check-Act (PDCA), який реалізується окремо на кожному рівні управління. Виконання різних видів діяльності в рамках процесу із застосуванням циклу PDCA дозволяє встановити плани для кожної області діяльності на різних рівнях, провести аналіз, оцінку, коригувальні та поліпшувальні дії для виконаних робіт.
Ключові слова: освітня діяльність; управління якістю; процесний підхід; управління процесом; регламент процесу.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 004.9

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.13

АНАЛІЗ НОТАЦІЙ МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ РЕГЛАМЕНТІВ

К. О. ЩЕРБИНА

каф.ЕК, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, УКРАЇНА
*email: Kateryna.Shcherbina1@nure.ua

АНОТАЦІЯ Розглянуто нотації моделювання бізнес-процесів та проведено їх аналіз щодо створення інтерактивних регламентів. У статті визначено критерії для порівняльного аналізу нотацій моделювання бізнес-процесів, зважаючи на мету роботи. В результаті дослідження виявлено необхідність у створенні нової або доробці існуючої нотації, що повністю задовольняла б вимоги щодо нотації інформаційної технології, що розробляється.

Ключові слова: нотація; моделювання; бізнес-процес; регламент; інформаційна технологія.

ANALYSIS OF NOMINATIONS OF MODELING BUSINESS PROCESSES ON THE ESTABLISHMENT OF INTERACTIVE RULES

К. О. SHCHERBYNA

Kaf.EK, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Recently, in the description and modeling of regulations intensively developed and applied graphic approaches. It is recognized that graphic methods have the greatest efficiency in solving tasks related to the description, analysis and optimization of the company. In this regard, all start-up entrepreneurs are faced with the construction of business processes of their future business. Before them there is a wide selection of notations that have their advantages. This article is a continuation of the experiments described in previous publications. After conducting a comparative analysis of information technology for the creation of interactive regulations, there was a need for more detailed consideration and analysis of the notations that they use. Notices of modeling of business processes were considered and their analysis on creation of interactive regulations was conducted. In order to determine the notation that will become the tool for the information technology being developed, a number of criteria have been selected that it should satisfy. The advantages and disadvantages of the notations examined were determined and their comparison according to the selected criteria was made. As a result of the study, it was found that none of them fully meet the requirements we have set, namely: to be able to describe the regulations, to be intuitive to specialists with little or no experience in using visualization, and to have a minimum need for employee training. Thus, there is a need to create a new or complementary existing notation that fully meets these requirements. Also in the article the basis for creating the notation that will be used in the information technology being developed is chosen.

Keywords: notation; modeling; business process; regulations; information technology.

Вступ

Останнім часом при описі та моделюванні регламентів інтенсивно розвиваються і застосовуються графічні підходи. Визнано, що графічні методи мають найбільшу ефективність при вирішенні завдань, пов'язаних з описом, аналізом і оптимізацією діяльності компанії [1]. У зв'язку з цим всі підприємці початківці стикаються з побудовою бізнесів-процесів своєї майбутньої справи. Перед ними постає широкий вибір нотацій, які мають свої переваги.

Нотація – це набір знаків і правил, які використовуються для графічного опису, моделювання бізнес-процесів. Простіше кажучи, нотація визначає як ми позначаємо на схемі процеси, операції, події, і за якими правилами поєднуємо їх між собою [1].

Великий вибір нотацій призводить до деякого замішання серед кінцевих користувачів, котрі дані технології застосовують на практиці в організації.

Звідси виникає удавана складність застосування процесних технологій [2].

Ціль роботи

Ця стаття є продовженням дослідів, які описано у попередніх публікаціях [3]. Після проведення порівняльного аналізу інформаційних технологій щодо створення інтерактивних регламентів виникла необхідність більш детального розгляду та аналізу нотацій, що вони використовують.

В ході роботи [3] було виявлено, що моделі всіх технологій, які розглядалися, представлені у графічному вигляді. Це ще раз доводить те, що графічний формат найкращим чином підходить для відображення послідовності виконання функцій і їх взаємодій.

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на мету роботи та в результаті проведення порівняльного аналізу інформаційних

технологій щодо створення інтерактивних регламентів [1], вважаємо необхідним розглянути наступні нотації моделювання бізнес-процесів: Basic Flowchart, BPMN, UML, IDEF0, IDEF3, DFD та eEPS.

1) **Basic Flowchart** – нотація, що представляє собою варіант покрокового виконання алгоритму. Використовується на нижчому рівні опису бізнес-моделі [4].

Перевагою даної нотації є те, що використання Basic Flowchart не вимагає спеціальних знань, тобто співробітникам з мінімальним рівнем підготовки вона буде досить зрозумілою.

Недоліком Basic Flowchart є те, що набір графічних елементів дуже обмежений для передачі повної інформації про бізнес-процес. Наприклад, на діаграмі ніяк не позначено учасників бізнес-процесу, що значно ускладнює роботу з нотацією.

2) **BPMN** (Business Process Management Notation) – нотація управління бізнес-процесами. Вона є зручною, гнучкою, наочною, функціональною і, разом з тим простою нотацією [5].

У BPMN наявний набір знаків, достатній для опису будь-якого процесу і позначення будь-яких типів подій. Умовно їх можна поділити на дві групи.

Перша група містить повний перелік елементів BPMN, що включає основні елементи, які дозволяють задовольняти вимогам комплексного графічного опису та керувати більш складними ситуаціями моделювання з використанням інструментальних засобів.

Друга група містить набір основних графічних елементів BPMN, що задовольняють вимогам простого графічного опису. Графічні елементи, що входять до цієї групи, визначають достатню наочність і більш легке сприйняття BPMN.

Для створення візуальних моделей бізнес-процесів можна використовувати тільки другу групу основних графічних елементів.

Перевагою BPMN є інтуїтивна зрозумілість для фахівців без або з невеликими навичками у використанні візуалізації процесів.

Недоліком нотації є те, що вона включає надмірну кількість графічних елементів, які роблять її надлишково універсальною та функціональною.

3) **UML** (англ. Unified Modeling Language – уніфікована мова моделювання) – мова графічного опису для об'єктного моделювання в області розробки програмного забезпечення, моделювання бізнес-процесів, системного проектування та відображення організаційних структур [6].

Перевагою UML є об'єктно-орієнтованість мови. Виходячи з цього, методи опису порівняно недалеко від сучасних об'єктно-орієнтованих мов. [7].

Нотація UML часто критикується як невинуватно велика і складна. Вона включає багато надлишкових або практично невикористовуваних діаграм і конструкцій, а це в свою чергу потребує більших зусиль для її вивчення та освоєння.

Недоліком нотації можна вважати те, що UML застосовують для моделювання бізнес-процесів з певними труднощами, бо основним призначенням нотації все ж є моделювання програмного забезпечення. Дана нотація не цілком пристосована для опису та моделювання регламентів.

4) **IDEF0** – методологія функціонального моделювання. За допомогою наочної графічної мови IDEF0 система, що вивчається, постає перед розробниками і аналітиками у вигляді набору взаємопов'язаних функцій (функціональних блоків – в термінах IDEF0) [8].

Перевагою IDEF0 є структурність та наявність жорстких вимог нотації, що дозволяє отримати модель процесів стандартного вигляду.

До недоліків IDEF0 можна віднести складність сприйняття схем процесів співробітниками організації, які не мають специфічного досвіду. Це спричинено не великою кількістю графічних елементів – усього двох та відсутності логічних елементів, що дуже важливо при використанні нотації для опису великих регламентів.

Слід також зазначити, що ефективно застосування нотації передбачає навчання як співробітників, так і керівників вмінно читати і аналізувати схеми процесів.

Для опису часової послідовності і алгоритмів виконання робіт стандарт IDEF0 не підходить. Для вирішення цього завдання стандарт IDEF0 отримав подальший розвиток в результаті чого був розроблений стандарт IDEF3, який входить в сімейство стандартів IDEF.

Оскільки дана нотація з самого початку була призначена технічних спеціалістів, в ній присутня велика кількість спеціальних знаків, що призводить до необхідності попереднього навчання працівників.

Як і в попередній нотації, модель, побудована в IDEF3, важко сприймається неспеціалістами.

До недоліків можна також віднести незручність використання нотації при веденні великих за масштабом та тривалістю проектів.

5) **eEPC** – це нотація опису бізнес-процесів у вигляді послідовності подій і функцій. Діаграми даної нотації часто використовують для складання покрокових інструкцій для працівників [9].

Перевагою eEPC є те, що в ній немає жорсткого набору обов'язкових елементів. Звичайно, є певний базовий набір правил, з яких складається "стрижень" нотації, але додатково до базових елементів можна додати свої елементи, визначити правила їх використання і зовнішній вигляд. Додані елементи можна зафіксувати в угоді про моделювання і використовувати усіма учасниками як для моделювання так і для читання [9].

На навчання правилам нотації eEPC потрібно близько 2-х годин (при наявності бажання співробітника), спеціальні курси не обов'язкові [10].

До недоліків нотації можна віднести значну трудомісткість формування схем, а також те, що

отримана схема займає занадто багато місця. Це, в свою чергу, робить модель, побудовану за допомогою нотації eEPC, важкою для сприйняття.

6) **DFD** – нотація опису процесів верхнього рівня і потоків даних, які перетворюються функціями даного процесу. На діаграмі потоків даних відображаються роботи, що входять до складу бізнес-процесу, а також входи і виходи кожної з робіт [11].

Перевагою DFD є можливість опису процесів нижнього рівня. Це потрібно для подолання логічної незавершеності моделі і побудови повністю функціональної специфікації для системи, що розроблюється.

Для використання нотації необхідне попереднє навчання співробітників і керівників.

Зважаючи на наявність спеціальних знаків, неспеціалістам не завжди вдаватиметься інтуїтивно зрозуміти побудовані в DFD схеми.

Недоліком нотації можна вважати неможливість аналізу часових проміжків, хоча в більшості випадків тимчасова послідовність робіт і збігається з напрямком руху потоків в бізнес-процесі.

Таким чином, можна зробити висновок, що розглянуті нотації, з одного боку, в чомусь схожі між собою, але, з іншого боку, мають свої особливості в погляді як на сам процес, так і на його оточення. Тому, дуже важливим питанням є правильний вибір нотації для точного вирішення завдань конкретного

проекту – що і стане одним з основних факторів його успіху.

Для визначення нотації, яка стане інструментом для інформаційної технології, що розробляється, важливо визначити ряд критеріїв, яким вона повинна відповідати.

По-перше – можливість опису регламентів. Даний критерій є одним з основних, оскільки відсутність даної можливості унеможливить використання нами нотації.

По-друге, важливою якістю нотації є, на наш погляд, інтуїтивна зрозумілість схем, що дасть змогу працювати з ними спеціалістам з невеликим або відсутнім досвідом використання візуалізації. Іншими словами, структурні моделі та графічні схеми процесів повинні бути зрозумілі не тільки бізнес-аналітикам і співробітникам ІТ-відділів.

По-третє, істотно вплинути на вибір нотації може необхідність в попередньому навчанні працівників. Це тягне за собою великі витрати та займає деякий час.

По-четверте, необхідно визначити недоліки нотації. Завдяки цьому ми можемо проаналізувати можливі складнощі при використанні певної нотації.

Отже, порівняємо розглянуті нотації за визначеними критеріями, згрупувавши їх у вигляді таблиці (див.таблицю).

Таблиця – порівняння нотацій

№з/п	Критерій	Можливість опису регламентів	Інтуїтивна зрозумілість схем	Необхідність в навчанні співробітників	Недоліки
	Нотація				
1	Basic Flowchart	Так	Середня	Мінімальна	Обмежений набір графічних елементів
2	BPMN	Так	Висока (тільки для невеликих моделей)	Середня	Складно моделювати великі ієрархічні системи
3	UML	Ні	Низька	Максимальна	Невиправдано велика і складна, майже не пристосована для моделювання регламентів
4	IDEF0	Так	Низька	Максимальна	Складність сприйняття схем процесів співробітниками організації
5	IDEF3	Так	Низька	Максимальна	Незручність використання при веденні великих за масштабом та тривалістю проектів
6	DFD	Так	Середня	Середня	Неможливість аналізу часових проміжків
7	eEPC	Так	Середня	Мінімальна	Значна трудомісткість формування схем

Висновки

Порівнявши зазначені нотації, можна зробити висновок, що жодна з них в повному обсязі не відповідає зазначеним нами вимогам, а саме: мати можливість опису регламентів, бути інтуїтивно зрозумілою спеціалістам з невеликим або відсутнім досвідом використання візуалізації та мати мінімальну необхідність у навчанні працівників. Таким чином, виникає необхідність у створенні нової або доробці існуючої нотації, що повністю задовольнила б дані вимоги.

Основою для створення даної нотації вважаємо доцільним обрати нотацію BPMN. У початковому вигляді BPMN має надлишковий набір графічних елементів. Спростивши та зменшивши їх зайву функціональність, виникає можливість створення DSL (Domain Specific language). Ця мова, будучи об'єктно-орієнтованою щодо відображення регламентів у будь-якої предметної області, буде нотацією в інформаційній технології, котра розробляється.

Список літератури

1. **Васильева, А. П.** Сравнительный анализ методологии описания бизнес-процессов / **А. П. Васильева** // *Scientific studies: theory, methodology and practice: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Cheboksary, 21 мая 2017 г.)*. — Cheboksary: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. — С. 42–47.
2. **Ротер, М.** Учитесь видеть бизнес-процессы. Практика построения карт потоков создания ценности / **М. Ротер, Д. Шук** // Пер. с англ. — 2-е изд. — Москва: Альпина Бизнес Букс, 2008. — 138 с.
3. **Щербина, К. О.** Порівняльний аналіз інформаційних технологій щодо створення інтерактивних регламентів : колективна монографія / **К. О. Щербина** // Математичні моделі та новітні технології управління економічними та технічними системами. — Харків: ФОП Мазіна В.В., 2017. — С. 253–260.
4. Нотация Процесс (Basic Flowchart, простая блок-схема) [Электронный ресурс] // Заметки управленца. — 2008. — Режим доступа до ресурсу: http://www.businessstudio.com.ua/bp/bs/overview/notation_basic_flowchart.php (дата звернення 29.06.17).
5. **Silver, B.** BPMN Method and Style, with BPMN Implementer's Guide / 2nd edn. CodyCassidy Press. — 2011.
6. **Ларман, К.** Применение UML и шаблонов проектирования / Пер. с англ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. — 624 с.
7. **Гради Буч.** Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / **Г.Буч** // 3 издание: Пер с англ. М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2008.

8. **Марка, Д. А.** Методология структурного анализа и проектирования / **Д. А. Марка, К. МакГоуэн**. — М.: МетаТехнология, 1993. — 240 с.
9. Описание нотации EPC [Электронный ресурс] // ОптимаСофт. — 2011. — Режим доступа до ресурсу: <http://www.optimasoft.info/info/articles/opisanie-notatsii-epc/> (дата звернення 05.08.17).
10. **Шеер, А. В.** ARIS - моделирование бизнес-процессов / **А. В. Шеер**. — Вильямс, 2000. — 175 с.
11. **Сыроежкина, М.** Путеводитель по нотациям и методологиям [Электронный ресурс] / **М. Сыроежкина** // На заметку. — 2010. — Режим доступа до ресурсу: <http://www.nazametku.com/dlia-raboty/putevoditel-po-notatsiyam-i-metodolog/> (дата звернення 05.09.17).

Bibliography (transliterated)

1. **Vasil'yeva, A. P.** Sravnitel'nyy analiz metodologii opisaniya biznes-protssessov [Tekst] / **A. P. Vasil'yeva** // *Scientific studies: theory, methodology and practice: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Cheboksary, 21 maya 2017 g.)* / redkol.: **O. N. Shirokov** [i dr.]. — Cheboksary: TSNS «Interaktiv plyus», 2017, S. 42–47.
2. **Roter, M., Shuk, D.** Uchites' videt' biznes-protssessy. Praktika postroyeniya kart potokov sozdaniya tsennosti. Roter., Per. s angl. — 2-ye izd. — Moskva: Al'pina Biznes Buks, 2008, 138 s.
3. **Shcherbina, K. O.** Porivnyal'nyy analiz informatsiynikh tekhnologiy shchodo stvorenniya interaktivnikh reglamentiv [Tekst] : kolektivna monografiya. Matematichni modeli ta novitni tekhnologii upravlinnya yekonomichnimi ta tekhnichnimi sistemami — Kharkiv: FOP Mazina V.V., 2017, S. 253–260.
4. Notatsiya Protssess (Basic Flowchart, prostaya blok-skema) [Yelettronniy resurs] // Zаметки upravlentса. — 2008. — Rezhim dostupu do resursu: http://www.businessstudio.com.ua/bp/bs/overview/notation_basic_flowchart.php (data zvernennya 29.06.17).
5. **Silver, B.** BPMN Method and Style, with BPMN Implementer's Guide/ 2nd edn. CodyCassidy Press — 2011.
6. **Larman, K.** Primeneniye UML i shablonov proyektirovaniya/Per. s angl. M. : Izdatel'skiy dom «Vil'yame», 2004. 624 s.
7. **Gradi Buch.** Ob'yektno-orientirovannyi analiz i proyektirovaniye s primerami prilozheniy. 3 izdaniye: Per s angl. M. : ООО «I.D. Vil'yams», 2008.
8. **Marka, D. A., MakGouen, K.** Metodologiya strukturnogo analiza i proyektirovaniya. M.: MetaTekhnologiya, 1993, 240 s.
9. Opisanie notatsii EPC [Yelettronniy resurs] // OptimaSoft. — 2011. — Rezhim dostupu do resursu: <http://www.optimasoft.info/info/articles/opisanie-notatsii-epc/> (data zvernennya 05.08.17).
10. **Sheyer, A. V.** ARIS - modelirovaniye biznes-protssessov. — Vil'yams, 2000. — 175 s.
11. **Syroyezhkina, M.** Putevoditel' po notatsiyam i metodologiyam [Yelettronniy resurs]. Na zametku. — 2010. — Rezhim dostupu do resursu: <http://www.nazametku.com/dlia-raboty/putevoditel-po-notatsiyam-i-metodolog/> (data zvernennya 05.09.17).

Сведения об авторах (About authors)

Щербина Катерина Олександрівна – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки; e-mail: Kateryna.Shcherbyna1@nure.ua.

Kateryna Shcherbyna - Postgraduate Student; Kharkov National University of Radio Electronics; e-mail: Kateryna.Shcherbyna1@nure.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Щербина, К. О. Аналіз нотацій моделювання бізнес-процесів щодо створення інтерактивних регламентів / **К. О. Щербина** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 80-84. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.13.

Please cite this article as:

Shcherbyna, K. Analysis of the notations of business process modeling for the creation of interactive regulations *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 80–84, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.13.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Щербина, Е. А. Анализ нотаций моделирования бизнес-процессов относительно создания интерактивных регламентов / **Е. А. Щербина** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 80-84. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.13.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены нотации моделирования бизнес-процессов и проведен их анализ на счет создания интерактивных регламентов. В статье определены критерии для сравнительного анализа нотаций моделирования бизнес-процессов, учитывая цель работы. В результате исследования выявлена необходимость в создании новой или доработке имеющейся нотации, которая полностью бы удовлетворяла требованиям нотаций разрабатываемой информационной технологии.

Ключевые слова: нотация; моделирование; бизнес-процесс; регламент; информационная технология.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 637.344.8-0.27.242:613.292:57.013:543.9

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.14

ДІЄТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПОЇВ НА ОСНОВІ СИРОВАТКИ

С. М. БОНДАР^{*1}, О. Б. ЧАБАНОВА², А. А. ТРУБНИКОВА²

¹ кафедра екології та природоохоронних технологій, ОНАХТ, м. Одеса, УКРАЇНА

² кафедра технології молока, жирів і парфумерно-косметичних засобів, ОНАХТ, м. Одеса, УКРАЇНА

*email: sc228004@ukr.net

АНОТАЦІЯ Проведено аналіз сучасної періодичної літератури щодо використання цінних властивостей молочної сироватки при лікуванні діабету, гіпертонії, ожиріння тощо. Досліджено органолептичний склад напоїв з використанням сироватки. Встановлено, що хлорогенова кислота у складі напоїв стимулює нервові процеси і збільшує інтенсивність білкового обміну мозкової тканини. Визначено, що високий вміст хлорогенової кислоти досягається завдяки використанню імбиру та цикорію. Визначено харчову та енергетичну цінність напоїв, які свідчать про низьку калорійність і високий вміст біологічно активних речовин. Активність панкреатичної ліпази знаходиться в прямій залежності від активаторів, що містяться в рослинній сировині. Встановлено оптимальний час, за який під впливом панкреатичної ліпази розкладаються жири при споживанні дієтичних напоїв на основі сироватки. Запропоновано методику розрахунку органолептичних властивостей продуктів. Отримані за розробленою оціночною шкалою дані свідчать, що методика в цілому достовірно відображає основні органолептичні показники. Кращі якості мали експериментальні зразки напоїв з додаванням цикорію та лимонного соку. Результати органолептичної оцінки можуть використовуватись як підґрунтя для розробки технології напоїв з сироватки. Виявлено залежність властивостей напоїв від рецептури. Дієтичний ефект виявлено біохімічними дослідженнями з панкреатичною ліпазою *in vitro*. Бактерицидна дія напоїв доводиться мікробіологічними дослідженнями. Встановлено раціональні рецептури напоїв профілактичного призначення на основі сироватки.

Ключові слова: напої профілактичного призначення; дієтичні властивості; фізико-хімічні; мікробіологічні; органолептичні показники.

DIETARY PROPERTIES OF WHEY-BASED DRINKS

S. BONDAR^{*1}, O. CHABANOVA², A. TRUBNIKOVA²

¹ Department of ecology and environmental technologies, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

² Department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The analysis of modern periodical literature on the use of valuable properties of milk whey in the treatment of diabetes, hypertension, obesity, etc. is carried out. The organoleptic composition of beverages using serum has been investigated. It has been established that chlorogenic acid in the beverages stimulates the nervous processes and increases the intensity of protein metabolism of the brain tissue. It has been determined that high levels of chlorogenic acid are achieved through the use of ginger and chicory. The nutritional and energy value of beverages are shown, which testify to low calorie content and high content of biologically active substances. The activity of pancreatic lipase is directly dependent on activators contained in plant material. The optimal time is set for fats to decompose under the influence of pancreatic lipase when consuming dietary drinks based on serum. The method of calculation of organoleptic properties of products is offered. Data obtained on the basis of the developed assessment scale indicate that the methodology in general faithfully reflects the main organoleptic characteristics. Experimental samples of beverages with added chicory and lemon juice were the best. The results of the organoleptic evaluation can be used as a basis for developing the technology of whey drinks. The dependence of the properties of drinks on the formulation is revealed. The dietary effect was detected by biochemical experiments with pancreatic lipase *in vitro*. Bactericidal action of beverages is due to microbiological studies. Established rational recipes for prophylactic drinks based on whey.

Key words: prophylactic drinks; dietary properties; physico-chemical; microbiological; organoleptic parameters.

Вступ

Раціональне використання вторинної сировини є важливим резервом збільшення обсягів виробництва молочної продукції з функціональними властивостями.

Виробництво функціональних напоїв на основі сироватки є одним з перспективних напрямків її використання [1,2].

Сироватка містить понад 200 життєво важливих харчових і біологічно активних речовин, необхідних для повноцінного розвитку і функціонування організму людини. Найбільш цінні компоненти: сироваткові білки, водорозчинні вітаміни, мінеральні речовини. Енергетична цінність сироватки майже в 2,5 рази менше, ніж незбираного

молока. При промисловій переробці молока вихід молочної сироватки коливається від 65% до 80%, при цьому в сироватку переходить близько 50% сухих речовин молока, тому сироватку вважають одним з найбільш цінних ресурсів [1,2].

Вводячи в рецептуру сироваткових напоїв фізіологічно функціональні інгредієнти, можна варіювати їх профілактичну спрямованість [3–5].

Клінічно доведено можливість ефективного застосування сироваткових продуктів при лікуванні і профілактиці діабету, захворювань кишечника, гіпертонії, інфекцій, покривних і кісткових тканин, імунodefіциту, ускладнень після хірургічних втручань, ожиріння [6].

З огляду на вказане, актуальним є розширення існуючого асортименту функціональних продуктів за

рахунок нових композицій на основі молочної сироватки з-під кисломолочного сиру, виробництво яких можливо здійснювати на матеріально-технологічній базі діючих молокопереробних підприємств.

Слід зазначити, що асортимент вітчизняних продуктів дієтичного харчування з використанням молочної сироватки вкрай недостатній, вимагає нових розробок і оцінок ефективності, що стало метою і завданням цієї роботи.

Дана стаття є логічним продовженням роботи[7].

Мета роботи та методи досліджень

Метою роботи є дослідження дієтичних властивостей розроблених напоїв для профілактики ожиріння на основі сироватки.

Для реалізації поставленої мети слід виконати наступні завдання:

- дослідити органолептичний склад досліджуваних дієтичних напоїв;
- визначити масову частку хлорогенової кислоти в досліджуваних дієтичних напоях;
- дослідити активність панкреатичної ліпази в досліджуваних дієтичних напоях;
- дослідити антимікробну активність досліджуваних дієтичних напоїв;
- визначити основні фізико-хімічні та мікробіологічні показники досліджуваних дієтичних напоїв.

Методи досліджень, що використовувались при проведенні експериментів: титрована кислотність – за ГОСТ 3624-92; органолептичні показники – за ДСТУ 3662-97; масова частка сухих речовин – за ГОСТ 3626-73; активна кислотність – потенціометричним методом – ГОСТ 26781-85; водорозчинні вітаміни (віт.С) – за ГОСТ 24556-89; масова частка хлорогенової кислоти – за методом тонкошарової хроматографії з люмінесцентним детектуванням; активність травних ферментів *in vitro* – за [8]; антимікробна активність – метод, заснований на здатності біологічно активних речовин дифундувати в агар, заражений тест культурами мікроорганізмів та пригнічувати їх розвиток [9]; мікробіологічні показники: кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів – за ГОСТ 10444.15 – 94; кількість бактерій групи кишкових паличок – за ГОСТ 9225 – 84.

Виклад основного матеріалу

Результатом попередніх досліджень є рецептури та характеристика дієтичних напоїв, представлені у табл. 1, 2.

Для підтвердження дієтичних властивостей було визначено вміст хлорогенової кислоти та антимікробна активність.

Хлорогенова кислота як хімічна сполука, відома багато років, проте активно про неї заговорили відносно недавно - після того, як дослідники підтвердили гіпотезу про те, що вона корисна для людського здоров'я і допомагає скинути зайву вагу [10].

Таблиця 1 – Рецептури дієтичних напоїв на основі сироватки, %

Сировина	I зразок	II зразок	III зразок
Молочна сироватка, %	95,46	91,75	90,9
Імбир (сухий порошок), %	0,15	0,15	-
Топінабур (сухий порошок), %	-	1	-
Цикорій (сухий порошок), %	-	-	2
Лимонний сік, %	4	4	4
Стевія (сухий порошок), %	0,09	-	-
Фруктоза (сухий порошок), %	-	2,8	2,8
Пектин, %	0,3	0,3	0,3
Всього	100	100	100

Таблиця 2 – Харчова та енергетична цінність дієтичних напоїв на основі сироватки

Зразки	Білок, г	Жир, г	Вуглеводи, г	Енергетична цінність, ккал
I зразок	0,98	0,17	4,36	22,31
II зразок	1,00	0,17	8,60	36,21
III зразок	0,93	0,10	7,60	45,80

Хлорогенова кислота - 1,3,4,5 – тетрагідроксициклогексан карбонова кислота 3 (3,4 – дигідроксицинамат) є одним із найпоширеніших фенолпропеноїдів серед метаболітів рослин та оказує антиоксидантну, антиканцерогенну, протизапальну та анальгетичну дію. В великих кількостях міститься в зернах кави, листях черники звичайної, арніки горної, топінабурі, цикорії, ромашки лікарської та інших рослинах [10,11].

Хлорогенова кислота стимулює роботу центральної нервової системи, здатна збільшувати інтенсивність білкового обміну в мозковій тканині. Вона інгібує засвоєння глюкози в організмі, чим сприяє регулюванню рівня цукру в крові, запобігає зміні тонусу кров'яних судів головного мозку та серця, є одним із найкращих засобів зменшення та попередження стомлення та головної болі.

Основним завданням хлорогенової кислоти вважається те, що вона повинна перетворювати жир в джерело придбання калорій. Також вона вивільняє глюкозу з глікогену і створює для організму умови, коли він у першу чергу починає витрачати жири. Саме це і призводить до схуднення.

Величезна кількість досліджень, які були проведені в Індії, США та Італії, видали позитивні результати. Вивчення динаміки ваги спочатку у тварин, а потім у добровольців показало зменшення маси тіла до 10 % від вихідних цифр.

Вміст хлорогенової кислоти визначали за допомогою методики, яка заснована на реєстрації власної люмінесценції ХГК в тонкому шарі сорбенту на пластинці для ТСХ, посиленої в присутності іонів Ітрію (III). Спосіб дозволив здійснити швидкий скрининг якості розроблених напоїв. При дослідженні напоїв на наявність хлорогенової кислоти було отримано дані, які наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Визначення хлорогенової кислоти в дієтичних напоях на основі сироватки

Зразок	Введено мг/л	Знайдено мг/л	Sr,%
I	0,03	0,036±0,012	4,1
II	0,03	0,041±0,011	6,2
III	0,03	0,042±0,020	5,4

Важливим показником дієтичних властивостей продукту є антимікробна властивість, дослідження якої дали результати, наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Антимікробна активність напоїв

Зразки	Діаметр зони затримки розвитку тест-культури мікроорганізмів, мм
Зразок I	10
Зразок II	12
Зразок III	9-10

Подальшими дослідженнями визначали активність панкреатичної ліпази.

Активність панкреатичної ліпази визначали за кількістю вільних жирних кислот, які утворилися при гідролізі жиру за певний проміжок часу.

Результати досліджень наведено на рис.1,2,3,4.

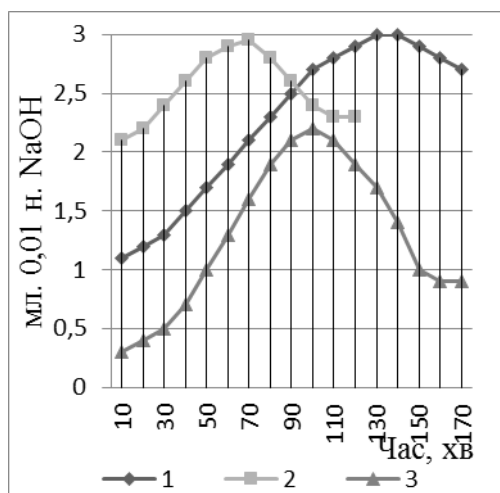


Рис. 1 – Залежність активності панкреатичної ліпази за певний період часу: 1 – контроль (сироватка + жовч + панкреатична ліпаза); 2 – зразок I + жовч + панкреатична ліпаза; 3 – зразок I

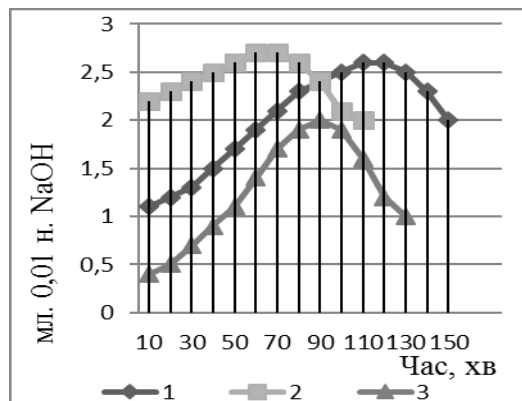


Рис. 2 – Залежність активності панкреатичної ліпази за певний період часу: 1 – контроль (сироватка + жовч + панкреатична ліпаза); 2 – зразок II + жовч + панкреатична ліпаза; 3 – зразок II

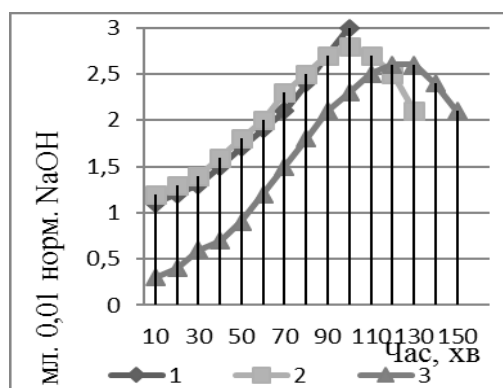


Рис. 3 – Залежність активності панкреатичної ліпази за певний період часу: 1 – зразок I (сироватка + жовч + панкреатична ліпаза); 2 – зразок III + жовч + панкреатична ліпаза; 3 – зразок III

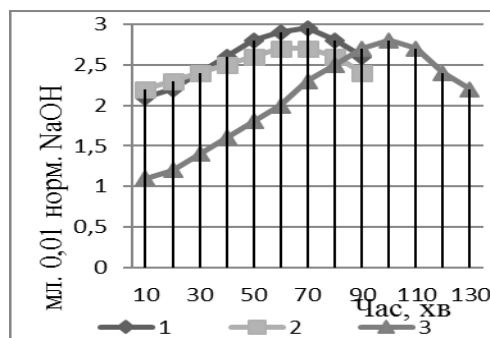


Рис. 4 – Залежність активності панкреатичної ліпази за певний період часу: 1 – контроль (сироватка + жовч + панкреатична ліпаза); 2 – зразок III + жовч + панкреатична ліпаза; 3 – зразок III

Органолептичні властивості досліджуваних напоїв відображені бальною оцінкою, наведеною на рис. 5.

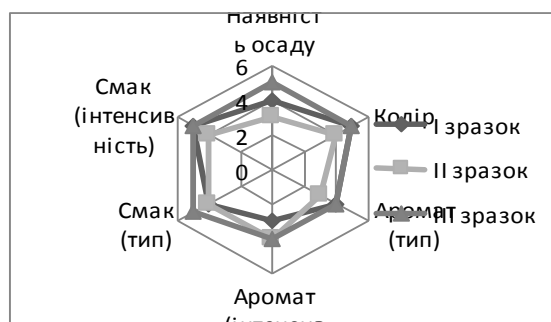


Рис. 5 - Оцінка готових продуктів за бальною шкалою

Розрахунок коефіцієнтів вагомості та побудова оціночної шкали приведено в табл. 6.

Результати досліджень фізико-хімічних, мікробіологічних показників та органолептичних характеристик напоїв дієтичного призначення наведені в табл. 7.

Таблиця 6 – Оціночна шкала якості зразків напоїв та їх складників

Показник	Коефіцієнт вагомості	Максимальна оцінка	Оціночна шкала рівня якості, бали				Бали для напоїв		
			відмінно	добре	задовільно	нижче задовільного	I	II	III
1. Зовнішній вигляд									
1.1. Наявність осаду	2	10	10	8	6	4	8	6	10
1.2. Колір	2	10	10	8	6	4	10	8	10
2. Аромат									
2.1. Тип	4	20	20	16	12	8	16	12	16
2.2. Інтенсивність	3	15	15	12	9	6	12	12	12
3. Смак									
3.1. Тип	5	25	25	20	15	10	20	20	25
3.2. Інтенсивність	4	20	20	16	12	8	20	16	20
Разом	20	100	100	80	60	40	86	74	93

Обговорення результатів

В результаті досліджень масової частки хлорогенової кислоти в напоях (табл.3) виявлено, що всі зразки мають достатньо високий вміст хлорогенової кислоти, але в I зразку вміст хлорогенової кислоти нижчий, що обумовлено, тим що в самому імбирі, що входить до рецептури напою, хлорогенової кислоти менше ніж в топінамбурі та

цикорії (підтверджується літературними даними). У порівнянні з літературними даними вміст ХГК в каві складає від 9,5 до 17,5 відсотків.

При визначенні активності панкреатичної ліпази (рис. 1, 2, 3, 4) було виявлено, що зразки I та II мають більшу активність, ніж зразок III. Це обумовлено наявністю біологічно активних речовин в зразках I та II, які сприяють кращому засвоюванню ліпідних речовин.

Таблиця 7 - Органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники свіжовироблених напоїв дієтичного призначення розфасованих у герметичну тару

	Характеристика		
	Зразок I	Зразок II	Зразок III
Органолептичні показники			
Смак та запах	Імбирно-сироватковий присмак, без сторонніх запахів, кислувато-солодкий на смак	Імбирно-сироватковий присмак, без сторонніх запахів, кислувато-солодкий на смак	Сироватковий із цикорним присмаком, кислувато-солодкий на смак
Колір	Однорідний, жовтий	Однорідний, жовтий із сірим відтінком	Однорідний, коричневий
Консистенція	Однорідна рідина без осаду		
Фізико-хімічні показники			
Масова частка сухих речовин, %	6,5	9,3	10,2
Титрована кислотність, °T	85	87	83
Активна кислотність, ум. од. рН	4,1	4,05	4,2
Масова частка вітаміну С, мг%	0,37	0,56	0,42
Мікробіологічні показники			
КМА і ФАМ, КУО / см ³ продукту, не більше	165	220	130
БГКП в 0,1 см ³ продукту	Відсутні		

Антимікробна активність дозволяє оцінити здатність біологічно активних речовин, які є в напоях, пригнічувати ріст мікрофлори, в тому числі БГКП.

Імбир, топінамбур та цикорій володіють бактерицидними властивостями. При досліді антимікробної активності готових продуктів використовували метод, заснований на здатності біологічно активних речовин дифундувати в агар, заражений тест культурами мікроорганізмів та пригнічувати їх розвиток.

З табл. 4 виявлено що помірною антимікробною активністю володіють зразки І та ІІ. А високою - зразок, який містить у своєму складі топінамбур та імбир.

За отриманими результатами дослідження органолептичних властивостей (табл.6) можна зробити висновок, що зразок ІІ володіє найкращими органолептичними властивостями. Зразки І та ІІ відповідають відмінній якості, а зразок ІІ добрий, оскільки узагальнюючий показник якості, який відповідає відмінній якості, знаходиться в межах від 100 до 80 балів, добрий – від 80 до 60 балів, задовільний – від 60 до 40 балів. Оцінка менше за 40 балів відповідає нижче задовільної якості.

Отримані данні свідчать, що нові, розроблені функціональні продукти - напої дієтичного призначення на основі сироватки - повністю задовольняють всім вимогам для продуктів харчування людей з надмірною вагою тіла, оскільки не лише мають відмінні органолептичні показники, а й хороші фізико - хімічні та мікробіологічні показники; високу харчову та біологічну цінність та низьку енергетичну цінність.

Висновки

1. Виявлений значний вміст хлорогенової кислоти у досліджуваних напоях.

2. Отримані результати досліджень свідчать, що дієтичні властивості напоїв залежать від масової частки хлорогенової кислоти.

3. Напої мають різну антимікробну активність. Помірною антимікробною активністю володіють зразки І та ІІІ, а високою - зразок ІІ, який містить у своєму складі топінамбур та імбир.

4. Визначено активність травних ферментів in vitro. Збільшення активності панкреатичної ліпази в 1,1...1,4 рази в порівнянні з контролем (сироваткою) пояснюється вмістом введених інгредієнтів (імбир, топінамбур, цикорій).

5. Органолептичні властивості отриманих напоїв мають високі показники і визначають, водночас з фізико-хімічними характеристиками, високу харчову цінність.

6. Розроблені рецептури напоїв можна рекомендувати для впровадження у виробництво.

7. Широке впровадження у виробництво потребує наступного етапу у роботі – розробки

технології напоїв профілактичного призначення на основі сироватки.

Список літератури

1. Храмцов, А. Г. Мировые тенденции в переработке сыворотки / А. Г. Храмцов, С. А. Рябцева, И. А. Евдокимов // *Переработка молока*. – 2009. – №. 5. – С. 18-20.
2. Mollea, C. Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry / C. Mollea, L. Marmo, F. Bosco // *Food Industry*. – InTech, 2013. – doi: 10.5772/53159.
3. Yasmin, A. Compositional analysis of developed whey based fructooligosaccharides supplemented low-calorie drink / A. Yasmin et al. // *Journal of food science and technology*. – 2015. – Т. 52. – №. 3. – С. 1849-1856.
4. Храмцов, А. Г. и др. Напитки нового поколения из молочной сыворотки / А. Г. Храмцов и др. // *Молочная промышленность*. – 2006. – №. 6. – С. 87-87.
5. Shahdadi, F. Effects of various essential oils on chemical and sensory characteristics and activity of probiotic bacteria in drinking yoghurt / F. Shahdadi et al. // *Agricultural Communications*. – 2015. – Т. 3. – №. 1. – С. 16-21.
6. Orzano, A. J. Diagnosis and treatment of obesity in adults: an applied evidence-based review / A. J. Orzano, J. G. Scott // *The Journal of the American Board of Family Practice*. – 2004. – Т. 17. – №. 5. – С. 359-369.
7. Чабанова, О. Б. Обгрунтування рецептур дієтичних напоїв на основі сироватки / О. Б. Чабанова и др. // *Наукові праці ОНАХТ*. – 2015. – Т. 2. – №. 46.
8. Біологічна хімія: Лабораторний практикум / Під ред. Я.І. Гонського – Тернопіль: Укрмедкнига, 2001.
9. Bonev, B. Principles of assessing bacterial susceptibility to antibiotics using the agar diffusion method / B. Bonev, J. Hooper, J. Parisot // *Journal of antimicrobial chemotherapy*. – 2008. – Т. 61. – №. 6. – С. 1295-1301. – doi:10.1093/jac/dkn090.
10. Левицкий, А. П. Хлорогеновая кислота: биохимия и физиология / А. П. Левицкий, Е. К. Вертикова, И. А. Селиванская // *Микробиология і біотехнологія*. – 2010. – №. 2. – С. 6-20.
11. Ross, J. A. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety / J. A. Ross, C. M. Kasum // *Annual review of Nutrition*. – 2002. – Т. 22. – №. 1. – С. 19-34.

Bibliography (transliterated)

1. Khramtsov, A.H., Ryabtseva, S.A., Evdokymov, Y.A. Мировые tendentsyy v pererabotke sivorotky. *Pererabotka moloka*, 2009, # 5, 18–20.
2. Mollea, C., Marmo, L., Bosco, F. Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. *Food Industry*, InTech, 2013. – doi: 10.5772/53159.
3. Yasmin, A. et al. Compositional analysis of developed whey based fructooligosaccharides supplemented low-calorie drink. *Journal of food science and technology*, 2015, 52, #. 3, S. 1849-1856.
4. Napytky novoho pokoleniyya yz molochnoy sivorotky / A.H. Khramtsov, M.A. Zhylyna, P.H. Nesterenko y dr.. *Molochnaya prom-st'*, 2006, # 6, S. 87.
5. Shahdadi, F. et al. Effects of various essential oils on chemical and sensory characteristics and activity of probiotic bacteria in drinking yoghurt. *Agricultural Communications*, 2015, 3, # 1, S. 16-21.

6. **Orzano, A. J., Scott, J. G.** Diagnosis and treatment of obesity in adults: an applied evidence-based review. *The Journal of the American Board of Family Practice*, 2004, **17**, # 5, S. 359-369.
7. **Chabanova, O.B., Vikul', S.I., Bondar, S.M., Nyedova, O.F.** Obruntuvannya retseptur diyetychnykh napoyiv na osnovi syrovatky., Naukovi pratsi. ONAKhT, # 2014, **44**, S. 185–192.
8. **Biologichna khimiya: Laboratornyy praktykum /Pid.red.Ya.I.Hons'koho – Ternopil': Ukrmedknyha, 2001.**
9. **Bonev, B., Hooper, J., Parisot, J.** Principles of assessing bacterial susceptibility to antibiotics using the agar diffusion method. *Journal of antimicrobial chemotherapy*, 2008, **61**, # 6, S. 1295-1301. – doi.org/10.1093/jac/dkn090.
10. **Levytskyy, A.P., Vertykova, E.K., Selyvanskaya, Y.A.** Khlorohenovaya kyslota: byokhymyya y fyzyolohyya. Mikrobiolohiya i biotekhnolohiya. 2010. # 2, S. 6–20.
11. **Ross, J. A., Kasum, C. M.** Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annual review of Nutrition*, 2002, **22**, # 1, S. 19-34.

Сведения об авторах (About authors)

Бондар Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна, E-mail: sergej.nik.bondar@gmail.com.

Sergey Bondar – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of ecology and environmental technologies, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, Ukraine; E-mail: sergej.nik.bondar@gmail.com.

Чабанова Оксана Борисівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології молока, жирів і парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна; E-mail: oksana_chabanova17@ukr.net.

Oksana Chabanova – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, Ukraine; E-mail: oksana_chabanova17@ukr.net.

Трубнікова Анастасія Анатоліївна – аспірант кафедри технології молока, жирів і парфумерно-косметичних засобів, Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна; E-mail: sc228004@ukr.net.

Anastasiia Trubnikova – postgraduate of department of technology of milk, fats and perfumes and cosmetic products, Odessa national Academy of food technologies, Odessa, Ukraine; E-mail: sc228004@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Бондар, С. М. Дієтичні властивості напоїв на основі сироватки / **С. М. Бондар, О. Б. Чабанова, А. А. Трубнікова** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 85-90. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.14.

Please cite this article as:

Bondar, S., Chabanova, O., Trubnikova, A. Dietary properties of whey-based drinks. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 85–90, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Бондарь, С. Н. Диетические свойства напитков на основе сыворотки / **С. Н. Бондарь, О. Б. Чабанова, А. А. Трубникова** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 85-90. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.14.

АННОТАЦИЯ Выявлена зависимость свойств напитков от рецептуры. Диетический эффект обнаружен биохимическими исследованиями с панкреатической липазы *in vitro*. Бактерицидное действие напитков приходится микробиологическими исследованиями. Полученные образцы напитков отличались высокими органолептическими, физико-химическим и микробиологическим показателям. Продукты полностью соответствуют требованиям НТД к кисломолочным напиткам и имеют выраженную диетическую и профилактическое действие. Установлено рациональные рецептуры напитков профилактического назначения на основе сыворотки.

Ключевые слова: напитки профилактического назначения; диетические свойства; физико-химические; микробиологические; органолептические показатели.

Поступила (received) 13.09.2017

УДК 502/504

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.15

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ГЕОХІМІЧНОГО СТАНУ ПРИДОРОЖНІХ ТЕРИТОРІЙ ВЕЛИКОГО МІСТА

О. О. БОРИСОВ, О. В. КОФАНОВА

*Кафедра інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, УКРАЇНА
email: alexina555@gmail.com*

АНОТАЦІЯ Проаналізовано вплив шкідливих домішок в атмосферному повітрі великих міст на здоров'я людей, визначено внесок автотранспорту у забруднення навколишнього міського середовища та у зміни клімату на планеті. Зроблено висновок щодо необхідності комплексного геоecологічного аналізу стану міських територій та зелених насаджень, розташованих поблизу доріг і автомагістралей. Проведена оцінка кислотно-сольового забруднення атмосферних опадів та придорожніх ґрунтів у м. Києві. Встановлено кореляційні залежності між кислотним та сольовим забрудненням придорожньої території великого міста, досліджено сезонну динаміку забруднень. Встановлено, що використання протиожезедних засобів узимку суттєво впливає на якість ґрунтів та, як наслідок, на стан та розвиток зелених насаджень. Розраховано комплексний показник геохімічного забруднення досліджуваних територій.

Ключові слова: екологічна безпека; забруднення атмосферного повітря; автотранспортне забруднення; геохімічний стан; кислотно-сольове забруднення ґрунтів; зелені насадження.

COMPLEX ANALYSIS OF THE GEOCHEMICAL STATE OF THE CITY ROADSIDE AREAS

O. O. BORYSOV, O. V. KOFANOVA

Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Actuality of the work is determined by the growing anthropogenic pressure on the environment of the urban areas and by the increase of the health problems of the urban population. The aim of the scientific investigation was to analyze and comprehensively estimate the geoecological state of the roadside urban territories, identify the main pollutants and their sources of formation, as well as the factors that have the greatest impact on the distribution of harmful substances and on the degree of the pollution of the territories. Data processing was performed with the help of the statistical methods using Microsoft Office Excel and SPSS Statistics software. Calculations of mean values, measurement errors, two-factor regression analysis, as well as charts and histograms were made with the help of the Microsoft Office Excel. In the article, the influence of the harmful pollutants in the air of the cities on the human health was analyzed; the contribution of the motor transport to the contamination of the urban environment and climate change was determined. The conclusion about the necessity of the complex geoecological analysis of the state of the urban territories and green spaces located near roads and highways was made. Estimation of the acid and salt contamination of the atmospheric precipitation and roadside soils in Kyiv was performed. Correlation dependencies between acid and salt contamination of the roadside areas of the city were found; seasonal dynamics of the pollution was investigated. It was determined that the use of the deicing agents in winter significantly affects the quality of soils and, consequently, affects the state and development of green spaces. The complex index of the geochemical pollution of the studied territories was calculated.

Key words: environmental safety; air pollution; automobile pollution; geochemical state; acid and salt contamination of soils; green spaces.

Вступ

Наявність великої кількості стаціонарних і пересувних джерел викидів забруднюючих речовин (ЗР) на високоурбанізованих територіях призводять до збільшення вмісту шкідливих речовин (ШР) у атмосферному повітрі, педосфері та гідросфері, що не може не відбиватися на здоров'ї людей. Окрім того, проблема забруднення довкілля посилюється через різке зростання чисельності приватного автотранспорту, в тому числі застарілих автомобілів і мікроавтобусів, збільшення кількості одиниць маршрутних таксі у великих містах, а також унаслідок достатньо слабкої природної вентиляції у так званих

вуличних каньйонах міської забудови, автомобільні затори та ін. І навіть після суттєвого скорочення викидів ЗР від стаціонарних джерел унаслідок закриття великих підприємств, поліпшення ситуації у великих містах України здебільшого не відбулося.

Актуальність проблеми

Забруднюючі речовини це домішки розсіяних в атмосферному повітрі речовин, що не входять до постійного складу атмосфери і можуть чинити негативний вплив на довкілля і здоров'я людей [1]. Особливо небезпечними для майбутнього нашої планети вважаються парникові гази, що здатні

поглинати та випромінювати радіацію у тому самому інфрачервоному діапазоні, що й поверхня Землі, її атмосфера, хмари тощо. Серед інших домішок атмосферного повітря шкідливий вплив чинять частинки пилу, різноманітні аерозолі, вуглеводні C_xH_y , у тому числі й поліциклічні (поліароматичні – ПАВ), чадний газ – оксид Карбону (II) CO, оксиди Сульфуру та Нітрогену. До специфічних ЗР належать амоніак, бенз(а)пірен, гідроген сульфід, карбон(IV) сульфід, галогени (зокрема хлор та фтор) та їх сполуки, а також меркаптани, діоксини, формальдегід, акролеїн та ін. [2].

Дуже небезпечними є тверді частинки (ТЧ, англ. РМ) – складна суміш органічних і неорганічних (мінеральних) домішок, що містяться в атмосферному повітрі у зваженому стані. Серед них найбільш небезпечними є частинки умовним діаметром 10 або менше мікрон, які здатні адсорбувати на поверхні інші ШР та, глибоко проникаючи у легені, осаджуватися і залишатися там на тривалий час, спричинюючи ризик розвитку серцево-судинних і респіраторних захворювань, а також онкологічні захворювання, зокрема рак легень.

До основних компонентів ТЧ належать твердий вуглець (сажа), продукти зношування дорожнього покриття та автомобільних шин, оксиди металів, а також азбестовмісні частинки речовин, що застосовуються, наприклад, при виробництві гальмівних колодок, дисків зчеплення та ін. [3; 4]. Зокрема, у відпрацьованих газах дизельних автомобілів розміри частинок сажі, що викидаються в атмосферу, становлять 0,3–100 мкм [5]. Отже, у зоні впливу автомагістралі при контакті типу "дорога – автотранспортний засіб" (АТЗ) містяться великі обсяги ТЧ різної природи, походження і структури [6; 7]. За оцінками фахівців, для автодороги категорії II, де інтенсивність транспортного потоку більше 2 000 авт./год., обсяги утворення мінерального пилу становлять 9–14 кг/(год·км), а гумової крихти – 0,2–0,8 кг/(год·км) [3]. Ці показники великою мірою залежать від якості та стану дорожнього покриття, конструкції шин, складу гуми, терміну експлуатації та технічного стану АТЗ, швидкості руху і щільності транспортних потоків на вулицях міста, температури шини, кліматичних умов (температура повітря, вологість, наявність та характер опадів) та ін.

Постановка проблеми і аналіз попередніх досліджень

Встановлено, що у великих містах ступінь антропогенних змін геосистем варіюється від мало змінених до техногенних, повністю змінених людиною. Кожна з таких зон має свій рельєф, природні й кліматичні особливості, біоту, певний рівень антропогенного навантаження, транспортні мережі та ін. [8]. Як зазначалось, на геоecологічний стан прилеглих до доріг і автомагістралей територій впливають кількісні характеристики транспортних

потоків, якість і стан дорожнього покриття, вид та якість моторного палива, наявність/відсутність транспортних розв'язок, підземних переходів, перетинів, що обладнані світлофорами, щільність і етажність міської забудови, а також наявність і стан зелених насаджень.

Викиди ЗР від пересувних джерел відбуваються практично на рівні землі, а зона максимального впливу знаходиться на висоті приблизно до 2–3-х м, яка є співрозмірною з ростом людини. Тому вважається, що забруднення атмосферного повітря і педосфери на високоурбанізованих територіях обумовлене саме рухом автотранспортних потоків [9]. Якщо врахувати, що більшість вулиць у великому місті належать до так званого вуличного каньйону, де відбувається специфічний рух повітряних мас, то рівень забрудненості атмосферного повітря і педосфери певними забруднювачами на окремих ділянках придорожньої території (зокрема, з підвітряного боку) може бути набагато більшим, ніж, наприклад, з навітряного боку забудови або порівняно з середніми значеннями концентрацій ЗР [10].

Спостереження показали, що у будинках, розташованих поблизу автомагістралей (на відстані до 10 м), мешканці хворіють на онкологічні захворювання в 3–4 рази частіше, ніж у будинках, віддалених від дороги на відстань більше 50 м [11]. Американськими вченими доведено, що кожні 100 м близькості до дороги підвищують вірогідність смертності від раптової зупинки серця на 6 %, особливо у жінок [12; 13].

Разом з пилом ЗР здатні мігрувати на великі відстані, спричинюючи подальше забруднення селітебних територій і природних ландшафтів. При цьому, особливо шкідливими є оксиди Сульфуру й Нітрогену, а також сполуки важких металів, формальдегід і циклічні вуглеводні. Не можна ігнорувати також здатність живих організмів до біоаккумуляції ШР і можливість їх перенесення на незабруднені раніше території. Як показує практика екологічного моніторингу, через можливі у навколишньому середовищі перетворення токсичності первинних забруднювачів може не тільки спадати, а й різко зростати. Отже, аналіз сезонної динаміки соляного та кислотного забруднення ґрунтів надасть змогу краще зрозуміти масштаби тиску з боку автотранспорту на геоecологічний стан міста, встановити основні "транспортні" полутанти повітряного середовища та педосфери, а також розробити заходи з мінімізації їх шкідливого впливу на здоров'я людини і довкілля [14; 15].

Мета роботи

Метою роботи є аналіз та комплексне оцінювання геоecологічного стану прилеглих до автомагістралей територій великого міста, виявлення основних забруднювачів та їх джерел утворення, а

також факторів, що найбільшою мірою впливають на розповсюдження ШП та ступінь забруднення території.

Викладення основного матеріалу

Рівень забруднення міського атмосферного повітря і педосфери змінюється як протягом доби, так і залежно від інтенсивності антропогенної діяльності, кліматичних, у тому числі й сезонних умов, рельєфу території тощо. Зокрема на геохімічних бар'єрах поряд із напруженими транспортними "артеріями" і автодорогами і особливо поблизу транспортних розв'язок неконтрольовано формуються так звані техногенні аномалії ШП, які у подальшому спричиняють вторинні забруднення території.

Техногенні аномалії ЗР є потенційно небезпечними не тільки для людини та інших біологічних об'єктів, а й становлять загрозу для репродуктивної функції та здоров'я наступних поколінь, оскільки, за даними фахівців [16], здатні провокувати безпліддя, зростання вірогідності народження дітей з генетичними вадами, призводити до порушень нормального розвитку дітей тощо. Навіть біогенні елементи (наприклад, Купрум) у випадку потрапляння їх до організму людини вище за необхідну для життєдіяльності норму здатні призводити до важких отруєнь і хвороб.

Отже, комплексне дослідження екологічного стану територій, розташованих поряд з автомагістральними шляхами і автотранспортними розв'язками, а також визначення потенційного впливу автотранспортного комплексу (АТК) на педосферу і здоров'я населення є важливими і актуальними завданнями сучасності.

Обговорення результатів

Будь-яке велике місто має розгалужену транспортну мережу, тому влітку асфальтове і бетонне покриття доріг і тротуарів сильно прогрівається; надлишкове тепло передається і АТЗ, і атмосферному повітрю, і зеленим насадженням поблизу автодоріг. При цьому гарячі вихлопні гази автомобілів піднімаються вгору і розповсюджуються на досить великій відстані. Зокрема у роботі [10] показано шляхи розповсюдження повітряних потоків і газоподібних домішок від АТЗ, що рухаються у потоці на регульованій ділянці автомагістралі. Авторами роботи [17] доведено, що на динаміку концентрацій домішок ШП у приземному шарі повітря і у педосфері великою мірою впливають характеристики вітрового режиму, а також умови їх вимивання атмосферними опадами. Зокрема встановлено, що швидкість вітру 0–1 м/с є небезпечною при розсіюванні домішок, зумовлених дією низьких джерел викидів (зокрема, автомобільним транспортом), а швидкість вітру 3–6 м/с становить небезпеку при розсіюванні

домішок, зумовлених викидами промислових підприємств з високими трубами.

Під час вивчення рівня забруднення навколишнього середовища, зокрема атмосферного повітря та педосфери, важливо дослідити реакцію біологічних об'єктів на певні концентрації ЗР. Такі дані, як правило, отримують на державному рівні за допомогою системи біоекологічного моніторингу. Зокрема у великому місті зелені насадження, особливо ті, що розташовані поряд з напруженими автомагістралями, виконують роль так званого зеленого бар'єра, фільтра або біологічного "захисника" від надмірного забруднення ШП. Влітку вони сприяють зниженню температури повітря в місті на 4–6 °С та збільшенню його вологості на 10–15 %. Наприклад, окремо стояче дерево випаровує приблизно 378 л води на добу, а це означає, що охолодження, що супроводжує випаровування такої кількості води, еквівалентно результату роботи 5-ти побутових кондиціонерів упродовж 20 годин [1].

Дерева, кущі, трав'янистий покрив тощо не тільки здатні поглинати ШП з повітряного середовища, а й осаджують їх на листі (зокрема ТЧ, аерозолі тощо). Смуга деревно-чагарникових насаджень шириною 10–14 м знижує концентрацію вуглекислого газу на 40–45 %, а рівень звуку на 2–8 дБ [18]. Проте не всі рослини здатні однаково витримувати забруднення довкілля ШП. Наприклад, ялина і сосна є дуже чутливими до шкідливої дії токсикантів, а трав'янисті рослини та чагарники, як правило, виявляються більш стійкими, ніж деревні породи. Найбільш газостійкими є рослини з родини вербових та жимолостевих.

Однак повноцінно функціонувати як санітарно-гігієнічні складові урбанізованих територій рослини можуть тільки за умови нормального розвитку. Термін "газостійкість" характеризує здатність рослин витримувати значні концентрації токсичних газів, зберігаючи при цьому життєздатність і декоративну привабливість, що є дуже важливим під час озеленення міст [1].

У системі озеленення великого міста важливу роль відіграють парки, сквери та інші зелені "островки". Причому на стан, зовнішній вигляд та розвиток зелених насаджень впливають не тільки стан ґрунтового покриву та якість ґрунтових вод, а й забрудненість атмосферного повітря різноманітними поллютантами, кліматичні умови в місті (в тому числі й мікроклімат району) та багато інших факторів (наприклад, кислотність атмосферних опадів). І особливо від надмірного забруднення довкілля страждають рослини, розташовані поблизу автодоріг.

За оцінками фахівців, проникнення ШП з поверхні ґрунту у глибину становить приблизно 20–50 см, а, отже, достатньо велика частина токсикантів залишається на поверхні педосфери, утворюючи техногенні аномалії, а інша частина з атмосферними опадами мігрує по капілярах ґрунту у глибину, потрапляючи до ґрунтових і поверхневих

вод, у тканини рослин, тварин тощо. У зв'язку з цим нами було досліджено кислотно-сольове забруднення придорожніх територій уздовж проспекту Перемоги (м. Київ). Первинні експериментальні дані, а також методика дослідження і визначення фонових концентрацій забруднювачів наведені у роботі [19]. Статистична обробка даних здійснювалась із використанням програм MS Excel та SPSS Statistics. Розрахунки середніх значень, похибок вимірювань, кореляційно-регресійний аналіз, а також побудову графіків і гістограм виконано у MS Excel.

Відомо, що оптимальний діапазон кислотно-основного балансу середовища для більшості рослин становить 5,0–7,5 одиниць рН. На рис. 1 показано відносну зміну кислотно-основного балансу на досліджуваних ділянках, розташованих уздовж проспекту Перемоги, у порівнянні з фоновими значеннями показника рН. Ліворуч на рисунку позначено відносні показники забруднення в осінньо-зимній період, а праворуч – навесні, після танення снігового покриву.

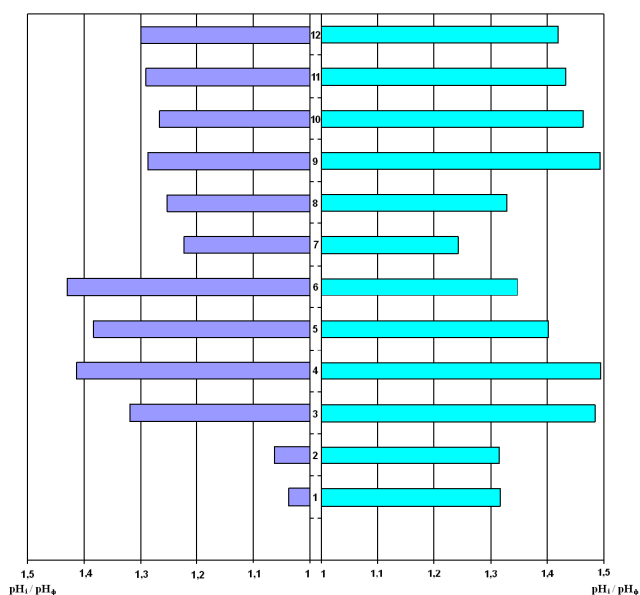


Рис. 1. – Відносна зміна кислотно-основного балансу (pH_i/pH_{ϕ}) території уздовж проспекту Перемоги (м. Київ) (1–12 – точки спостережень).

Як видно з рис. 1, на певних ділянках придорожньої території (зокрема ділянки 3–6) спостерігається стійкий високий рівень забруднення, причому незалежно від пори року (показники рН ґрунтових витяжок сильно зміщені у бік лужного середовища). Це пояснюється, по-перше, розташуванням цих ділянок ближче до певних промислових об'єктів, а, по-друге, зростанням у цьому напрямку інтенсивності транспортних потоків, наявністю напружених транспортних розв'язок та щільністю міської забудови.

На рис. 2 і 3 подано гістограми кислотного та сольового забруднення досліджуваних придорожніх ділянок в осінньо-зимній та весняний пори року порівняно з фоновими значеннями цих показників. Як можна побачити, ці види забруднень корелюють між собою та демонструють небезпечне перевищення фонових значень, особливо навесні. Майже на всіх досліджуваних територіях, а особливо на ділянках 1,2 та 9–12 навесні кислотне забруднення в 1,3–1,5 рази перевищує показники у осінньо-зимній період, що доводить шкідливість використання в якості протижелезних засобів піщано-сольових сумішей, сумішей хлоридів Натрію NaCl та Кальцію CaCl₂, а також інших протижелезних реагентів, наприклад, рідкого 28 %-го розчину модифікованого хлориду Кальцію CaCl₂. [20].

Цей висновок підтверджується експериментальними даними по сольовому забрудненню придорожніх територій, яке призводить не тільки до збільшення навесні у ґрунтах і ґрунтових водах вмісту йонів Cl⁻, Na⁺, але й до витискування з ґрунтового поглинаючого комплексу таких важливих катіонів, як катіони Кальцію Ca²⁺ і Магнію Mg²⁺, що заміщуються на більш рухомий катіон Натрію (рис. 3). Зазначимо, що для характеристики кислотності ґрунтів було застосовано показники рН водних ґрунтових витяжок. Однак через достатньо високу буферність ґрунтів цей показник не завжди дає точні оцінки щодо рівня шкідливого для рослин впливу зміни кислотно-основного балансу середовища. У таких випадках рекомендується використовувати показник потенційної кислотності, який визначається титруванням ґрунтових витяжок, приготованих на 1,0 М розчині хлориду Калію, стандартним розчином лугу [21].

За емпіричними даними кислотного та сольового забруднень, отриманими в роботі [19], було розраховано інтегральний показник кислотно-сольового забруднення ($K_{\text{к-с.з.}}$), який визначали для кожної ділянки спостереження окремо в різні періоди року як незважену суму зміни кислотно-основної рівноваги досліджуваної території (за показником pH_i/pH_{ϕ}) та відносного показника сольового забруднення ґрунту ($C_{\text{сол.і.}}/C_{\text{сол.ф.}}$). Отримані лінійні залежності $K_{\text{к-с.з.}}$ від сольового забруднення ґрунту досліджуваних придорожніх ділянок (коефіцієнт регресії R^2 в обох випадках становить 0,99) мають наступний вигляд:

- у осінньо-зимній період року (рис. 4):

$$K_{\text{к-с.з.}} = 1,0391C_{\text{сол.і.}}/C_{\text{сол.ф.}} + 0,9616;$$

- у весняний період року (рис. 5):

$$K_{\text{к-с.з.}} = 1,0136C_{\text{сол.і.}}/C_{\text{сол.ф.}} + 1,1399.$$

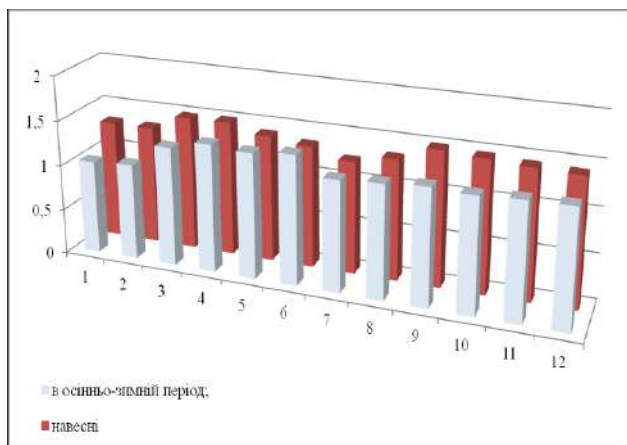


Рис. 2. – Кислотне забруднення досліджуваних придорожніх ділянок, rH_i/rH_{ϕ} (1–12 – точки спостережень).

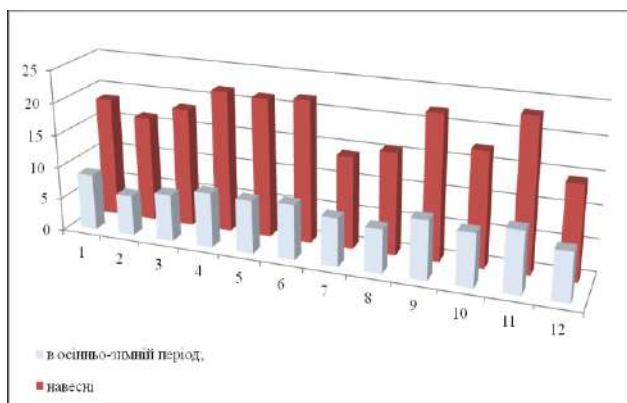


Рис. 3. – Сольове забруднення досліджуваних придорожніх ділянок, $C_{\text{сол.і}}/C_{\text{сол.ф}}$ (1–12 – точки спостережень).

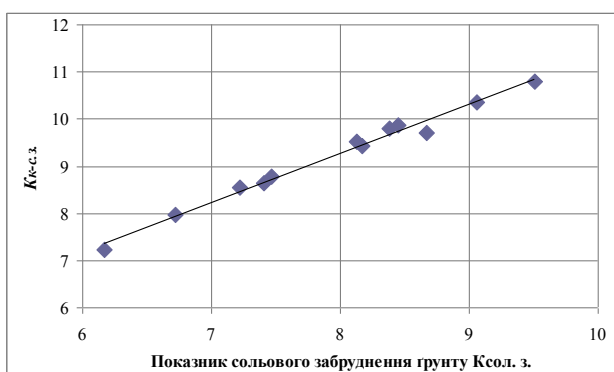


Рис. 4. – Залежності $K_{\text{к-с.з.}}$ від сольового забруднення ґрунту досліджуваних придорожніх ділянок у осінньо-зимній період року.

Для кислотного забруднення аналогічні залежності також мають лінійний вигляд за винятком тих ділянок, на яких відмічено підвищений рівень кислотного забруднення як у осінньо-зимній період року, так і навесні, після танення снігу.

Отже, отримані рівняння регресії доводять гіпотезу щодо тісної взаємозалежності досліджуваних видів забруднення – кислотного і сольового, особливо у весняний період року.

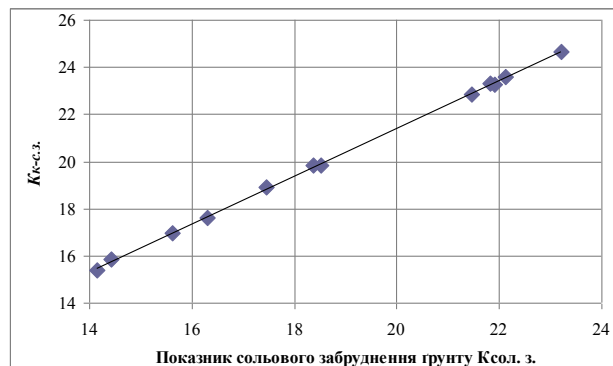


Рис. 5. – Залежності $K_{\text{к-с.з.}}$ від сольового забруднення ґрунту досліджуваних придорожніх ділянок у весняний період року.

Висновки

Таким чином, у роботі за показниками рН ґрунтових витяжок та концентраціями в них іонів Хлору на досліджуваних ділянках поблизу напруженої автомагістралі проведена оцінка кислотно-сольового забруднення ґрунтів поблизу напруженої автомагістралі (м. Київ), розраховано інтегральний показник кислотно-сольового забруднення ділянок придорожньої території, досліджено сезонну динаміку забруднень.

Встановлено, що використання взимку протиожезедних засобів суттєво впливає на якість ґрунтів (особливо навесні, після танення снігу) та, як наслідок, на стан та розвиток зелених насаджень, а показники кислотного і сольового забруднення корелюють між собою, особливо у весняний період.

Список літератури

1. Кубышкина, Е. Н. Практикум по геоэкологии и природопользованию: учеб.-метод. материалы / Е. Н. Кубышкина. – Казань: Казанский ун-т, 2014. – 62 с.
2. Кофанова, О. В. Механізми посилення екологічності вітчизняного автотранспорту за рахунок забезпечення його сталого розвитку / О. В. Кофанова, О. Є. Кофанов // Стратегія розвитку України: економіка, соціологія, право. – 2015. – № 1. – С. 67–73.
3. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология: учеб. для вузов / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко; под ред. В. Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
4. Шелудченко, Л. С. Розроблення конструкцій газопилозахисних лісосмуг автодорожньої мережі / Л. С. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: В-во ПДАТУ, 2015. – 134 с.
5. Бразовский, В. В. Исследование процессов многоступенчатой очистки / В. В. Бразовский // ЭФТЖ. – 2008. – т. 3. – С. 26–34.

6. Шелудченко, Л. С. Аналитическое моделирование количества диспергирования минеральных веществ потоком автомобильного транспорта при разрушении автодорожного покрытия / Л. С. Шелудченко, О. В. Овчарук, В. Л. Носко // *Екологічна безпека*. – 2017. – № 1 (23). – С. 58–62.
7. Snieskiene, V. Urban salt contamination impact on tree health and the prevalence of fungi agent in cities of the central Lithuania / Snieskiene V., Balezientiene L., Stankeviciene A. // *Urban forestry & urban greening*. – 2016. – v. 19. – P. 13-19: doi: 10.1016/j.ufug.2016.05.015.
8. Grimm, N. B. Global change and the ecology of cities / N. B. Grimm, S. H. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai, J. M. Briggs // *Science*. – 2008. – v. 319. – P. 756 – 760. – doi: 10.1126/science.1150195.
9. Соловьева, Е. С. Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв / Соловьева, Е. С. : Дисс. на соискание учен. степени канд биол. наук, 03.02.08 – экология(биология). – Киров, 2014. – 147 с.
10. Пляцук, Л. Д. Моделювання поширення викидів від автотранспорту у селітебних територіях міст / Л. Д. Пляцук, Р. А. Васькін, І. В. Васькіна // *Екологічна безпека*. – 2011. – № 2 (12). – С.36–38.
11. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186–89. – М.: Гидрометеиздат, 1989. – 1084 с.
12. Hart, J. E. Roadway proximity and risk of sudden cardiac death in women. *Circulation* / Hart J. E, Chiuve S.E, Laden F, Albert C.M. // *PubMed PMID*. – 2014. – 130 (17). – P. 1474-1482. – doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.011489.
13. Hart, J. E. Effect modification of long-term air pollution exposures and the risk of incident cardiovascular disease in US women / J. E. Hart, R. C. Puett, K. M. Rexrode, C. M. Albert, F. Laden // *J. of the Amer. Heart Ass.* – 2015. – N 4(12). – pii: e002301. – doi: 10.1161/JAHA.115.002301.
14. 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.
15. Kajiyama, Y. Analysis of Influence of Snow Melting Agents and Soil Components on Corrosion of Decorative Chrome Plating / Y. Kajiyama, T. Obata, T. Sugimoto, M. Nakamura, M. Mori // *SAE Intern. J. of materials and manufacturing*. 2016. – v. 9. – N 3. – P. 819–826. – doi: 10.4271/2016-01-0539.
16. Кириллов, Н. Г. Природный газ как моторное топливо / Н. Г. Кириллов // *Нефть. Газ. Промышленность*. – 2006. – № 2. – С. 40–65.
17. Герцун, Г. М. Аналіз ризикоформуючих факторів атмосферних опадів м. Чернівці / Г. М. Герцун, Ю. Г. Масікевич // *Екологічна безпека*. – 2013. – № 2(16). – С. 40–43.
18. Дыганов, В. А. Использование компьютерных технологий при решении экологических задач повышенной трудности / В. А. Дыганов. – Казань: Казанский гос. педагогич. ун-т., 1997. – 58 с.
19. Борисов, О. О. Геоэкологічна оцінка ризику кислотного забруднення приміських ділянок педосфери (на прикладі міста Києва) / О. О. Борисов // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2016. – № 4(96). – С. 41–48.
20. Степура, В. С. Основы эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: навч. посіб. / В. С. Степура, А. О. Белятинський, Н. В. Кушель. – К.: НАУ, 2013. – 204 с.
21. Хабаров, В. А. Комплексная геоэкологическая оценка урбанизированных территорий в условиях техногенеза / Хабаров, В. А.: Дис. на соискания учен. степени д-ра геогр. наук : 25.00.36. – М., 2003. – 570 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kubyshkina, E. N. Praktikum po geoekologii i prirodopolzovaniyu: ucheb.-metod. materialy [Workshop on geoecology and nature management: teaching materials]. Kazan: Kazanskii un-t, 2014, 62 p.
2. Kofanova, O. V., Kofanov, O. Ye. Mekhanizmy posyleniya ekologichnosti vityhznaniya avtotransportu za rakhunok zabezpechenniya yoho staloho rozvytku [Mechanisms for the increasing of the environmental friendliness of vehicles by ensuring its sustainable development]. *Stratehiia rozvytku Ukrainy: ekonomika, sotsiologhiia, pravo* [The development strategy of Ukraine: economics, sociology, law], 2015, 1, 67-73.
3. Lukanin, V. N., Trofimenko, Iu. V. Promyshlenno-transportnaia ekologiia: ucheb. dlia vuzov [Industrial and transport ecology: the textbook for universities]. Moscow: Publishing house Vyssh. shk., 2001, 273 p.
4. Sheludchenko, L. S. Rozroblennia konstrukttsii hazopylozakhysnykh lisosmuh avtodorozhnoi merezhi [Development of the constructions of gas and dust protection forest belts of the road network]. Kamianets-Podilskiy: Publishing house PDATU, 2015, 134 p.
5. Brazovskii, V. V. Issledovanie protsessov mnogostupenchatoi ochistki [Investigation of the multistage purification processes]. *EFTZh*. 2008, 3, 26-34.
6. Sheludchenko, L. S., Ovcharuk, O. V., Nosko, B. L. Analiticheskoe modelirovanie kolichstva dispergirovaniia mineralnykh veshchestv potokom avtomobilnogo transporta pri razrushenii avtodorozhnogo pokrytiia [Analytical modeling of the amount of dispersion of the mineral substances by the flow of the vehicles during the destruction of the road surfaces]. *Ekologichna bezpeka* [Environmental safety], 2017, 1(23), 58-62.
7. Snieskiene V., Balezientiene L., Stankeviciene A. Urban salt contamination impact on tree health and the prevalence of fungi agent in cities of the central Lithuania. *Urban forestry & urban greening*, 2016, 19, 13-19. – doi: 10.1016/j.ufug.2016.05.015.
8. Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J. M. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319, 756-760. – doi: 10.1126/science.1150195.
9. Soloveva, E. S. Ekologicheskie osobennosti aktinomitsetnykh kompleksov gorodskikh pochv: diss. na soiskaniia uchen. stepeni kand biol. nauk, 03.02.08 – ekologiia(biologiia) [Ecological features of the actinomycete complexes of urban soils: thesis for a candidate's degree in biological sciences, 03.02.08 – ecology (biology)]. Kirov, 2014, 147 p.
10. Pliatsuk, L. D., Vaskin, R. A., Vaskina, I. V. Modeliuvannia poshyrennia vykydiv vid avtotransportu u selitebnykh terytoriakh mist [Modeling of the emissions from vehicles in the residential areas of cities]. *Ekologichna bezpeka* [Environmental safety], 2011, 2(12), 36-38.
11. Rukovodstvo po kontroliu zagriazneniia atmosfery RD 52.04.186–89 [Manual on the control of the atmospheric pollution RD 52.04.186-89]. – Moscow: Publishing house Gidrometeoizdat, 1989, 1084 p.
12. Hart J. E, Chiuve S. E, Laden F, Albert C. M. Roadway proximity and risk of sudden cardiac death in women.

- Circulation*, 2014, **130**(17), 1474-1482. – doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.011489.
- 13 **Hart J. E., Puett R. C., Rexrode K. M., Albert C.M., Laden F.** Effect modification of long-term air pollution exposures and the risk of incident cardiovascular disease in US women. *J. of the Amer. Heart Ass*, 2015, **4**(12). – doi: 10.1161/JAHA.115.002301.
- 14 **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.
- 15 **Kajiyama, Y., Obata, T., Sugimoto, T., Nakamura, M., Mori, M.** Analysis of Influence of Snow Melting Agents and Soil Components on Corrosion of Decorative Chrome Plating. *SAE Intern. J. of materials and manufacturing*, 2016, **9**, **3**, 819–826, doi: 10.4271/2016-01-0539.
- 16 **Kirillov, N. G.** Prirodnyi gaz kak motornoe toplivo [Natural gas as a motor fuel]. *Neft. Gaz. Promyshlennost' [Oil. Gas. Industry]*, 2006, **2**, 40–65.
- 17 **Heretsun, H. M., Masikevych, Yu. H.** Analiz ryzykoformuiuchykh faktoriv atmosferykh opadiv m. Chernivtsi [Analysis of the risk-forming factors of the atmospheric precipitation in Chernivtsi]. *Ekolohichna bezpeka [Environmental safety]*, 2013, **2**(16), 40–43.
- 18 **Dyganov, V. A.** Ispolzovanie kompiuternykh tekhnologii pri reshenii ekologicheskikh zadach povyshennoi trudnosti [Usage of the computer technologies in solving environmental problems of the increased difficulty]. Kazan: Kazanskii gos. pedagogich. un-t, 1997, 58 p.
- 19 **Borysov, O. O.** Heoekolohichna otsinka ryzyku kyslotno-solovoho zabrudnennia prymahistralnykh dilianok pedosfery (na prykladi mista Kyieva) [Geoecological risk assessment of the acid-saline contamination of the pedosphere areas near highways (on the Kyiv example)]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK [Engineering, energy, transport agro-industrial complex]*, 2016, **4**(96), 41–48.
- 20 **Stepura, V. S., Bieliatynskiy, A. O., Kuzhel, N. V.** Osnovy ekspluatatsii avtomobilnykh dorih i aerodromiv: navch. posib. [Basics of the operation of the highways and airfields: teaching manual]. Kyiv: NAU, 2013, 204 p.
- 21 **Khbarov, V. A.** Kompleksnaia geoekologicheskaiia otsenka urbanizirovannykh territorii v usloviakh tekhnogeneza: dis. na soiskaniia uchen. stepeni d-ra geogr. nauk, 25.00.36 [Complex geoecological assessment of the urbanized territories in conditions of the technogenesis: thesis for a degree of Dr. of geographical sciences, 25.00.36]. Moscow, 2003, 570 p.

Відомості про авторів (About authors)

Борисов Олександр Олександрович – аспірант кафедри інженерної екології; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: inton.oht@gmail.com.

Oleksandr Borysov – Ph. D. student, Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: inton.oht@gmail.com.

Кофанова Олена Вікторівна – д. пед. н., к. х. н., професор, професор кафедри інженерної екології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна; e-mail: elexina555@gmail.com.

Olena Kofanova – Doctor of Educ. Sc., Ph. D. in Chemistry, Professor, Professor of Environmental Engineering Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: alexina555@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Борисов, О. О. Комплексний аналіз геохімічного стану придорожніх територій великого міста / **О. О. Борисов, О. В. Кофанова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 91-97. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.32.15.

Please cite this article as:

Borysov, O. O., Kofanova, O.V. Complex analysis of the geochemical state of the city roadside areas. *Bulletin of NTU KhPI. Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017 **32** (1254), 91–97, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.15.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Борисов, А. А. Комплексный анализ геохимического состояния придорожных территорий большого города / **А. А. Борисов, Е. В. Кофанова** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 91-97. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.32.15.

АННОТАЦИЯ Проанализировано влияние вредных примесей в атмосферном воздухе больших городов на здоровье людей, определен вклад автотранспорта в загрязнение окружающей городской среды и в изменения климата на планете. Сделан вывод о необходимости комплексного геоэкологического анализа состояния городских территорий и зеленых насаждений, расположенных вблизи дорог и автомагистралей. Проведена оценка кислотно-солевого загрязнения атмосферных осадков и придорожных почв в г. Киеве. Установлены корреляционные зависимости между кислотным и соевым загрязнением придорожной территории большого города, исследована сезонная динамика загрязнений. Установлено, что использование противогололедных средств зимой существенно влияет на качество почв и, как следствие, на состояние и развитие зеленых насаждений. Рассчитан комплексный показатель геохимического загрязнения исследуемых территорий.

Ключевые слова: экологическая безопасность; загрязнение атмосферного воздуха; автотранспортное загрязнение; геохимическое состояние; кислотно-солевое загрязнение почв; зеленые насаждения.

Надійшла (received) 15.09.2017

УДК 004.942+574.51

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОННОГО РЕЛЬЕФА НА БАЗЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНЕГО УЧАСТКА Р. САМАРА

Д.Д. ДУБОВИК¹, Ю.І. БОРОХОВИЧ²

¹Институт технической механики и государственное космическое агентство НАН Украины, Днепр, УКРАИНА

²Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепр, УКРАИНА
email: denic3d@gmail.com

АННОТАЦИЯ Экспериментальное определение донного рельефа осуществляется путем измерения глубин исследуемой части ИВ, лабораторного определения мутности воды и скорости осаждения содержащихся в воде веществ. Далее выполняется приближенная оценка объема осаждающегося ила для исследуемого участка искусственного водохранилища на основе последовательно выполненных двух измерений глубин через определенный интервал времени. Одновременно с измерением глубин с заданным распределением точек измерения выполняется забор воды для лабораторного определения ее мутности и скорости осаждения ила.

Ключевые слова: донный рельеф; искусственное водохранилище; водозабор; объем ила; картографические данные.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DENON RELIEF ON THE BASIS OF THE RESEARCH OF THE LOWER SITE OF R. SAMARA

D. DUBOVYK¹, B. BOROKHOVYCH²

¹ Institute of Technical Mechanics and State Space Agency of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, UKRAINE.

² Institute for Nature Management and Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT Experimentally determine the bottom relief on the basis of studies of the lower section of the river. Samara. To build a route for measuring depths and digitizing depths, we used the built-in Android application, Androzik. Along with measurements of depths, water turbidity and sedimentation rate were determined. About 2,000 depth points were obtained, the data was transferred to the GIS platform, resulting in a bottom relief model, the area and volume of the reservoir. Laboratory tests of water samples were conducted on a number of parameters, the most important of which is the "turbidity" for modeling the sludge formation process. In the course of expedition studies of the cross-section profiles of the reservoir-prototype, the information was obtained in the form of direct measurements of the depths in the cross-sections of the given cross sections. Digitization and processing of cartographic data (topographic maps, remote sensing images) are carried out in the appropriate sections of the dissertation research using special techniques. Measurements were made using echo-lot and GPS devices. For an approximate calculation of the volume of the low, experimental data on the distribution of the turbidity of water and the rate of sedimentation of suspended solids are used. According to the approximate method of estimating the amount of the nitrate deposited during the year in the specified zones of the reservoir - the prototype. The bottom relief was determined experimentally on the basis of studies of the lower section of the river. Samara.

Keywords: bottom relief; artificial reservoir; water intake; volume of the plug; cartographic data.

Введение

Длина Самары 311 км, площадь бассейна 22660 км². Уклон реки 0,33 м / км. Долина трапецевидная, асимметричная, на отдельных участках неясно выражена. Пойма двусторонняя, подавляющее ширина 3-4 км (максимальная 6 км). Берет начало на западных склонах Донецкого кряжа. Далее течет по Приднепровской низменности преимущественно на запад. Впадает в Днепровское водохранилище. Самарское водохранилище, или Самарский залив имеет протяженность 27 км. Ширина растет до 12 км на приустьевом участке.

Цель работы

Экспериментальное определение донного рельефа основано на определении фактического количества донных отложений в течение одного года. Для этой цели были проведены экспериментальные исследования нижнего участка р. Самара (между мостом на Игрень и мостом на Приднепровск). Исследования проводились с использованием плавсредств, GPS трекера Gembird, эхолота, а также средств забора воды для определения ее мутности и других характеристик.

Изложение основного материала

Для построения маршрута движения при измерениях глубин и оцифровки глубин использовалось встроенное приложение для Android – Андролик. Исследования проведены в 2015 и 2016 годах – два комплексных исследования с интервалом в один год. Наряду с измерениями глубин выполнялись определение мутности воды и скорости осаждения осадков [1]. В первом и втором экспериментальных исследованиях измерения проводились в одних и тех же точках акватории, что позволило определить изменение глубин в этих точках через интервал времени в один год. Каждое полевое исследование сопровождалось также измерением реперной точки для отслеживания НПУ [5]. Было получено около 2000 точек глубин, данные были перенесены в ГИС платформу, в результате были получены модель рельефа дна, площадь и объем водохранилища. Были проведены лабораторные исследования проб воды по ряду параметров (табл 1), важнейшим из которых для моделирования процесса ило-образования является «мутность» [6-9].

Самарский залив имеет близкий гидрологический режим Днепро́вскому водохранилищу (скорость течения, соотношение глубины и площади зеркала). На рисунках 1, 2 представлены Самарский залив и Днепро́вское водохранилище, соответственно. Для исследования в качестве водоема-аналога Днепро́вского водохранилища наиболее подходящим участком по гидрологическим параметрам морфометрии является участок от моста на Игрень до моста на Приднепровск. Для расчетов критериев подобия и данных необходимых для расчетов было проведена оцифровка Самарского залива и Днепро́вского водохранилища.

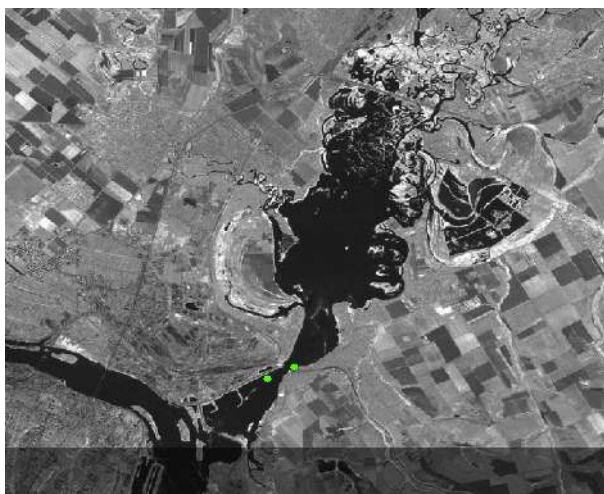


Рис. 1. Карта нижнего участка р. Самара (Самарский залив), Landsat.

Таблица 1 – Оцениваемые параметры качества воды

Параметры	Единицы измерения
Цветность	Градус
Запах	Балы
Мутность	мг/дм ³
Водный показатель	pH
Щелочность общая	HCO ₃ ⁻ /дм ³
Биокарбонаты	(HCO ₃ ⁻) мг/дм ³
Сухой остаток	мг/дм ³
Жесткость	мг-екв/дм ³
Кальций	(Ca ²⁺), мг/дм ³
Магний	(Mg ²⁺), мг/дм ³
Натрий и калий	(Na ⁺ i K ⁺), мг/дм ³
Нитраты	(NO ₃ ⁻) мг/дм ³
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³
Биохроматная окисляемость	мгО/дм ³
Нитриты	(NO ₂ ⁻), мг/дм ³
Аммоний (азот аммонийный, аммиак)	(азот амонійний, аміак), мг/дм ³
Общий фосфор	Рмг/дм ³
Общий азот	Nмг/дм ³



Рис. 2– Зеркало воды Самарского залива.



Рис. 3 – Оцифровка точек глубин Самарского залива.

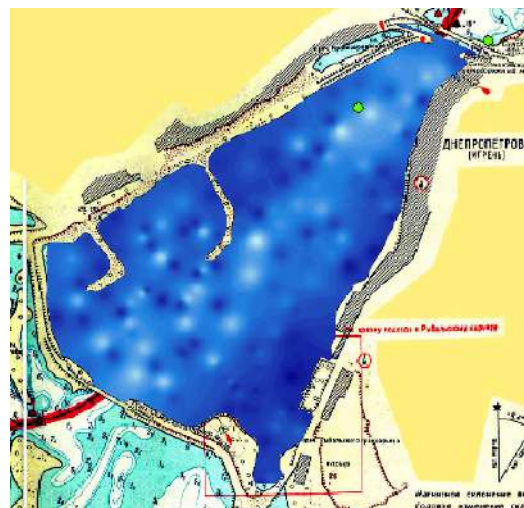


Рис. 5 – Модель рельєфа дна водоема прототипа (раніше відомі дані).

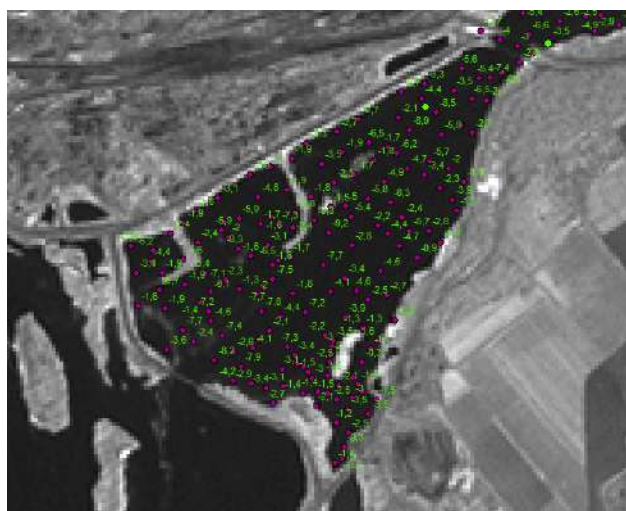


Рис.4 – Схема точок замірів глибин Самарського залива для створення моделі-прототипа

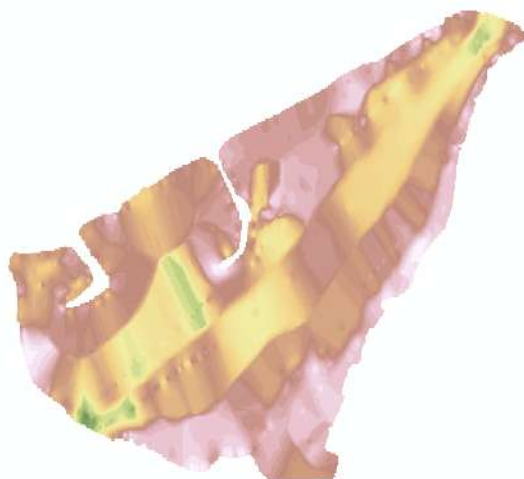


Рис. 6 – Модель рельєфа дна водоема-прототипа (полеві дослідження 2015 год).

Работа по моделированию рельефа дна участка р. Самара (водоема-прототипа) выполнена на ГИС-платформе. На основании полевых исследований были построены модели рельефа дна 2015 и 2016 гг. Эти модели позволяют оценить изменение глубин в точках измерений и на этой основе определить экспериментальный объем наилка, накопленного в течение интервала 2015 – 2016 г.г. Фрагмент матрицы различия глубин Самарского залива в точках измерения 2015 и 2016 г.г. представлен фрагментом матрицы различия глубин, определенным как разность матриц глубин 2016 и 2015 г.г. [2,4].

Оцифровка картографических данных Днепровского водохранилища. Днепровское водохранилище — одно из украинских водохранилищ на Днестре, расположенное частично в Запорожской и частично в Днепропетровской областях и образованное плотиной Днепропетровской ГЭС. Площадь водохранилища составляет 410 км², объем 3,3 км³. Его длина 129 км, максимальная ширина достигает 3,5 км, средняя глубина — 8 м, максимальная — 53 м. В него впадают реки: Самара, Орель, Мокрая Сура.

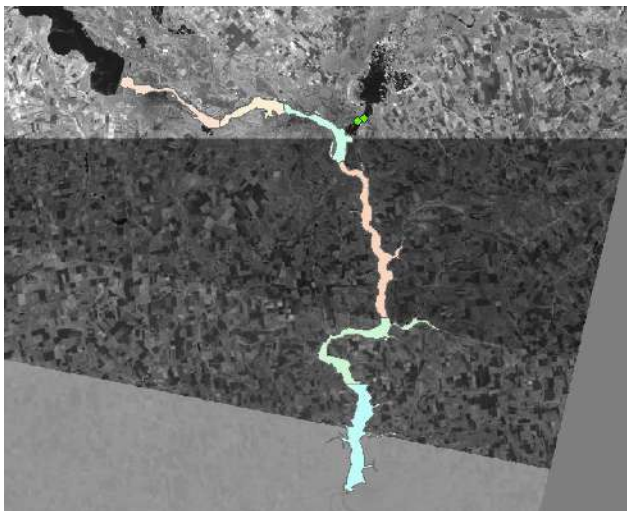


Рис. 7 – р. Днепр (Днепровское водохранилище)
оцифровка площади зеркала воды.

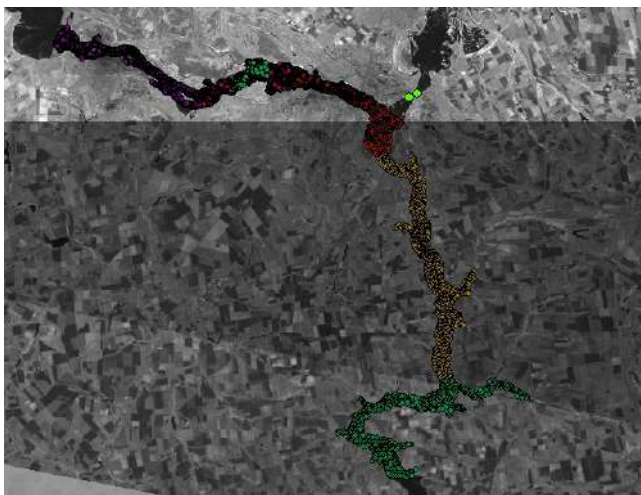


Рис. 8 – Экспериментальное определение объема
наилка по результатам измерений глубин
водохранилища-прототипа.

Экспериментальное определение донного рельефа осуществляется путем измерения глубин исследуемой части ИВ, лабораторного определения мутности воды и скорости осаждения содержащихся в воде веществ. Далее выполняется приближенная оценка объема осаждающегося ила для исследуемого участка искусственного водохранилища на основе последовательно выполненных двух измерений глубин через определенный интервал времени. Одновременно с измерением глубин с заданным распределением точек измерения выполняется забор воды для лабораторного определения ее мутности и скорости осаждения ила.

Измерения глубин ИВ производятся по точкам, заданным сеткой измерений (рис.4) в соответствии с Техническим заданием на выполнение экспериментальных работ по оценке объемов илов,

выпавших на дно водоема в течение интервала времени T (один год).

Для разработки моделей оценки темпов заиления искусственных водохранилищ типа водохранилищ Днепровского каскада определяется характер информации о распределении глубин акватории водохранилища – прототипа. В качестве такого избрано Самарское водохранилище (Самарский залив). Для проверки данных, полученных на основе цифровой обработки существующих картографических данных проведены прямые измерения глубин в 2015 и 2016 годах (интервал 1 год). Расстояния между точками измерения в поперечном сечении составляют 20–30 м), расстояния между поперечными сечениями лежат в диапазоне 50 м до 180 м. [10-11].

Обсуждение результатов

В ходе экспедиционных исследований профилей поперечных сечений водохранилища-прототипа информация получена в форме прямых измерений глубин в створах заданных поперечных сечений. Оцифровка и обработка картографических данных (топографические карты, снимки ДЗЗ) выполняются в соответствующих разделах диссертационного исследования с помощью специальных методик.

Исследуемая часть акватории задается верхним створом (мост на Игрень) и нижним створом (мост на Приднепровск). Число поперечных сечений по течению распределены неравномерно. Учитываются особенности предполагаемой формы профиля дна в конкретном сечении. Также задается диапазон длин шага измерений, которые зависят от крутизны падения склона дна в плоскости сечения.

Измерения производились с помощью эхо-лота и приборов GPS. Данные измерений приведены к нормальному подпорному уровню, для чего использована информация о текущем значении уровня искусственного водохранилища относительно НПУ в каждый день исследования в реперных точках. В каждом сечении взяты пробы воды (от 5 до 12 точек в каждом сечении, выполнен анализ относительного количества взвешенных веществ в воде в соответствии требованиями методик лабораторных исследований.

По значениям глубин первого и второго цикла измерений (2015, 2016 г.г.) восстановлены на ГИС – платформе соответствующие профили дна Д1 и Д2

На основании аппроксимированных профилей дна и соответствующих глубин, а также расстояний между точками каждого предыдущего, образующих квазипараллелепипеды, объем которых приближенно определяет объем наилка, образовавшегося в течение одного года. Сумма этих элементарных объемов определила объем наилка в исследуемой части водохранилища – прототипа.

Для приближенного расчета объема наилка используются экспериментальные данные о распределении мутности воды и скорости осаждения взвешенных веществ.

Выводы

В ходе экспедиционных исследований профилей поперечных сечений водохранилища-прототипа информация получена в форме прямых измерений глубин в створах заданных поперечных сечений. Оцифровка и обработка картографических данных (топографические карты, снимки ДЗЗ). Проведена приближенная оценка объема осаждающегося ила для исследуемого участка искусственного водохранилища на основе последовательно выполненных двух измерений глубин через определенный интервал времени.

Список литературы

1. Савичев, О. Г. Регулирование речного стока. / О. Г. Савичев, С. Ю. Краснощёков, Н. Г. Наливайко // Издательство Томского политехнического университета. – 2009. – 114 с.
2. ESRI White paper ArcGis 3D Analyst. 3D visualization, topographical analysis, surface construction. - 2002. - 14с.
3. Шапар, А. Г. Систематизация задач наукового забезпечення переводу території басейну р. Дніпро до сталого функціонування / А. Г. Шапар, О. О. Скрипник, С. М. Сметана // 36. наук. праць ІППЕ. Екологія і природокористування. – 2012. – вип.15. – с.12–23.
4. Shapar, A. Determination of bottom sediments intensity accumulation in Samara gulf of Dnieper reservoirs using Geographic information systems (GIS) / A. Shapar, O. Skrypnyk, D. Dubovyk // *Екологічна безпека*. – 2015. – № 1/2015 (19). – С. 33-36.
5. Дубовик, Д. Д. Приближенная методика оценки объема заиления водохранилища прототипа / Д. Д. Дубовик // *Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»*. – Харьков. – 2016. – вып. 18. – с. 164. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.24.
6. Carlson, R. E. A Trophic State Index for lakes / R. E. Carlson // *Limnol. And Oceanography*. – 1977. - 22(2). - P. 361-369. – doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
7. Kloiber, S. M. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data / S. M. Kloiber, P. L. Brezonik, L. G. Olmanson // *Remote Sensing of Environment*. – 2002. - 82, N 1. – P. 38-47. – doi: 10.1016/S0034-4257(02)00022-6.
8. Brezonik, P. L. Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) / P. L. Brezonik, K. D. Menken, M. E. Bauer // *Lake and Reservoir Management*. – 2005. – 21(4). – P. 373-382.
9. Starodubtsev, V. M. Formation of delta landscapes in the upper Dnieper cascade reservoirs / V. M. Starodubtsev, V. A. Bohdanets, S. V. Yatsenko [et al.] // *Electronic Journal "Scientific reports NUBiP of Ukraine"*. – 2010. – No. 5 (21).

10. Shapar, O. O. Determination of actual ecological parameters of the Dnieper reservoirs using geoinformation technologies / A. G. Shapar, O. O. Skrypnyk, D. D. Dubovyk // *Ecology and Environmental Sciences*. – 2014. – Vol. 18. – P. 139–146.
11. Kress, H. Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, Nebraska / W. H. Kress, S. K. Sebree, G. R. Littin // *Scientific Investigations Report, 2005-5040. Published by U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey*. – 2005. – 19 p.

Bibliography (transliterated)

1. Savychyev, O. H. Rehulyrovanye rechnoho stoka. Nalyvayko Yzdatel'stvo Tomskoho polytekhnycheskoho unyversyteta, 2009, 114 s.
2. ESRI White paper ArcGis 3D Analyst. 3D visualization, topographical analysis, surface construction. - 2002. - 14 c.
3. Shapar, A. H., Skrypnyk, O. O., Smetana, S. M. Systematyzatsiya zadach naukovooho zabezpechennya perevodu terytoriyi baseynu r. Dnipro do staloho funktsionuvannya. *Zb. nauk. prats' IPPE "Ekolohiya i pryrodokorystuvannya"*, 2012, 15, 12–23.
4. Shapar, A., Skrypnyk, O., Dubovyk, D. Determination of bottom sediments intensity accumulation in Samara gulf of Dnieper reservoirs using Geographic information systems (GIS). *Ekologichna Bezpeka*, 2015, № 1/2015 (19), S. 33-36.
5. Dubovyk, D. D. Pryblyzhennaya metodyka otsenky ob'yema zaylenyya vodokhranylyshcha prototypa. *Vestnyk Natsional'noho tekhnicheskoho unyversyteta «Khar'kovskyy polytekhnychesyy ynsytut*, 2016, 18, 164. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.18.24.
6. Carlson, R. E. A Trophic State Index for lakes. *Limnol. And Oceanography*, 1977, 22(2), P. 361-369. – doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
7. Kloiber, S. M., Brezonik, P. L., Olmanson, L. G. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 2002, 82, N 1, P. 38-47. – doi: 10.1016/S0034-4257(02)00022-6.
8. Brezonik, P. L., Menken, K. D., Bauer, M. E. Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). *Lake and Reservoir Management*, 2005, 21(4), P. 373-382.
9. Starodubtsev, V. M., Bohdanets, V. A., Yatsenko, S. V. Formation of delta landscapes in the upper Dnieper cascade reservoir. *Electronic Journal "Scientific reports NUBiP of Ukraine"*. – 2010. – No 5 (21).
10. Shapar, A. G., Skrypnyk, O. O., Dubovyk, D. D. Determination of actual ecological parameters of the Dnieper reservoirs using geoinformation technologies. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 18, 139–146.
11. Kress, H., Sebree, S. K., Littin, G. R. Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, Nebraska. *Scientific Investigations Report, 2005-5040. Published by U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey*. – 2005. – 19 p.

Сведения об авторах (About authors)

Дубовик Денис Дмитриевич – младший научный сотрудник, Институт технической механики и государственное космическое агентство НАН Украины, Днепр, Украина; e-mail: denic3d@gmail.com.

Denys Dubovyk – Junior Researcher, Institute of Technical Mechanics and State Space Agency of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Борохович Юлия Игоревна – ведущий инженер, Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепр, Украина; e-mail: vymchalab@gmail.com.

Yuliia Borokhovych – Leading Engineer, Institute for Nature Management and Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine; e-mail: vymchalab@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Дубовик, Д. Д. Экспериментальное определение донного рельефа на базе исследований нижнего участка р. Самара / **Д. Д. Дубовик, Ю. И. Борохович** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 98-103. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16.

Please cite this article as:

Dubovyk, D., Borokhovych, Y. Experimental determination of bottom relief on the basis of studies of the lower part of the river. Samara. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 98–103 doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Дубовик, Д. Д. Експериментальне визначення донного рельєфу на базі досліджень нижньої ділянки р. Самара / **Д. Д. Борохович, Ю. І.** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 98-103. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.16.

АННОТАЦІЯ Експериментальне визначення донного рельєфу здійснюється шляхом виміру глибини досліджуваної частини ІВ, лабораторного визначення змісту води та швидкості осадження вміщених у воді речовин. Далі виконується приблизна оцінка обсягу осадженої мулу для досліджуваного ділянки штучного водоймища на основі послідовно виконаних двох вимірів глибини через певний інтервал часу. Одночасно з виміром глибини з заданим розподілом вимірювання точок виконується забір води для лабораторного визначення її різниці та швидкості осадження мулу.
Ключові слова: донний рельєф; штучне водосховище; водозабір; обсяг замулу; картографічні дані.

Поступила (received) 15.09.2017

УДК 66.095.81 + 66.048.1+66.048.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.17

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАДИИ ОТГОНКИ БЕНЗОЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ НИТРОБЕНЗОЛА АДИАБАТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

С. А. КОНДРАТОВ¹, Т. Н. ХЛЯКИНА²¹Кафедра высшей математики и компьютерных технологий Института химических технологий Восточноукраинского национального университета им. В.Дала, г. Рубежное, Луганской обл., УКРАИНА²ООО «Научно-производственное предприятие «Заря»», г. Рубежное, Луганской обл., УКРАИНА

* e-mail: kondratovsa@gmail.com

АННОТАЦИЯ Методами математического и компьютерного моделирования исследована эффективность стадии отгонки бензола и воды из смеси бензол-нитробензол-вода, которая образуется при адиабатическом нитровании бензола. Рассмотрено 3 модели организации удаления: непрерывная и периодическая дистилляция в вакууме и вакуум-ректификация. Установлено, что с точки зрения материального баланса и тепловых затрат наиболее выгодным является непрерывная вакуумная ректификация в колонне с 3 ступенями разделения.

Ключевые слова: адиабатическое нитрование; стадия отгонки; вакуум-ректификация; технологический анализ; математическое моделирование.

THE TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF THE STAGE OF BENZENE DISTILLATION IN THE MANUFACTURE OF NITROBENZENE BY ADIABATIC METHOD

S. KONDRATOV¹, T. KHLyakINA²¹ Department of mathematics and computer technologies Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Rubizhne, UKRAINE² The Research and Producing Enterprise "Zarya" Ltd, Rubizhne, UKRAINE

ANNOTATION. The efficiency of the stage of distillation of benzene and water from the benzene nitrobenzene-water mixture, which is formed by adiabatic nitration of benzene, is studied with the help of mathematical and computer modeling methods. Three models of disposal organization are considered and analyzed with the help of numerical computer experiments: continuous and periodic distillation in vacuum and continuous vacuum rectification. The model equations were obtained taking into account the specific features of the processes. The first and third models describe stationary processes using systems of nonlinear algebraic equations. The second model describes the transient process using differential equations. In all models, it was assumed that, because of the low water content in the mass, the latter is completely in the vapor phase and completely goes to the distillate. In the continuous distillation model, it is provided that the distillate after condensation, including recycle reflux, is completely separated from water. It has been shown that simple continuous vacuum distillation does not completely remove benzene from the vat liquid even at high molar ratios of the distillate-vat liquid. Periodic vacuum distillation and continuous distillation make it possible to obtain a distillate with a sufficiently low content of nitrobenzene and provide a low content of benzene in the vat liquid. It has been established that from the standpoint of material balance and heat costs, the most advantageous is continuous vacuum rectification in a column contained 3 levels of separation and a sufficiently low reflux ratio (~1,5). Distillate containing up to 2% nitrobenzene should be sent to the nitration stage. The vat liquid, commodity nitrobenzene contains not more than 0.1% benzene.

Key words: adiabatic nitration; distillation stage; vacuum rectification; technological analysis; mathematical modeling.

Введение

Процессы нитрования ароматических соединений широко используют для получения исходные вещества в синтезе полимеров, красителей, пестицидов, лекарственных препаратов, взрывчатых веществ, добавок к топливам и полимерам [1]. Основным промышленным методом получения ароматических нитросоединений является взаимодействие азотной кислоты с ароматическим соединением в среде серной кислоты [2]. Важнейшим представителем ароматических нитросоединений является нитробензол, мировое производство которого превышает 10 млн тонн [3]. В настоящее время наиболее перспективной технологией получения нитробензола считается высокотемпературное адиабатическое нитрование [3,4]. Сущность его заключается в проведении нитрования в реакторе вытеснения при подогреве за счет теплоты реакции до температуры на выходе до

140-170 °С. Подогрев осуществляется за счет теплоты реакции. Благодаря высокой температуре время пребывания в реакторе сокращается на 1-2 порядка по сравнению с реактором перемешивания, традиционно используемым в промышленности.

Адиабатическое нитрование проводят в избытке бензола (обычно 10 %-ном), что позволяет добиться полного расхода азотной кислоты и резко сократить количество побочных продуктов: динитросоединений и фенолов [3,4].

При этом сырой нитробензол после стадий выделения и нейтрализации-промывки содержит около 10 % мольн. бензола, а также небольшие количества воды, которые необходимо удалять из готового продукта. Актуальной задачей является поиск оптимальной технологии осушки нитробензола с одновременным удалением из него воды и бензола.

Выбор оптимального технического решения является основой любой технологии. Современный

подход к поиску оптимальных решений базируется на широком использовании математических моделей и современных компьютерных технологий. Это позволяет значительно сократить время и расходы на разработку, дает возможность объективно оценить перспективные показатели технологии и наметить эффективные пути их проверки и реализации.

Цель и задачи исследований

Целью настоящей работы является анализ возможных технических решений по организации разделения: непрерывной дистилляции, периодической дистилляции и ректификации с помощью методов компьютерного моделирования и выявление оптимального варианта процесса разделения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать, исходя из имеющихся в литературе данных, модели каждого процесса разделения на основе физико-химических свойств компонентов и их смесей, а также законов и принципов химической термодинамики применительно к объекту исследований с учетом его конкретных особенностей.

2. На моделях, путем численных экспериментов, выявить закономерности и особенности протекания каждого из процессов разделения.

3. На основе сравнения показателей каждого способа выбрать оптимальный вариант процесса разделения для практического использования.

Исследование существующих решений проблемы

В настоящее время в промышленности используются 2 метода получения нитробензола. По классическому способу нитробензол получают непрерывным нитрованием бензола смесью азотной и серной кислот в реакторе перемешивания или каскаде реакторов, при 50–65 °С с использованием небольшого избытка азотной кислоты (1–3 %) по сравнению с бензолом. Далее нитробензол отделяют от отработанной кислоты, промывают растворами щелочи, соды или аммиака и водой от остатков кислоты и побочно образующихся фенолов, отстаивают от воды и направляют потребителю [4–5]. Основным потребителем нитробензола является производство анилина [6], небольшие количества остаточного бензола (менее 0,5 %) и воды не препятствуют процессу восстановления нитрогруппы и удаляются при дистилляции анилина-сырца. Поэтому проблема очистки нитробензола от бензола для классического способа не является актуальной.

Второй промышленный способ получения нитробензола (путем адиабатического нитрования) основан на взаимодействии избытка бензола с кислотной смесью в реакторах вытеснения в адиабатических условиях [3, 4, 7]. После реакции также производится отделение нитробензола от

отработанной кислоты, его нейтрализация и промывка водой. Однако, как отмечено выше, получаемый продукт содержит значительные количества бензола, который должны быть удален. В патентах, посвященных технологии адиабатического нитрования бензола [8–10] вопросы удаления остатков бензола не рассматриваются. Однако в статье [3] упоминается, что в производстве нитробензола адиабатическим способом бензол можно удалять из нитробензола путем дистилляции. Характеристики этого процесса не приводятся.

Проблема удаления непрореагировавших ароматических соединений характерна и для других процессов моонитрования. Например в производстве о- и п- нитрохлорбензолов для удаления остатков непрореагировавшего исходного хлорбензола и следов воды используют вакуумную дистилляцию [5].

Таким образом, на сегодняшний день вопрос выбора процесса разделения исследован недостаточно, не проведено сравнительного исследования эффективности разных способов.

Для разделения смесей органических жидкостей можно использовать следующие методы [11]: простую дистилляцию (непрерывную и периодическую), дистилляцию с водяным паром и ректификацию, под. атмосферным давлением или в вакууме. Рассматривая системно технологию нитрования в комплексе с экологическими проблемами, метод дистилляции с водяным паром следует исключить из рассмотрения ввиду образования большого количества сточных вод, загрязненных токсичным нитробензолом. Поэтому представляет практический интерес провести на математических моделях сравнительное исследование особенностей процессов дистилляции (периодической и непрерывной) и ректификации и на основе анализа результатов выбрать наилучший вариант.

Методы исследований

В работе использовали методы математического моделирования процессов дистилляции (периодической и непрерывной) и ректификации. Расчеты по моделям проводили в среде SciLab, пакета прикладной математики, распространяемого по открытой лицензии через Интернет [12].

Исходные данные

Обозначения:

F – количество молей питания (1 кмоль);

D, W – количество молей дистиллята и куба ($D + W = F$)

x_i, y_i – мольные доли компонентов в жидкой и паровой фазах

a_i – состав питания в мольных долях.

Индексы $i = 1, 2, 3$ отвечают, соответственно, бензолу, нитробензолу и воде

Исходная смесь для моделирования содержит 0,1 кмоль бензола на 1 кмоль нитробензола и 0,5 % масс. воды.

Массовый состав смеси:

- бензол: 5,93 % (0,088 мольных долей),
- нитробензол: 93,57 % (0,880 мольных долей),
- вода: 0,5 % (0,032 мольных долей).

Содержание бензола в продукте после отгонки: не более 0,1 % масс.

Параметры уравнения Антуана для описания зависимости давления компонентов (P , мм рт. ст.) смеси от температуры (t , °C) [13]:

$$P = \exp\left(A + \frac{B}{t + C}\right), \quad (1)$$

получали аппроксимацией табличных значений температур кипения компонентов при разных давлениях в диапазоне температур 0-200 °C [14] нелинейным методом наименьших квадратов. Результаты приведены в табл.1.

Средние значения теплот испарения компонентов рассчитывали по уравнению Клаузиуса-Клапейрона из линейной зависимости логарифмов давления паров от обратной абсолютной температуры [13]. Значения теплот испарения, а также справочные значения молярных теплоемкостей компонентов в жидкой фазе приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Значение параметров уравнения Антуана для компонентов смеси и коэффициент детерминации для аппроксимации (R^2) (для давлений в кПа)

В-во	Диапазон t , °C	A	B	C	R^2
C ₆ H ₆	8-220	14,365	-2888	225,3	0,99997
C ₆ H ₅ NO ₂	40-210	14,675	-4009	199,8	0,99999
H ₂ O	0-200	18,381	-3848	228,7	0,99999

При моделировании считали, что бензол и нитробензол образуют идеальный раствор, а вода – отдельную фазу. Паровую фазу считали идеальным газом.

Таблица 2 – Значения средних удельных теплот испарения (l , кДж/моль) и средних молярных изобарных теплоемкостей компонентов в жидкой фазе (C_p , КДж/(моль·К))

Параметр	Бензол	Нитробензол	Вода
l	32	51	42
C_p , [15]	0,136	0,187	0,0753

Модель непрерывной дистилляции

Цель моделирования - получение зависимости массовой доли бензола в кубе от мольного соотношения D/F , состава дистиллята и куба, остаточного давления в системе (P_{ocm}) в условиях полного удаления воды с дистиллятом.

Модель составляем в виде замкнутой системы уравнений. Первые три уравнения выражают закон сохранения масс по бензолу, нитробензолу и воде:

$$\begin{cases} x_1 \cdot W + y_1 \cdot D = a_1 \\ x_2 \cdot W + y_2 \cdot D = a_2 \\ y_3 \cdot D = a_3 \end{cases} \quad (2)$$

Последнее уравнение выражает, что в кубовой жидкости воды не остается, а количество воды в дистилляте равно ее количеству в питании. Отсюда:

$$y_3 = \frac{a_3}{D} \quad (3)$$

Парциальные давления бензола и нитробензола в соответствии с законом Рауля для идеального раствора:

$$P_{\phi} = x_1 \cdot \exp\left(A_1 + \frac{B_1}{t + C_1}\right), P_{\text{нб}} = x_2 \cdot \exp\left(A_2 + \frac{B_2}{t + C_2}\right) \quad (4)$$

При кипении остаточное давление в системе равно сумме парциальных давлений бензола, нитробензола и воды (P_{ocm}):

$$P_{\phi} + P_{\text{нб}} + P_{H_2O} = P_{ocm}, \quad (5)$$

Так как паровую фазу считаем идеальным газом, для ее компонентов отношение парциальных давлений к остаточному давлению равно мольным долям компонентов:

$$y_1 = \frac{P_{\phi}}{P_{ocm}}; \quad y_2 = \frac{P_{\text{нб}}}{P_{ocm}}; \quad y_3 = \frac{P_{H_2O}}{P_{ocm}} = \frac{a_3}{D}, \quad (6)$$

Отсюда получаем уравнение:

$$y_1 + y_2 + y_3 = \frac{x_1 \cdot \exp\left(A_1 + \frac{B_1}{t + C_1}\right) + x_2 \cdot \exp\left(A_2 + \frac{B_2}{t + C_2}\right)}{P_{ocm}} + \frac{a_3}{D} = 1, \quad (7)$$

где t – температура кипения кубовой жидкости (°C) при остаточном давлении P_{ocm} .

При этом в кубовой жидкости:

$$x_1 + x_2 = 1, \quad (8)$$

а количества молей кубовой жидкости и дистиллята связаны соотношением:

$$W + D = F = 1. \quad (9)$$

Можно показать, что при выполнении этих условий в системе (2) только два уравнения (1 и 2 или 2 и 3) являются линейно независимыми. Отсюда, подставляя выражения для y_1 и y_2 , получаем систему из двух уравнений модели:

$$\begin{cases} \frac{x_1 \cdot \exp\left(A_1 + \frac{B_1}{t + C_1}\right) + (1 - x_1) \cdot \exp\left(A_2 + \frac{B_2}{t + C_2}\right)}{P_{ocm}} + \frac{a_3}{D} - 1 = 0; \\ x_1 \cdot (1 - D) + \frac{D \cdot x_1 \cdot \exp\left(A_1 + \frac{B_1}{t + C_1}\right)}{P_{ocm}} - a_1 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Решая систему нелинейных уравнений (10), находили величины x_1 и t , из значений которых рассчитывали мольные составы куба (x_1, x_2) и дистиллята (y_1, y_2, y_3). Из полученных величин рассчитываем массовые составы куба и дистиллята. Обобщая результаты расчетов, построили зависимость массовой доли бензола в кубе при непрерывной дистилляции от количества отогнанного дистиллята при различных остаточных давлениях при перегонке (табл. 3).

Таблица 3 – Зависимость массовой доли бензола в кубе при непрерывной дистилляции от количества дистиллята (D , кмоль на 1 кмоль питания) при разных остаточных давлениях (КПа). Начальный состав массы (в мольных долях): бензол: 0,0880; нитробензол: 0,880; вода: 0,032.

D	Массовая доля бензола в кубе при отгонке при остаточном давлении в системе, кПа				
	101,3	53,2	39,9	26,6	13,3
0,1	3,40	3,15	3,05	2,90	2,65
0,2	1,84	1,56	1,45	1,29	1,05
0,3	1,22	1,00	0,92	0,80	0,64
0,4	0,91	0,74	0,67	0,58	0,46
0,5	0,72	0,58	0,52	0,45	0,35
0,6	0,60	0,48	0,43	0,37	0,29
0,7	0,51	0,41	0,37	0,32	0,25
0,8	0,45	0,35	0,32	0,28	0,21
0,9	0,40	0,31	0,28	0,24	0,19

Как следует из приведенных данных, даже в том случае, когда большая часть продукта отгоняется с дистиллятом (вплоть до 0,9 моль на 1 моль питания), содержание бензола в кубе превышает нормативное.

Модель периодической дистилляции

Модель материального баланса периодической дистилляции, в соответствии с [13], описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx_i}{dm} = \frac{y_i - x_i}{m}, \quad (11)$$

где m – количество молей отгона, x_i , y_i – мольные доли i -го компонента в жидкой и паровой фазе.

Расчет значений y_i проводили по следующему алгоритму:

а) пока в системе остается вода, ($x_3 > 0$), считали, что органика и вода образуют две отдельные жидкие фазы. Тогда при температуре кипения $t_{кип}$ давление в системе равно сумме парциальных давлений органики и воды. При этом парциальные давления компонентов органической фазы определяются из закона Рауля, а парциальное давление воды равно давлению паров чистого компонента:

$$P_{осм} = \frac{x_1}{x_1 + x_2} \cdot P_1^0(t_{кип}) + \frac{x_2}{x_1 + x_2} \cdot P_2^0(t_{кип}) + k \cdot P_3^0(t_{кип}), \quad (12)$$

где k – коэффициент, значение которого равно 1, если в жидкой фазе есть вода и 0 – когда ее нет.

Для нахождения мольных долей компонентов в паровой фазе, по аналогии с (7), делили обе части уравнения на $P_{осм}$:

$$\frac{x_1}{x_1 + x_2} \cdot \frac{P_1^0(t_{кип})}{P_{осм}} + \frac{x_2}{x_1 + x_2} \cdot \frac{P_2^0(t_{кип})}{P_{осм}} + \frac{k \cdot P_3^0(t_{кип})}{P_{осм}} = y_1 + y_2 + y_3 = 1 \quad (13)$$

Решая уравнение (13), находили температуру кипения и мольные доли компонентов;

б) после полного удаления воды из жидкой фазы полагали, что в уравнении (13) $k = 0$, что обеспечивает нулевое значение y_3 при дальнейшем решении системы (11).

Систему (11) решали численно методом Рунге-Кутты 4 порядка. На каждом шаге находили текущие значения температуры кипения массы и мольные доли компонентов паровой фазы, решая нелинейное уравнение (12). Решение проводили от начального значения $m_0 = 1$ кмоль до $m_0 = 0,5$ кмоль с шагом 0,001 кмоль. Из полученных значений рассчитывали массовый состав куба и суммарный массовый состав дистиллята. По полученной таблице результатов определяли состав дистиллята при достижении в кубе 0,1 % масс. бензола.

Вместе с материальным расчетом проводили тепловой расчет. Для периодической дистилляции тепловой баланс (на нагрев 1 кмоль исходной смеси, без учета нагрева аппарата) складывается из следующих составляющих:

- теплоты, пошедшей на нагрев массы до начальной температуры кипения,
- теплоты, пошедшей на нагрев массы от начальной температуры кипения до конечной температуры кипения, связанной с изменением состава жидкой фазы;
- теплоты, пошедшей на испарение массы в процессе отгонки:

$$Q = Q_{нагр}^0 + Q_{нагр}^{н/к} + Q_{исп.}, \quad (14)$$

Первое слагаемое определяется по уравнению (15):

$$Q_{нагр}^0 = (C_1 \cdot a_1 + C_2 \cdot a_2 + C_3 \cdot a_3) \cdot m \cdot (t_{кип}^0 - t_0), \quad (15)$$

где C_1 , C_2 , C_3 – мольные теплоемкости жидких бензола, нитробензола, воды; a_1 , a_2 , a_3 – мольные доли этих компонентов в начальной смеси; $t_0 = 20$ °C и $t_{кип}^0$ – исходная температура смеси и начальная температура ее кипения, °C

Для нахождения значения $Q_{исп.}$ используем следующие рассуждения. Пусть в некоторый момент времени в системе имеется m моль кипящей смеси и из нее переходит в паровую фазу ее малая порция в количестве dm кмоль. Тогда, в соответствии с законом сохранения энергии, тепло, которое было сообщено кипящей жидкости, численно равно теплоте испарения порции, к которой добавлена теплота

нагрева пара от начальной температуры кипения до текущей:

$$dQ_{исп} = dm \cdot (y_1 \cdot l_1 + y_2 \cdot l_2 + y_3 \cdot l_3) \quad (16)$$

где y_1, y_2, y_3 – мольные доли бензола, нитробензола и воды в паровой фазе при отгонке порции; l_1, l_2, l_3 – мольные теплоты испарения этих компонентов, КДж/кмоль.

Разделив обе части уравнения (16) на dm и устремив к пределу $dm \rightarrow 0$ получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{dQ_{исп}}{dm} = y_1 \cdot l_1 + y_2 \cdot l_2 + y_3 \cdot l_3. \quad (17)$$

Решая это уравнение численно при начальном условии $Q_{исп}(m=m_0)=0$ совместно с уравнениями материального баланса до заданного содержания бензола в жидкой фазе, находим искомое значение $Q_{исп}$.

Для нахождения значения $Q_{нагр}^{н/к}$ рассмотрим следующую модель. Пусть в некотором i -том состоянии в системе находится m_i кмоль смеси, содержащей, соответственно, x_1, x_2 и x_3 мольных долей бензола, нитробензола и воды, при температуре кипения $t_{кип}^i$. Пусть после испарения малой порции смеси $\Delta m \rightarrow 0$ в системе устанавливается температура кипения $t_{кип}^{i+1}$. Процесс нагрева и испарения можно приближенно рассматривать, как нагрев m молей смеси от температуры $t_{кип}^i$ до температуры $t_{кип}^{i+1}$, с последующим испарением при температуре $t_{кип}^{i+1}$ порции Δm . В этом случае получаем приближенное разностное уравнение:

$$\Delta Q_{исп,i}^{н/к} \approx (C_1 \cdot x_1 + C_2 \cdot x_2 + C_3 \cdot x_3) \cdot m_i \cdot (t_{кип}^{i+1} - t_{кип}^i) \quad (18)$$

Значение теплоты нагрева можно получить, как сумму величин (18), вплоть до достижения требуемой остаточной концентрации бензола, по следующему алгоритму:

а) провести решение системы дифференциальных уравнений материального баланса для последовательности конечных значений m , с малым шагом, при котором получить также значение температур кипения;

б) по формуле (18) рассчитать значения приращений теплоты. На $i+1$ шаге уменьшить количество смеси на Δm молей:

$$m_{i+1} = m_i - \Delta m; \quad (19)$$

в) рассчитать сумму приращений теплоты вплоть до достижения в смеси требуемой остаточной концентрации бензола.

Результаты расчетов материального и теплового баланса периодической дистилляции представлены в табл. 4 и 5.

Модель непрерывной ректификации

Для расчета непрерывной ректификации использовали стандартную модель [11,16],

основанную на описании равновесия пар-жидкость на тарелках в предположении, что мольный поток пара является постоянным по высоте колонны. Мольные потоки жидкости в укрепляющей и исчерпывающей частях постоянны и отличаются друг от друга на величину потока питания F . Считали, что вода образует с раствором бензола в нитробензоле отдельную жидкую фазу, причем мольная доля этой фазы мала. Поэтому принимали, что вода, которая поступает с питанием, переходит полностью в паровую фазу уже на тарелке питания и далее не конденсируется. В результате жидкая фаза на любой тарелке состоит только из раствора бензола в нитробензоле, а паровая фаза в укрепляющей части состоит из бензола, нитробензола и воды. В исчерпывающей части паровая фаза состоит из бензола и нитробензола.

Таблица 4 – Зависимость количества и состава отгона смеси нитробензол (93,57 %), бензола (5,93 %) и воды (0,5 %) от условий периодической дистилляции. В знаменателе – массовая доля компонента в органической части отгона после удаления воды

Р, кПа	t _{кип.} , °C		Масс. доля отгона, %	Состав отгона, % масс.		
	Начало	Конец		C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ NO ₂	H ₂ O
13,3	46	139	14,6	$\frac{39,88}{41,28}$	$\frac{56,71}{58,72}$	3,41
26,6	61	160	17,53	$\frac{33,37}{34,34}$	$\frac{63,78}{65,66}$	2,85
39,9	71	174	19,53	$\frac{29,93}{30,72}$	$\frac{67,51}{69,28}$	2,56
53,2	78	184	21,14	$\frac{27,68}{28,35}$	$\frac{68,96}{71,65}$	2,36

Таблица 5 – Компоненты теплового баланса периодической дистилляции (в расчете на 1 кг товарного нитробензола)

Р, кПа	$Q_{нагр}^0$	$Q_{нагр}^{н/к}$	$Q_{исп.}$	Q
13,3	47,8	158,6	82,1	288,5
26,6	75,0	169,8	96,1	340,9
39,9	92,3	177,1	105,8	375,2
53,2	105,2	182,8	113,4	401,6

Исходя из этого, составили замкнутую систему уравнений баланса и равновесий для каждой теоретической тарелки в соответствии с [16]. Значения температур кипения и мольных долей компонентов в каждой фазе на каждой тарелке находили численным решением этой системы. Далее полученные значения пересчитывали в массовые доли. Расчеты проводили следующим образом. Мольный расход питания принимали $F = 1$ кмоль/с. Задавали величину остаточного давления в колонне (13,3-52,3 кПа), флегмового числа $R = 0,5-1,5$, а также количество теоретических тарелок и номер тарелки

питания. (снизу). Далее, решая систему уравнений модели, подбирали такой расход дистиллята D (с точностью до 0,001), чтобы массовое содержание бензола в кубовой жидкости составляло 0,085-0,1 %.

Расчет затрат тепла на проведение ректификации (Q , КДж/кг питающей смеси) без учета теплопотерь проводили по формуле [16]:

$$Q = Q_W + Q_F, \quad (20)$$

где Q_W – расход теплоты в кубе-испарителе от греющего теплоносителя, КДж/кг питания; Q_F – расход тепла в подогревателе исходной смеси (до температуры кипения), КДж/кг питания.

При этом:

$$Q_W = Q_0 + G_D \cdot c_D \cdot t_D + G_W \cdot c_W \cdot t_W - G_F \cdot c_F \cdot t_F, \quad (21)$$

где G_D , G_W , G_F – массовые расходы дистиллята, кубовой жидкости и питания (в расчете на 1 кг кубовой жидкости); c_D , c_W , c_F – удельные теплоемкости дистиллята, кубовой жидкости и питания, КДж/(кг·град); t_D , t_W , t_F – температуры кипения дистиллята, кубовой жидкости и питания, °C; Q_0 – теплота, отдаваемая охлаждающей воде в дефлегматоре-конденсаторе:

$$Q_0 = G_D \cdot (1 + R) \cdot \sum_{i=1}^3 l_i \cdot x_i, \quad (22)$$

где l_i – удельная теплота испарения i -го компонента, КДж/кг; x_i – массовая доля этого компонента.

$$Q_F = G_F \cdot c_F \cdot (t_F - t_0), \quad (23)$$

где t_0 – температура исходной смеси перед нагреванием.

Для расчета расхода тепла на 1 кг товарного нитробензола делили полученное значение расхода тепла на долю кубовой жидкости по отношению к питанию.

В предварительных вычислительных экспериментах было установлено, что позитивные результаты наблюдаются уже для простейшей колонны, состоящей из 3 теоретических тарелок (питание подается на тарелку №2). Результаты расчетов представлены в таблицах 6 и 7.

Обсуждение результатов

Анализируя результаты таблиц 3-7, можно сделать следующие выводы:

а) непрерывная дистилляция не позволяет получить нитробензол с низким содержанием остаточного бензола (не более 0,1 % масс.) при мольном соотношении дистиллят-кубовая жидкость вплоть до 1:9 и остаточном давлении от 760 до 50 мм рт. ст. Поэтому далее этот процесс не рассматривался;

б) периодическая дистилляция и непрерывная ректификация позволяют получить нитробензол с низким содержанием нитробензола. При этом массовая доля кубовой жидкости, товарного нитробензола, увеличивается с уменьшением остаточного давления в системе с 52,2 до 13,3 КПа.

в) выход нитробензола в случае вакуум-ректификации несколько выше, чем в случае периодической дистилляции. При ректификации при давлении 13,3 КПа он превышает 93 %, а в случае дистилляции в тех же условиях выход составляет ~85 %. Напротив, содержание нитробензола в дистилляте значительно выше в случае периодической дистилляции (58,72 % по сравнению с 0,54 % в ректификации).

Из приведенных данных следует, что расход тепла на периодическую дистилляцию несколько выше по сравнению с ректификацией. Это связано с тем, что в непрерывной ректификации можно не учитывать тепло, пошедшее на нагрев массы до рабочей температуры, так как система длительно работает в стационарном режиме, и вклад этой величины в тепловой баланс достаточно мал.

Напротив, в периодической дистилляции вклад тепла на нагрев аппаратуры будет существенным, поскольку после каждой операции отгонки приходится перед выгрузкой охлаждать аппарат и его содержимое, а затем после загрузки снова нагревать.

Отметим, что непрерывная ректификация хорошо накладывается на непрерывный многотоннажный процесс получения нитробензола с точки зрения возможности длительной работы после

Таблица 6 – Результаты моделирования работы ректификационной колонны. P – остаточное давление в колонне, КПа R – флегмовое число; D – расход дистиллята, кмоль/кмоль питания, m_W , m_D – массовые доли расхода кубовой жидкости и дистиллята по отношению к питанию в %, за теоретическую тарелку с номером 0 принят куб колонны

Р, КПа	R	D	m _w , %		Дистиллят, %			Температура на тарелках, °С			
			m _D ,	Бзл	Нб	H ₂ O	0	1	2	3	
13,3	0,5	0,119	93,68	91,65	0,50	7,85	138	130	96	37	
			6,32	99,46	0,54						
	1,0	0,119	93,64	91,99	0,15	7,86	138	130	91	29	
			6,36	99,84	0,16						
	1,5	0,119	93,64	92,06	0,07	7,87	138	128	85	27	
			6,36	99,92	0,08						
26,6	0,5	0,124	92,02	84,64	8,11	7,25	160	154	128	87	
			7,98	91,25	8,75						
	1,0	0,120	92,53	90,75	1,51	7,74	160	154	127	62	
			7,47	98,36	1,64						
	1,5	0,119	93,64	91,80	0,35	7,85	160	162	116	49	
			6,36	99,63	0,37						
39,9	0,5	0,136	91,83	71,50	22,38	6,12	174	169	145	119	
			8,17	76,16	23,84						
	1,0	0,121	93,42	88,90	3,50	7,60	174	168	143	83	
			6,58	96,22	3,78						
	1,5	0,120	93,54	90,69	1,57	7,74	174	176	142	72	
			6,46	98,30	1,70						
53,2	0,5	0,146	90,77	63,26	31,32	5,41	184	180	157	136	
			9,23	66,88	33,12						
	1,0	0,125	93,00	83,55	9,30	7,14	184	180	157	107	
			7,00	89,98	10,02						
	1,5	0,12	93,52	90,18	2,10	7,72	184	178	151	83	
			6,48	97,72	2,28						

Таблица 7 – Результаты расчета теплового баланса ректификационной колонны. Q_W – расход теплоты в кубе-испарителе от греющего теплоносителя, КДж/кг питания, Q_F – расход тепла в подогревателе исходной смеси, КДж/кг питания Q_S – суммарный расход тепла на получение 1 кг товарного нитробензола. R – флегмовое число

P , КПа	R	D	Q_W , КДж/кг	Q_F , КДж/кг	Q_S , КДж/кг
13,3	0,5	0,119	183,1	40,2	238,4
13,3	1	0,119	200,3	40,2	256,8
13,3	1,5	0,119	217,9	40,2	275,6
26,6	0,5	0,124	208,5	63,4	295,5
26,6	1	0,12	223,2	63,4	309,7
26,6	1,5	0,119	228,6	63,4	311,9
39,9	0,5	0,136	215,8	78,9	320,9
39,9	1	0,121	221,0	78,9	321,0
39,9	1,5	0,12	236,9	78,9	337,5
52,3	0,5	0,146	227,3	89,7	349,2
52,3	1	0,125	230,4	89,7	344,2
52,3	1,5	0,12	241,8	89,7	354,5

пуска в автоматическом режиме. При этом для нагрева можно частично использовать тепло, выделяющееся в процессе нитрования. В отличие от этого, периодическая дистилляция достаточно трудно сочетается с непрерывностью других стадий, стадию периодической дистилляции трудно автоматизировать и использовать для ее проведения тепло реакционной массы. Кроме того, дистиллят, который должен возвращаться на стадию нитрования, содержит значительные количества нитробензола, которые неизбежно будут колебаться в условиях периодического процесса. Это может создавать проблемы получения качественного продукта на стадии нитрования.

Таким образом, отмеченные недостатки не позволяют рекомендовать процесс периодической дистилляции для проведения отгонки бензола и воды в производстве нитробензола адиабатическим методом. Наиболее приемлемым способом является вакуум-ректификация. По результатам моделирования она может позволить получать с высоким выходом нитробензол, содержащий минимальное количество бензола, так и небольшие количества дистиллята (около 6 % масс) с весьма низким содержанием нитробензола, который следует возвращать на стадию нитрования.

Выводы

1. На математических моделях рассмотрена возможность удаления из нитробензола, получаемого путем адиабатического нитрования, избытка бензола и воды, остающейся после промывка, с использованием методов непрерывной и периодической дистилляции и непрерывной ректификации.

2. Показано, что непрерывная дистилляция не позволяет получить продукт с низким содержанием бензола даже при высоком соотношении дистиллято-кубовая жидкость. Периодическая дистилляция и непрерывная ректификация позволяют получить продукт с низким содержанием бензола.

4. В периодической дистилляции энергозатраты несколько выше, чем в ректификации. Одновременно наблюдается более низкий выход товарного нитробензола и отмечается высокое содержание нитробензола в дистилляте, который возвращается на стадию нитрования.

5. Ректификация требует более низких энергозатрат и позволяет получать товарный нитробензол с более высоким выходом и дистиллят с низким содержанием нитробензола.

6. На основании анализа результатов моделирования и технологического анализа для удаления остатков бензола и воды рекомендуется использовать непрерывную вакуум-ректификацию.

Список литературы

1. **Nitration** / in Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology. Fifth edition // N.-Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2007 – V.17 – P. 32-38, 63-72.
2. **Agrawal, J. P.** Organic chemistry of explosives / **J. P. Agrawal, R. Hodgson** // N.-Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 416 p.
3. **Guenkel, A.** The adiabatic mononitrobenzene process from the bench scale in 1974 to a world capacity approaching 10 million MTPY in 2012 [Электронный ресурс] – URL <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bk-2013-1155.ch001>.
4. **Жилин, В. Ф.** Синтез и технология нитропроизводных бензола и толуола / **В. Ф. Жилин, В. Л. Збарский** // *Росс. Хим журнал*. – 2006. – Т. 50, № 3. – С. 104-115.
5. **Беркман, Б. Е.** Промышленный синтез ароматических нитросоединений и аминов / **Б.Е.Беркман** // М.: Химия, 1964. – 344 с.
6. **Franck, H. G.** Industrial aromatic chemistry: raw materials: processes: products / **H. G. Franck, J. W. Stadelhofer** // *Springer Science & Business Media*, 2012. – p. 194.
7. **Guenkel, A.** Nitrobenzene via an adiabatic reaction / **A. Guenkel, H. Prime, J. Rae** // *Chem. Eng.* – 1981. – V.88, N 16 – P. 50 - 58.
8. **Guenkel, A. A. Rae, J. M. Hauptmann, E. G.** Nitration process : пат. 5313009 США. – 17.05.1994.
9. **Knauf, T., Merkel, M.** Process for the production of nitrobenzene by adiabatic nitration : пат. 9284256 США. – 15.03.2016.
10. **Knauf, T., Racoes, A., Raush, A. K., Wulf, D.** Method for producing nitrobenzene by adiabatic nitriding : пат. 8729309 США. – 20.05.2014.
11. **Касаткин, А. Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. М: ПрофиКС, 2009 – 753 с.
12. **Алексеев, Е. Р.** Scilab: Решение инженерных и математических задач / **Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. А. Рудченко**. — М. : ALT Linux ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 260 с.
13. **Петлюк, Ф. Б.** Многокомпонентная ректификация / **Ф. Б. Петлюк, Л. А. Серафимов** // М.: Химия, 1983.– 304с.
14. **Kaye & Laby Tables of Physical & Chemical Constants** (2017) Chapter: 3 Chemistry. Section: 3.4 Vapour pressures. SubSection: 3.4.4 Vapour pressures from 0.2 to

- 101.325 kPa. [Электронный ресурс] – URL: http://www.kayelaby.npl.co.uk/chemistry/3_4/3_4_4.html.
15. Краткий справочник физико-химических величин / ред. К. П. Мищенко, А. А. Равдель. Л.: Химия, 1974. – С. 14, 22, 28
16. Анисимов, И. В. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок / И. В. Анисимов, В. И. Бодров, В. Б. Покровский // М.: Химия, 1975. – 216 с.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Nitration** / in *Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology. Fifth edition* (2007). N.-Y.: John Wiley & Sons, Inc., vol. 17, 32-38, 63-72.
2. **Agrawal, J. P., Hodgson, R.** *Organic chemistry of explosives*. N.-Y.: John Wiley & Sons, 2007, 416.
3. **Guenkel, A.** The adiabatic mononitrobenzene process from the bench scale in 1974 to a world capacity approaching 10 million MTPY in 2012. 2013, Available: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bk-2013-1155.ch001>
4. **Zhilin, V., Zbarsky, V.** Synthesis and technology of nitro derivatives of benzene and toluene. *Russian Chemical Journal*, Vol., 2006, **50**, № 3, 104-115.
5. **Berkman, B.** *Industrial synthesis of aromatic nitro compounds and amines*. M.: Chemistry, 1964, 344.
6. **Franck, H. G., Stadelhofer, J. W.** Industrial aromatic chemistry: raw materials, processes, products. *Springer Science & Business Media*, 2012, 194.
7. **Guenkel, A., Prime, H., Rae, J. ()**. Nitrobenzene via an adiabatic reaction. *Chem. Eng.*, 1981, Vol. **88**, 16, 50 – 58.
8. **Guenkel, A. A. Rae, J. M. Hauptmann, E. G.** Nitration process : Pat. 5313009 USA. – 17 May 1994.
9. **Knauf, T., Merkel, M.** Process for the production of nitrobenzene by adiabatic nitration : Pat. 9284256 USA. – 15 March 2016.
10. **Knauf, T., Racoes, A., Raush, A. K., Wulf, D.** Method for producing nitrobenzene by adiabatic nitriding : Pat. 8729309 USA. – 20 May 2014.
11. **Kasatkin, A. G.** Basic processes and apparatuses of chemical technology: design guide. M.: ProfiKS, 2007, 753.
12. **Alekseev, E. R., Chesnokova, O. V., Rudchenko, E. A.** Scilab. The solution of engineering and mathematical problems. M.: ALT Linux ; BINOM. The laboratory of knowledges, 2008, 260.
13. **Petlyuk, F. B., Serafimov, L. A.** Multicomponent rectification. M.: Chemistry, 1983, 304.
14. **Kaye & Laby Tables of Physical & Chemical Constants** Chapter: 3 Chemistry. Section: 3.4 Vapour pressures. SubSection: 3.4.4 Vapour pressures from 0.2 to 101.325 kPa. 2017, Available: http://www.kayelaby.npl.co.uk/chemistry/3_4/3_4_4.html.
15. A brief reference book of physical and chemical quantities / ed. K. P. Mishenko, A. A. Ravdel'. L.: Chemistry, 1974, 14, 22, 28
16. **Anisimov, I. V., Bodrov, V. I., Pokrovskiy, V. B.** Mathematical modeling and optimization of rectification plants M.: Chemistry, 1975, 216.

Сведения об авторах (About authors)

Кондратов Сергей Алексеевич – Доктор химических наук, профессор, Институт химических технологий Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля, профессор кафедры высшей математики и компьютерной технологии; г. Рубежное, Луганская область, Украина; 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; Rubizhne, Ukraine; e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Хлякина Татьяна Николаевна – начальник отдела развития ООО «Научно-производственное предприятия «Заря», аспирант кафедры высшей математики и компьютерной технологии; г. Рубежное, Луганская область, Украина; e-mail: tnx@zaryachem.com.

Tatyana Khlykina – the head of the department of developments of The Research and Producing Enterprise “Zarya” Ltd, postgraduate of the department of mathematics and computer technologies of the Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University; Rubizhne, Ukraine; e-mail: krasina83@gmail.com.

Пожауйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кондратов, С. А. Технологический анализ стадии отгонки бензола в производстве нитробензола адиабатическим способом / **С. А. Кондратов, Т. Н. Хлякина** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 104-111. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.17.

Please cite this article as:

Kondratov, S., Khlykina, T. The technological analysis of the stage of benzene distillation in the manufacture of nitrobenzene by adiabatic method. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 104–111, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.17.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кондратов, С. О. Технологічний аналіз стадії відгонки бензену у виробництві нітробензену адіабатичним методом / **С.О. Кондратов, Т. М. Хлякіна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 104-111. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.17.

АНОТАЦІЯ Методами математичного та комп'ютерного моделювання досліджено порівняну ефективність стадії відгонки бензену та води із суміші бензен – нітробензен – вода, що утворюється при адиабатичному нітруванні бензолу. Розглянуто 3 моделі організації процесу видалення: неперервна, періодична дистиляція у вакуумі й безперервна вакуумна ректифікація. Встановлено, що з точки зору матеріального балансу та витрат тепла найбільш вигідним є вакуумна ректифікація у колоні з 3 ступенями розділення.

Ключові слова: адиабатичне нітрування; стадія відгонки; вакуум-ректифікація; технологічний аналіз; математичне моделювання.

Поступила (received) 07.09.2017

УДК 664.644.5

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.18

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ У ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБА

О. О. СИМАНОВА*, І. А. НАЗАРЕНКО

¹Кафедра технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Кривий Ріг, УКРАЇНА

* email: Simakova@donnuet.edu.ua

АНОТАЦІЯ Були проведені експерименти з вивчення впливу важких металів на дію протеолітичних ферментів пшеничного борошна і визначенню впливу невеликого закислення води на процеси тістоведення і, отже, на якість готового хліба. Розроблено схему, що дозволяє як нейтралізувати надлишкову кислотність післямембранної води, так і збагатити її катіонами кальцію, які не тільки корисні для здоров'я у складі продукту, але й будучи активаторами ферментів, зможуть вплинути на протікання гідролітичних процесів при замісті тіста на такій воді, прискорити процеси тістоведення і поліпшити якість готового хліба. Калійкатіонування води дозволить не тільки без всяких додаткових добавок поліпшити якість готового хліба, але і значно скоротити процес тістоведення, а отже, і зменшити собівартість готового продукту.

Ключові слова: пшеничне борошно; клейковина; вода; амілолітичні та протеолітичні ферменти; катіони; важкі метали.

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF THE QUALITY OF DRINKING WATER ON THE PROCESS OF BREAD PRODUCTION

O. SIMAKOVA, I. NAZARENKO

¹Department of Technology in the restaurant sector and the hotel and restaurant business, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, UKRAINE

ABSTRACT The object of this article is to study the influence of drinking water quality on the properties of dough. During research were used the standard methods for determining the yield and quality of gluten, were studied proteolytic enzyme activity of wheat dough. Experiments were carried out to study the effect of heavy metals on the action of proteolytic enzymes of flour, experiments to determine the effect of slight acidification of water on a dough process and therefore on the quality of the finished bread. Was developed a scheme that allows both to neutralize the excess acidity of water after the membranes and enrich it with calcium cations that are not only good for health, but also acting as activators of enzymes and will be able to influence on the course of hydrolytic processes during dough kneading on a such water, accelerate dough processes and improve the quality of the finished bread. The developed scheme allows also to accelerate the kneading process and improve the quality of the finished bread/ Potassium-cationization of water for the production of bread will not only improve the quality of the finished bread without any additional additives, but also significantly reduce the dough process, and hence reduce the cost of the finished product. The complex of the experiments by modifying prescription water used for food production, shows that water quality plays an important role in ensuring not only the quality of the finished product, but also to reduce the costs of the process. This opens up opportunities with minimum capital investment to obtain significant economic results. This opens up a wide range of opportunities for a minimal amount of capital investment to receive significant economic results.

Keywords: wheat flour; gluten; water; amylolytic and proteolytic enzymes; cations; heavy metals.

Вступ

Протягом останніх десятиліть спостерігається постійне погіршення якості води поверхневих водойм, річок і, як наслідок цього, погіршення якості питної води. Це обумовлено декількома причинами. В першу чергу спостерігається збільшення споживання прісної води промисловими і сільськогосподарськими підприємствами, які після забруднення використаної води скидають її в поверхневу гідрографічну мережу. Особливу небезпеку становлять катіони перехідних і важких металів, що змиваються в поверхневі водойми. На жаль, велика частина забруднень не виймається сучасними міськими спорудами підготовки питної води. Наша країна має один з найнижчих показників в Європі щодо забезпечення прісною водою в розрахунку на душу населення.

Особливо гостро стоїть проблема забезпечення питною водою відповідної якості південних і східних регіонів, де населення змушене використовувати для пиття воду з дуже високою жорсткістю, що безумовно впливає на стан здоров'я. Крім того, вода використовується в якості основного рецептурного компонента при виробництві безлічі харчових продуктів, і, в першу чергу, хліба – продукту, що в даний час як і раніше становить основу харчування людини. Споживання хліба особливо зростає в ті періоди, коли з яких-небудь причин скорочується споживання харчових продуктів тваринного походження – яєць, молока, сиру, м'яса, тваринних жирів. В цей час і зростає відносно споживання зернових продуктів, в перших рядах яких стоїть хліб. Такі продукти, при виробництві яких використана недостатньо очищена питна вода, приймають в себе

забруднення, що знаходяться в ній і передають їх далі по ланцюгах харчування. Особливо небезпечні такі забруднювачі, як важкі метали, які мають кумулятивну дію, тобто накопичуються, концентруються при просуванні по трофічних ланцюгах [1]. Споживання води або продуктів з високим вмістом важких і перехідних (по валентності) металів – каталізаторів процесів різного роду порушень – може викликати катастрофічні зміни генетичного апарату, розбудити ген, що раніше «мовчав» або зупинити роботу необхідного гена, а потім і повністю змінити його функцію. Крім цього, некондиційна рецептурна вода, що містить домішки важких металів, може вплинути на якість харчової продукції, зокрема, на якість хліба [2-5]. Так, важкі метали є визнаними неконкурентними інгібіторами ферментів, які відіграють провідну роль у формуванні як пишного білого пористого м'якушки хліба, так і рум'яної ароматної скоринки.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження якості питної води на властивості дріжджового тіста.

Виклад основного матеріалу

Нами проведені експерименти по вивченню впливу важких металів на дію протеолітичних ферментів пшеничного борошна. Як об'єкти дослідження обрані два металу – свинець і нікель в формі їх солей. Вплив катіонів цих металів на активність протеолітичних ферментів пшеничного борошна оцінювали по виходу сирі та сухої клейковини при замішуванні тіста, порівнюючи вихід клейковини з тіста, яке готували на дистильованій воді і на воді, яка містила 0,05 г/л катіонів свинцю або нікелю. Слід зазначити, що білковий комплекс клейковини тіста при замісі піддається дії ферментів-протеаз, які гідролізують білки до вільних амінокислот, які збагачують тісто, постачають азотисте харчування дріжджів і сприяють реакції Майара, наслідком якої є утворення коричневої хрусткої скоринки готового хліба. Клейковину в експериментах відмивали з тіста після його відлежування протягом півтори години. Дані експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Властивості клейковини в тісті, приготовленому на воді з домішками катіонів металів

Катіон металу	Вихід клейковини, %		Розтяжність, см
	Сирі	Сухої	
Без металу	33,0	10,2	6,8
Ca ²⁺	24,0	7,4	13,5
Ni ²⁺	36,0	11,1	6,8
Pb ²⁺	38,8	12,0	6,8

Дуже зручним способом визначення активності протеолітичних ферментів є вимір в'язкості розчинів желатину під дією препаратів, активність яких досліджується. Ми провели експеримент з вивчення в'язкості розчину желатину під дією протеолітичних ферментів пшеничного борошна в присутності катіонів свинцю і нікелю. Але дані експерименту не узгоджуються з наведеними вище – в'язкість розчину желатину в присутності катіонів металів не зменшується, а різко збільшується, особливо у випадку з нікелем. Ми пояснюємо цей факт переважним утворенням комплексів між білковими молекулами желатину, а не ферментів борошна, і катіоном металу, що призводить до стабілізації третинної структури желатину і, як наслідок, до підвищення в'язкості його розчинів. Нікель відноситься до перехідних металів, які мають вакантні d-орбіталі, що дає йому можливість утворювати додаткові координаційні зв'язки з молекулами субстрату, тобто підвищує його комплексоутворюючу активність. Цим і пояснюється ще більше збільшення в'язкості розчинів желатину в порівнянні з домішками катіонів свинцю. Описаний вище метод виявився непридатним для визначення дії ферментів у присутності важких металів, і взагалі, в присутності великої кількості речовин, які утворюють комплекси з білковими молекулами. З метою вивчення денатурації білка під дією наведених катіонів металів нами була розроблена методика і проведено модельні експерименти, в яких ми спостерігали випадання осаду в 2%-их водних розчинах яєчного альбуміну під дією цих металів. Випадання осаду характерно для протікання процесу денатурації білка, коли порушується його третинна і частково вторинна структура, молекула втрачає впорядковану спіральну конфігурацію і стає хаотичним нагромадженням клубків і петель.

Найбільш сучасними методами очищення води від солей, в тому числі і від солей важких металів, є мембранні методи, до яких відноситься зворотний осмос, електродіаліз і т.д. Ці методи дозволяють отримати без значних енергетичних витрат чисту, корисну для здоров'я воду. Єдиною особливістю цієї води є досить низьке значення рН (рН=4,5) через неселективність мембран щодо вуглекислоти, яка накопичується в перміаті. Нами проведені експерименти щодо визначення впливу цього невеликого закислення води на процеси тістоведення і, отже, на якість готового хліба. Критерієм оцінки ходу тістоведення вважали вихід сирі та сухої клейковини при замішуванні тіста, яке готували на дистильованій воді і на воді після мембранної очистки, що має рН=4,5. Слід зазначити, що білковий комплекс клейковини тіста при замісі піддається дії ферментів-протеаз, які гідролізують білки до вільних амінокислот, які збагачують тісто, постачають азотисте харчування дріжджів і сприяють реакції Майара, наслідком якої є утворення коричневої

хрусткої скоринки готового хліба. Дані експерименту наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Властивості клейковини в тісті, приготовленому на воді після мембранної очистки

Дослід	Вихід клейковини, %		Розтяжність, см
	Сирої	Сухої	
Дист. вода (контроль)	33,0	10,2	6,8
Вода після мембранної очистки	31,2	11,0	6,7

Нами розроблена схема, що дозволяє як нейтралізувати надлишкову кислотність післямембранної води, так і збагатити її катіонами кальцію, які не тільки корисні для здоров'я в складі продукту, але і будучи активаторами ферментів, зможуть вплинути на перебіг гідролітичних процесів при замішуванні тіста на такій воді, прискорити процеси тістоведення і поліпшити якість готового хліба. Відповідно до цієї схеми вода після мембранної очистки пропускається через шар подрібненого карбонату кальцію, в результаті чого відбувається реакція між надлишковою вуглекислою в воді і карбонатом кальцію, вода при цьому насичується розчинним бікарбонатом кальцію і набуває фізіологічне значення рН, що дорівнює 6,5. Використовуючи підготовлену таким чином воду, ми вивчили її вплив на кількість і якість клейковини, відмитой з тіста. Дані експерименту наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Властивості клейковини в тісті, приготовленому на воді, збагаченої катіонами кальцію

Дослід	Вихід клейковини, %		Розтяжність, см
	Сирої	Сухої	
Дист. вода (контроль)	33,0	10,2	6,8
Ca ²⁺	24,0	7,4	13,5

Очищення води від важких металів може здійснюватися й іншим способом – з використанням як природних, так і синтетичних сорбентів [6,7]. Найбільш широко в світі застосовується іонообмінна очистка води, пов'язана з процесом пом'якшення. При цьому в воду додається катіон натрію, з приводу якого існують деякі застереження. Нами запропонований спосіб регенерації сорбенту не хлоридом натрію, як це повсюдно прийнято, а хлоридом кальцію. При цьому при пропусканні води таким чином через підготовлений катіоніт очищена вода буде збагачуватися замість катіонів натрію катіонами кальцію, що грають величезну фізіологічну роль, зокрема в забезпеченні нормальної роботи серцевого м'яза. Як же калійкатіонізована вода позначається на поведінці білкового комплексу

пшеничного борошна? З метою відповіді на це питання нами були проведені вищеописані експерименти з вивчення клейковини тіста, приготованого на калійкатіонізованій воді. Результати експерименту наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Властивості клейковини в тісті, приготовленому на калійкатіонізованій воді

Дослід	Вихід клейковини, %		Розтяжність, см
	Сирої	Сухої	
Дист. вода (контроль)	33,0	10,2	6,8
Калійкатіонізована вода	35,1	8,4	6,7

Обговорення результатів

Наведені дані експерименту свідчать про те, що вихід сирої клейковини в тісті, яке було приготовлено на воді з домішками важких металів – свинцю і нікелю, значно збільшився в порівнянні з тістом, приготованим на дистильованій воді. Це говорить про інгібування протеолітичних ферментів пшеничного борошна цими катіонами. Механізм дії катіонів на ферменти-протеази пов'язаний з їх реакцією з активними бічними функціональними групами білкових молекул ферментів, частіше за все, з сульфгідрильними групами SH, що порушує третинну структуру ферменту і призводить до його денатурації і втрати активності [8]. З даних експерименту видно, що свинець є більш сильним інгібітором протеаз, що пов'язано швидше за все з тим, що він є більш сильним окислювачем в порівнянні з нікелем і тому більш активно взаємодіє з групами SH, які мають відновні властивості. З метою порівняння нами був проведений експеримент з клейковиною, відмитой з тіста, приготованого на воді з добавкою відомого активатора ферментів – катіона кальцію – в концентрації теж 0,05 г/л у перерахунку на метал. Вихід клейковини різко зменшився, що свідчить про прискорення дії протеолітичних ферментів під впливом кальцію, який бере участь в стабілізації третинної структури ферменту і утворення активного фермент-субстратного комплексу. Поряд з виходом сирої клейковини, ми контролювали вихід сухої клейковини і її розтяжність, яка прогнозує еластичність білкового каркаса хліба при випічці тістової заготовки. Вихід сухої клейковини має дуже важливе значення для оцінки процесів, які протікають в білковому комплексі пшеничного борошна, так як під впливом деяких речовин може підвищуватися здатність білкових молекул до агрегування навколо них молекул води. При цьому підвищується гідратація білків клейковини, вона стає здатною утримувати більше зв'язаної води і вихід сирої клейковини збільшується. У технології виробництва виробів з пшеничного борошна такий процес дуже корисний для якості готових продуктів. У такому

випадку при висушуванні відмитої сирої клейковини вся зв'язана вода елімінує і вихід сухої клейковини не відрізняється від звичайного. При висушуванні сирої клейковини, отриманої в проведених експериментах вихід її проявляє таку ж закономірність, як і вихід сухої, що повністю виключає можливість підвищеної гідратації білків тіста, а залишає тільки їх інгібуючу ферменти дію. Розтяжність ж клейковини не змінюється в тісті, приготовленому на дистильованій воді і на воді з домішками свинцю і нікелю, і тільки в присутності іона кальцію клейковина стає вдвічі більше еластичною. Ці результати підтверджують висновок про те, що важкі метали інгібують дію ферментів-протеаз, що не розщеплюють білок клейковини. Катіон ж кальцію сильно активує ферменти, які при цьому починають ефективно гідролізувати білки до амінокислот, зменшують їх кількість і молекулярну масу, що надає слабкість клейковині.

Наявність невеликого закислення води вуглекислою після мембранної очистки сприяє пригніченню дії протеолітичних ферментів в тісті, хоча і в невеликій мірі. При цьому клейковина стає більш пружною, що може позначитися на пишності м'якушки. Крім того, в такій воді відсутні катіони кальцію, які є активаторами ферментів і необхідні для здоров'я людини.

Показано, що визнаний активатор ферментів катіон кальцію і в даному випадку значно активізував гідролітичні процеси, що протікають в білковому комплексі тіста із пшеничного борошна. Про це свідчить значне зменшення виходу сирої, і в ще більшому ступені сухої клейковини. З одного боку, це може зіграти позитивну роль при виробництві хліба – посилення активності гідролітичних процесів в тісті дозволить значною мірою зменшити час здійснення процесу тістоведення, а це в свою чергу допоможе заощадити енерговитрати і знизити собівартість продукту. З іншого ж боку, така активність ферментного комплексу тіста може привести до значного ослаблення його клейковини, що може позначитися на якості хліба [9,10]. Однак в будь-якому випадку, регулюючи тривалість контакту післямембранної води з карбонатом кальцію, можна знайти оптимальне рішення.

Дані експерименту з вивчення клейковини тіста, приготованого на калікатіонізованій воді докорінно відрізняються від описаних вище – вихід сирої клейковини відчутно збільшується, але при цьому вихід сухої – так само значно зменшується. Ці на перший погляд суперечливі дані легко пояснюються. Певне, катіон калію позитивно впливає на гідратацію клейковини – молекули білка в досліджуваній реакційній суміші набувають таку конформацію, при якій їх гідрофільні функціональні групи стають доступними для утворення водневих зв'язків з водою, яка міцно утримується всім білковим комплексом. Це надзвичайно позитивний процес в технології хлібопечення, особливо цінується

технологами. З метою збільшення здатності клейковини до гідратації у всьому світі проводяться роботи з пошуку добавок, які б забезпечували легке зв'язування води молекулами білка клейковини. Зменшення ж виходу сухої клейковини свідчить про активацію гідролітичних процесів в тісті, які призводять до збільшення моноцукрів і амінокислот в тістовому напівфабрикаті, від яких безпосередньо залежить швидкість дозрівання дріжджового тіста. Таким чином, калікатіонізування води, використовуваної для виробництва хліба, дозволить не тільки без всяких додаткових добавок поліпшити якість готового хліба, а й значно скоротити процес тістоведення, а отже, і зменшити собівартість готового продукту.

Висновки

Комплекс проведених експериментів по модифікації рецептурної води, використовуваної для виробництва хліба, показує, що якість води грає величезну роль в забезпеченні не тільки якості готового продукту, але і в зниженні витрат на проведення технологічного процесу. Це відкриває широкі можливості при мінімальних капітальних вкладеннях отримувати значний економічний результат.

Список літератури

1. Теплая, Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г.А. Теплая // Журнал Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 182-192.
2. Аникеева, Н. В. Научное обоснование и разработка технологий хлебобулочных изделий функционального значения / Н. В. Аникеева // Журнал Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1. – С. 77-81.
3. Сімакова, О. О. Вплив води на якість хліба / О. О. Сімакова // Swordl. Технічні науки. - Одеса: Купрієнко, 2012. - Том 10. - С. 88-90.
4. Сімакова, О. О. Дослідження та вплив якості питної води на хлібопекарні властивості пшеничного борошна / О. О. Сімакова, Ю. М. Коренець, В. О. Глушко // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. - № 25 (1197), 158-163. - doi: 10.209998/2413-4295.2016.25.23.
5. Wasser für Backen [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу: http://orgprints.org/8714/1/wasser_f%C3%BCr_backen.pdf.
6. Tankyan, S. W. Characterization of drinkink water for baking industry / S. W. Tankyan // Biochemistry of baking. – 2013. – Vol. 402/1. – P. 18 43. – doi: 10.1016/j.bcy.2013.04.015.
7. Raily, M. M. Effects of water solutions on properties of dough / M. M. Raily, J. P. Hawking // Food Sciences. – 2008. – Vol. 45. – № 3. – P. 304-310. – doi: 10.1016/j.foodscien.2008.08.048.
8. Chang, J. Enzymes and their effect on the quality of dough / J. Chang, W. Ksiu // Food Sciences. – 2011. – Vol. 15. – № 4. – P. 33-37. – doi: 14.1003/j.foodscien.2010.05.028.
9. Sanamian, K. Yu. Water chemical reactions and their effect on quality of wheat flour baking products / K. Yu.

- Sanamian** // *Journal of Food Biochemistry*. – 2001. – Vol. 19, № 8. – P. 645-651. – doi: 10.1053/1.347941.
10. **Romadon, M. F.** Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds / **M. F. Romadon, J. T. Morsel** // *European Food Research and Technology*. – 2002. – Vol. 215. – № 3. – P. 204-209.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Anikeyeva, N. V.** Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka tekhnologiy khlebobulochnykh izdeliy funktsional'nogo znacheniya [Scientific substantiation and development of technologies of bakery products of a functional purpose]. *Zhurnal Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altay State University]*, 2012, **1**, 77-81.
 2. **Teplaya, G. A.** Tyazhelye metally kak faktor zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Heavy metals as a factor of environmental pollution]. *Zhurnal Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. [Astrakhan bulletin of ecological education]*, 2013, **1** (23), 182-192.
 3. **Simakova, O. O.** Vpliv vody na yakist' khliba [Effect of water on quality of dough] *Swordl. Tekhnichni nauky [Swordl. Technical Sciences]*. Odesa: Kupriyenko, 2012, **10**, 88-90.
 4. **Simakova, O., Korenets, Yu., Glushko, V.** Research and effect of drinking water on bread-making properties of wheat flour. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2016, **25** (1197), 158-163. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.25.23.
 5. Wasser für Backen [Water for baking: electronic resource], 2009, access: http://orgprints.org/8714/1/wasser_f%C3%BCr_backen.pdf.
 6. **Tankyan, S. W.** Characterization of drinkink water for baking industry. *Biochemistry of baking*, 2013, **402**(1), 18 – 43, doi: 10.1016/j.bcy.2013.04.015.
 7. **Raily, M. M.** Effects of water solutions on properties of dough. *Food Sciences*, 2008, **45**(3), 304-310, doi: 10.1016/j.foodscien.2008.08.048.
 8. **Chang, J.** Enzymes and their effect on the quality of dough. *Food Sciences*, 2011, **15**(4), doi: 14.1003/j.foodscien.2010.05.028.
 9. **Sanamian, K. Yu.** Water chemical reactions and t heir effect on quality of wheat flour baking products. *Journal of Food Biochemistry*, 2001, **19**(8), 645-651, doi: 10.1053/1.347941.
 10. **Romadon, M.F.** Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds. *European Food Research and Technology*, 2002, **215**(3), 204-209.

Відомості про авторів (About authors)

Сімакова Ольга Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи; м. Кривий Ріг, Україна; e-mail: Simakova@donnuet.edu.ua.

Olga Simakova – Candidate of Technical Sciences, Docent, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Docent of the Department of Technology in the restaurant sector and the hotel and restaurant business; Kryvyi Rih, Ukraine; e-mail: Simakova@donnuet.edu.ua.

Назаренко Ірина Анатоліївна – кандидат технічних наук, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи; м. Кривий Ріг, Україна; e-mail: Nazarenko@donnuet.edu.ua.

Iryna Nazarenko – Candidate of Technical Sciences, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Docent of the Department of Technology in the restaurant sector and the hotel and restaurant business; Kryvyi Rih, Ukraine; e-mail: Nazarenko@donnuet.edu.ua.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Сімакова, О. О. Дослідження якості питної води у виробництві хліба / **О. О. Сімакова, І. А. Назаренко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №32 (1254). – С. 112-116. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.18.

Please cite this article as:

Simakova, O., Nazarenko, I. Investigation of the impact of the qualitu of drinking water on the process of bread production. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017, **32** (1254), 112–116, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.18.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Симакова, О. А. Исследование качества питьевой воды в производстве хлеба / **О. А. Симакова, И. А. Назаренко** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2017. – №32 (1254). – С. 112-116. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.18.

АННОТАЦІЯ Проведені експерименти по изучению влияния тяжелых металлов на действие протеолитических ферментов пшеничной муки и определению влияния небольшого закисления воды на процессы тестоведения и, следовательно, на качество готового хлеба. Разработана схема, позволяющая как нейтрализовать избыточную кислотность постемембранной воды, так и обогатить ее катионами кальция, которые не только полезны для здоровья в составе продукта, но и являясь активаторами ферментов, смогут повлиять на протекание гидролитических процессов при замесе теста на такой воде, ускорить процессы тестоведения, улучшить качество готового хлеба и уменьшить себестоимость готового продукта.

Ключевые слова: пшеничная мука; клейковина; вода; амилолитические и протеолитические ферменты; катионы; тяжелые металлы.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 541.128.13

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19

ОДЕРЖАННЯ АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ АЛЬДОЛЬНОЮ КОНДЕНСАЦІЄЮ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ З ФОРМАЛЬДЕГІДОМ НА V-Ti-PO₄ КАТАЛІЗАТОРАХ

**І. І. ШПИРКА^{1*}, Р. В. НЕБЕСНИЙ¹, З. Г. ПІХ¹, В. В. СИДОРЧУК², В. В. ІВАСІВ¹,
С. В. ХАЛАМЕЙДА², К. В. ЗАВАЛІЙ¹**

¹кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, УКРАЇНА

²Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, УКРАЇНА

*email: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено закономірності процесу альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом в акрилову кислоту у газовій фазі на V-Ti-PO₄ каталізаторах. Встановлено вплив температури процесу на конверсію реагентів та селективність утворення продуктів реакції. Встановлено вплив умов приготування каталізаторів, а саме методу одержання активної фази каталізатора та прожарювання каталізатора на його ефективність у досліджуваному процесі. Запропоновано оптимальну методику приготування V-Ti-PO₄ каталізатора та оптимальні умови одержання акрилової кислоти.

Ключові слова: акрилова кислота; оцтова кислота; формальдегід; гетерогенний каталіз; альдольна конденсація.

ACRYLIC ACID SYNTHESIS BY ALDOL CONDENSATION OF ACETIC ACID WITH FORMALDEHYDE ON V-Ti-PO₄ CATALYSTS

**I. SHPYRKA¹, R. NEBESNYI¹, Z. PIKH¹, V. SYDORCHUK², V. IVASIV¹, S. KHALAMEIDA²,
K. ZAVALII¹**

¹ Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, UKRAINE

² Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of this work is to research process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde to acrylic acid in the gas phase, namely: to develop effective catalysts for the process of aldol condensation with acetic acid to acrylic acid; to determine optimum conditions for the process; to investigation of the influence of titanium content in a V-Ti-PO₄ catalyst and the effect of catalyst calcination on its efficiency in the process of aldol condensation of acetic acid with formaldehyde to form acrylic acid. In order to solve this problem, we designed catalysts based V-Ti-PO₄ catalysts. The effect of temperature was examined on the conversion of reagents, the selectivity of formation and the yield of acrylic acid on the created catalysts. With increasing temperature, the conversion increases, the selectivity of formation of acrylates decreases and the total yield of acrylic acid has the maximum. It was shown that the effect of calcination of the catalysts doesn't significantly affect their efficiency in investigated process. It was determined that after calcining the activity of the catalyst K₁ has decreased. The yield of acrylic acid on the non-roasted catalyst is 40%, and on the roasted catalyst - 19%. At the catalyst K₂, the acrylic acid slightly increased - 18.2%, but the selectivity acrylic acid of decreased. Application of the developed catalyst, synthesized by co-precipitation of TiOSO₄ and VSO₄ from aqueous solution, allows to achieve 29 % yield of acrylic acid, 30 % acrylic acid selectivity at 97 % acetic acid conversion. The optimum conditions for acrylic acid obtaining are 648 K and 8 s residence time.

Keywords: acrylic acid; acetic acid; formaldehyde; heterogeneous catalysis; aldol condensation.

Вступ

Акрилова кислота (АК) є цінним продуктом у сучасній хімічній промисловості і широко використовується у виробництві високоякісної лакофарбової продукції, органічного скла, як допоміжна речовина у текстильній промисловості, для виробництва суперабсорбентів, у медицині [1-4]. Світове виробництво АК становить понад 5 млн т/рік та згідно з аналітичними дослідженнями

ринок акрилатних мономерів має стійку тенденцію до зростання [5]. Одним з найбільш перспективних методів одержання АК є її синтез альдольною конденсацією оцтової кислоти (ОК) з формальдегідом (ФА) [6].

Виробництво АК методом альдольної конденсації не є впроваджене у промисловості, оскільки відомі каталізатори для отримання АК альдольною конденсацією характеризуються низькою ефективністю та коротким терміном

роботи внаслідок закоксовування поверхні каталізаторів [7]. Саме тому актуальним є розроблення нових каталітичних системи для процесу одержання АК альдольною конденсацією ФА з ОК, які усували б наявні проблеми.

Мета роботи

Мета роботи - встановити вплив методів приготування V-Ti-PO₄ каталізатора на його ефективність у процесі альдольної конденсації ОК з ФА з утворенням АК і запропонувати оптимальний каталізатор.

У роботі передбачається вирішення таких завдань:

- розроблення високоефективних каталітичних систем процесу одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;
- встановлення оптимальної температури здійснення процесу одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією формальдегіду з оцтовою кислотою;
- дослідження впливу вмісту титану у V-Ti-PO₄ каталізатора та вплив прожарювання каталізатора на його ефективність у процесі альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом з утворенням акрилової кислоти.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

З попередніх досліджень відомо, що питома поверхня й порувата структура твердих каталізаторів мають великий вплив на їх каталітичні властивості в процесах альдольної конденсації карбонільних сполук. Встановлено, що метод приготування каталізаторів має суттєвий вплив на його фізико-хімічні, а отже і на каталітичні властивості в хімічних перетвореннях [8]. Досліджено каталітичні властивості індивідуальних фосфатів ванадію і титану, які було отримано методом осадження із сульфатних водних розчинів при рН 3. Дослідження показали, що вихід АК на індивідуальному VPO₄ становить 26 %. Індивідуальний фосфат титану є неефективним для синтезу АК в досліджених умовах реакції [9].

В науково-технічній літературі часто зустрічаються відомості про підвищену ефективність біметалевих каталітичних систем, порівняно з індивідуальними [10]. Тому було цікаво дослідити ефективність змішаних фосфатів ванадію і титану. А також дослідити вплив кількісного складу каталізатора, вплив методів їх приготування та прожарювання осаджених каталізаторів на їх каталітичні властивості в

процесі одержання АК методом альдольної конденсації.

Обговорення результатів

Каталітичні властивості синтезованих V-Ti-PO₄ каталізаторів досліджено в реакції альдольної конденсації ОК з ФА в температурному діапазоні від 573 до 673 К, часі контакту 8 с при еквімолярному співвідношенні вихідних реагентів.

Як джерело ФА для дослідження процесу альдольної конденсації ОК з ФА використовували формалін, який одержували з параформу безпосередньо перед здійсненням реакції.

Дослідження здійснювали у реакторі проточного типу з імпульсною подачею реагентів і стаціонарним шаром каталізатора. Продукти реакцій аналізували методом газової хроматографії. Склад каталізаторів наведено в табл. 1. Каталізатори K₁ і K₂ синтезовано із V₂O₅ з щавлевою кислотою в бутанолі. Каталізатор K₃ синтезовано співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину.

Таблиця 1 – VPOTi каталізатори

Позначення	Спосіб приготування каталізаторів	Склад каталізаторів
K ₁	З пентаоксиду ванадію з щавлевою кислотою в бутанолі	VPOTi _{0.1}
K ₂	З пентаоксиду ванадію з щавлевою кислотою в бутанолі	VPOTi _{0.2}
K ₃	Співосадженням TiOSO ₄ та VSO ₄ з водного розчину	VPOTi

Як видно з рис. 1 підвищення температури здійснення процесу супроводжується значним зростанням конверсії ОК.

Максимальне значення конверсії ОК спостерігається при температурі 648 К – 97 % на каталізаторі K₃.

Залежність селективності утворення цільового продукту – АА мають максимуми, значення яких є різними на різних каталізаторах (рис. 2).

При збільшенні температури від 623 К до 673 К селективність плавно зменшується для каталізаторів K₁ та K₂. Максимальне значення селективності спостерігаються при температурі 648 К для каталізатора K₂ – 74,9 %, а для каталізатора K₁ становить 65,1 % при температурі 623 К. На каталізаторі K₃ максимальна селективність утворення цільового продукту становить 65,6 % при температурі 598 К.

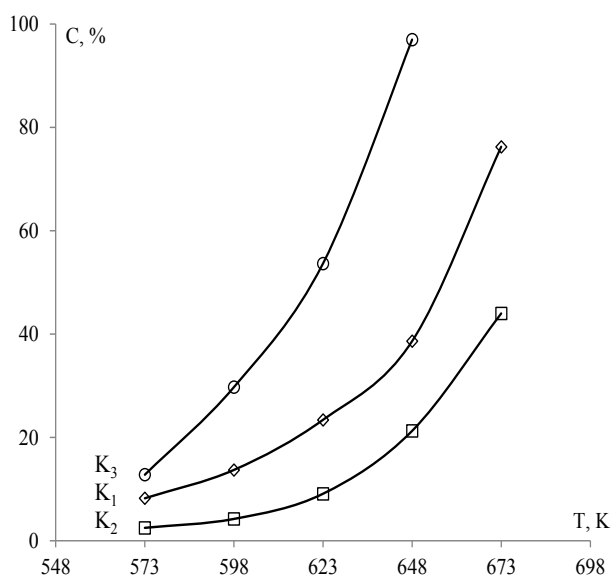


Рис. 1 – Вплив температури на конверсію ОК (C), у присутності каталізатора V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:ФА=1:1, час контакту 8 с.

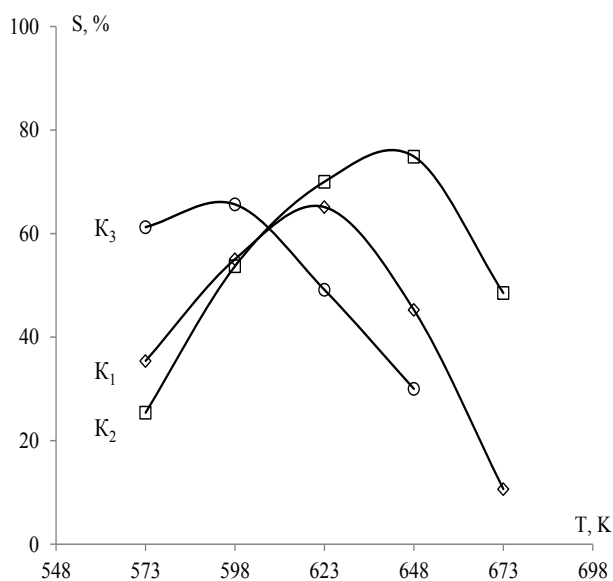


Рис. 2 – Вплив температури на селективність утворення АК (S), у присутності каталізаторів V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:М 1:1. Час контакту 8 с.

На рис. 3. наведено вихід АК (Y) у присутності V-Ti-PO₄ каталізаторів в інтервалі температур від 573 К до 673 К. Вихід АК для всіх каталітичних систем зростає до температури 648 К, а при збільшенні температури до 673 К вихід АК зменшується для каталізатора K₁, а для каталізатора K₂ плавно збільшується.

Максимальне значення виходу АК спостерігається при досягненні температури процесу 648 К на каталізаторі K₃ – 29 %. Таким чином, оптимальною температурою здійснення процесу альдольної конденсації є 648 К, а кращим каталізатором для одержання акрилової кислоти є V-Ti-PO₄ синтезований співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину. В присутності даного каталізатора (K₃) в оптимальних умовах (648 К та час контакту 8 с) вдалося досягти виходу акрилової кислоти 29 % при селективності її утворення 30 % та конверсії ОК 97 %.

В роботі також було досліджено вплив прожарювання каталізаторів K₁ та K₂ на їх ефективність у процесі одержання АК методом альдольної конденсації ОК з ФА. Прожарювання здійснювали при температурі 400 °С протягом 8 годин.

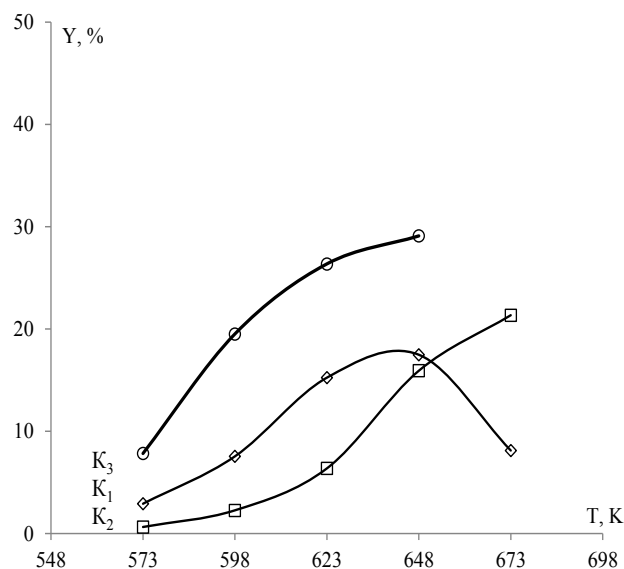


Рис. 3 – Вплив температури на вихід АК (Y), у присутності каталізатора V-Ti-PO₄. Мольне співвідношення ОК:ФА=1:1, час контакту 8 с.

На рис. 4. та рис. 5. наведено вплив прожарювання каталізаторів K₁ та K₂ на конверсію оцтової кислоти (C, %), селективність утворення (S, %) та вихід акрилової кислоти (Y, %) при температурі процесу 648 К. Дослідження показали, що після прожарювання активність каталізатора K₁ зменшилася. Вихід АК на непрожареному каталізаторі становить 40 %, а на прожареному каталізаторі – 19 %. На каталізаторі K₂ вихід АК незначно збільшився – 18,2 %, але селективність АК зменшилась. На непрожареному каталізаторі селективність утворення цільового продукту становить 79 %, а після прожарювання – 59 %.

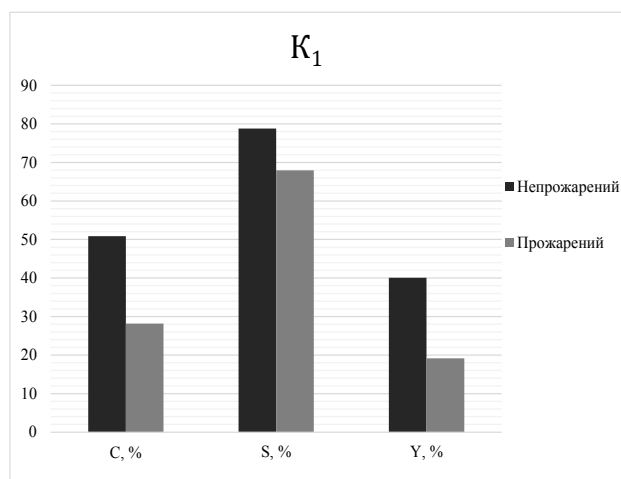


Рис. 4 – Вплив прожарювання на конверсію ОК (C, %), селективність утворення АК (S, %) та вихід АК (Y, %) у присутності каталізатора K₁ при температурі процесу 648 К.

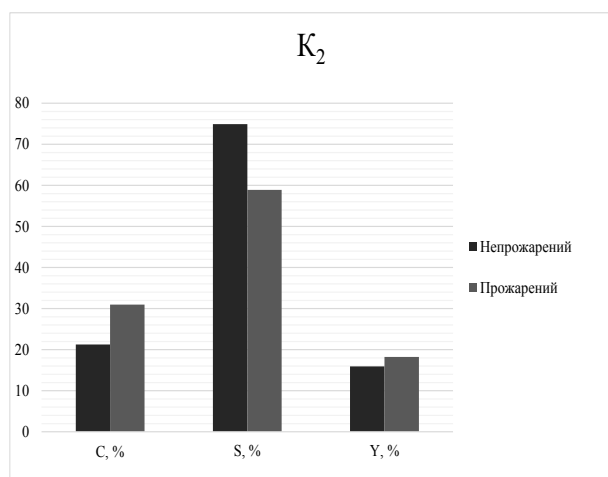


Рис. 5 – Вплив прожарювання на конверсію ОК (C, %), селективність утворення АК (S, %) та вихід АК (Y, %) у присутності каталізатора K₂ при температурі процесу 648 К.

Аналізуючи результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що прожарювання каталізаторів K₁ та K₂ не несе суттєвого впливу на їх каталітичні властивості в процесі альдольної конденсації Ок з ФА в АК, а тому є недоцільним.

Висновки

Досліджено закономірності здійснення процесу альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом в акрилову кислоту у газовій фазі на V-Ti-PO₄ каталізаторах. Оптимальною температурою для здійснення процесу є

температура 648 К. Запропоновано оптимальну методику приготування V-Ti-PO₄ каталізатора, а саме його синтез співосадженням TiOSO₄ та VSO₄ з водного розчину. В присутності даного каталізатора в оптимальних умовах (648 К та час контакту 8 с) вдалося досягти виходу акрилової кислоти 29,0 % при селективності її утворення 30 % та конверсії ОК 97 %.

Показано, що вплив прожарювання не суттєво впливає на ефективність V-Ti-PO₄ каталізаторів у процесі одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією.

Список літератури

1. Danner, H. Biotechnological Production of Acrylic Acid from Biomass / H. Danner, M. Ürmös, M. Gartner, R. Braun // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2008. – № 70. – P. 887-894. – doi:10.1007/BF02920199.
2. Zuo, C. Thermodynamics and separation process for quaternary acrylic systems / C. Zuo, Y. Li, Ch. Li, S. Cao, H. Yao, S. Zhang // *AIChE J.* – 2015. – № 62. – P. 228–240. – doi:10.1002/aic.15015.
3. Shashkova, V. T. Synthesis of polylactide acrylate derivatives for the preparation of 3D structures by photo-curing / V. T. Shashkova, I. A. Matveeva, N. N. Glagolev, T. S. Zarkhina, A. V. Cherkasova, S. L. Kotova, P. S. Timashev, A. B. Solovieva // *Mendeleev Communications*. – 2016. – №26. – P. 418-420. – doi: 10.1016/j.mencom.2016.09.018.
4. Flégeau, K. Toward the development of biomimetic injectable and macroporous biohydrogels for regenerative medicine / K. Flégeau, R. Pace, H. Gautier, G. Rethore, J. Guicheux, C. Le Visage, P. Weiss // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – doi: 10.1016/j.cis.2017.07.012.
5. Li, X. Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate / X. Li, Y. Zhang // *ACS Catalysis*. – 2016. – № 6. – P. 143-150. – doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
6. Жизневський, В. М. Одержання акрилатних мономерів газозфазно-каталітичною конденсацією карбонільних сполук в газовій фазі / В. М. Жизневський, Р. В. Небесний, В. В. Івасів, С. В. Шибанов // *Доповіді НАН України*, 2010. – №10. – С. 114–118.
7. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel // BASF SE., filing date: 18.05.2013; publication date: 08.04.2014.
8. Skwarek, E. Influence of mechanochemical activation on structure and some properties of mixed vanadium-molybdenum oxides / E. Skwarek, S. Khalameida, W. Janusz, V. Sydorchuk, N. Konovalova, V. Zazhigalov, J. Skubiszewska-Zięba, R. Lebeda // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2011. – №3(106), – P.881-894. – doi: 10.1007/s10973-011-1744-x.
9. Небесний, Р. Модифікація поруваної структури V-Ti-PO₄ каталізатора та дослідження його ефективності в процесі одержання акрилової кислоти альдольною

конденсацією / Р. В. Небесний, З. Г. Піх, В. В. Сидорчук, В. В. Івасів, С. В. Халамейда, І. І. Шпирка, К. В. Завалій, А. В. Лук'янчук // *Вісник східноукраїнського Національного університету імені Володимира Дала*. – 2016. – №5(229). – С. 38-41.

10. **Lapychak, N.** Synthesis of acrylates from methyl propionate, propionic acid and formaldehyde in the gas phase on solid catalysts / N. Lapychak, V. Ivasiv, R. Nebesnyi, Z. G. Pikh, I. I. Shpyrka. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – № 5/6 (83). – с 44 - 48. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.79429.

Bibliography (transliterated)

1. **H. Danner, M. Ürmös, M. Gartner, R. Braun,** Biotechnological Production of Acrylic Acid from Biomass, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2008, **70**, 887-894, doi:10.1007/BF02920199.
2. **Cuncun Zuo, Yaping Li, Chunshan Li, Shasha Cao, Haoyu Yao, Suojiang Zhang,** "Thermodynamics and separation process for quaternary acrylic systems", *AIChE J.*, 2015, **62**, 228-240, doi:10.1002/aic.15015.
3. **Valentina T.Shashkova, Irina A.Matveeva, Nikolay N.Glagolev, Tatyana S.Zarkhina, Anastasiya V.Cherkasova, Svetlana L.Kotova, Peter S.Timashev, Anna B.Solovieva.** Synthesis of polylactide acrylate derivatives for the preparation of 3D structures by photo-curing. *Mendelev Communications*, 2016, **26**, 418-420, doi: 10.1016/j.mencom.2016.09.018.
4. **Killian Flégeau, Richard Pace, HélèneGautier, Gildas Rethore, Jerome Guicheux, Catherine Le Visage, PierreWeiss.** Toward the development of biomimetic injectable and macroporous biohydrogels for regenerative medicine /, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2017, doi: 10.1016/j.cis.2017.07.012.
5. **X. Li, Y. Zhang,** Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate, *ACS Catalysis*, 2016, **6**, 143-150, doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
6. **Zhyznevs'kyi V.M., Nebesnyy R.V., Ivasiv V.V., S. V. Shybanov.** Obtaining of acrylic monomers by gas-phased catalytic condensation of carbonyl compounds in gas phase // *Reports of NAS Ukraine*, 2010, **10**, 114-118,
7. Patent 0343319 US, Process for preparing acrylic acid with high space-time yield / M. Goebel // BASF SE., filing date: 18.05.2013; publication date: 08.04.2014.
8. **E. Skwarek, S. Khalameida, W. Janusz, V. Sydoruk, N. Konovalova, V. Zazhigalov, J. Skubiszewska-Zięba, R. Leboda.** Influence of mechanochemical activation on structure and some properties of mixed vanadium-molybdenum oxides. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2011, **106**, 881-894, doi: 10.1007/s10973-011-1744-x.
9. **Nebesnyi, R. Pikh Z., Sydoruk V., Ivasiv V., Khalameida S., Shpyrka I., Zavalii K., Lukiyanchuk A.** Modification of porous structure of V-Ti-PO₄ catalyst and investigation of its efficiency in acrylic acid synthesis by aldol condensation. *Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 2016, **5(229)**, P. 38-41.
10. **N. Lapychak, V. Ivasiv, R. Nebesnyi, Z. G. Pikh, I. I. Shpyrka.** Synthesis of acrylates from methyl propionate, propionic acid and formaldehyde in the gas phase on solid catalysts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5/6 (83)**, 44 – 48, doi: 10.15587/1729-4061.2016.79429.

Відомості про авторів / About the Authors

Шпирка Ірина Іванівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Iryna Shpyrka – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Небесний Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Roman Nebesnyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Lviv Polytechnic National University, Habilitant, Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Піх Зорян Григорович – доктор хімічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Zorian Pikh – Doctor of Chemical Sciences (D.Sc.), Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: pikh@lp.edu.ua.

Сидорчук Володимир Васильович – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Volodymyr Sydoruk - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: bilychi@ukr.net.

Івасів Володимир Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Volodymyr Ivasiv – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Lviv Polytechnic National University, Habilitant of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: el.spectre.x@gmail.com.

Халамейда Світлана В'ячеславівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Svitlana Khalameida - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: bilychi@ukr.net.

Завалій Катерина Вадимівна – студент кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, Україна; e-mail: Annabel16schar@gmail.com.

Kateryna Zavalii - student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: Annabel16schar@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шпирка, І. І. Одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом на V-Ti-PO₄ каталізаторах / **І. І. Шпирка, Р. В. Небесний, З. Г. Піх, В. В. Сидорчук, В. В. Івасів, С. В. Халамейда, К. В. Завалій** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. – № 32 (1254). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

Please cite this article as:

Shpyrka, I. I., Nebesnyi, R. V., Pikh, Z. G., Sydorchuk, V. V., Ivasiv, V. V., Khalameida, S. V., Zavalii, K. V. Acrylic acid synthesis by aldol condensation of acetic acid and formaldehyde on V-Ti-PO₄ catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 117–122, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шпирка, И. И. Получения акриловой кислоты альдольной конденсации уксусной кислоты с формальдегидом на V-Ti-PO₄ катализаторах / **И. И. Шпирка, Р. В. Небесный, З. Г. Пих, В. В. Сидорчук, В. В. Ивасив, С. В. Халамейда, Е. В. Завалій** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. – №32 (1254). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.19.

АННОТАЦІЯ Исследованы закономерности процесса альдольной конденсации уксусной кислоты с формальдегидом в акриловую кислоту в газовой фазе на V-Ti-PO₄ катализаторах. Установлено влияние температуры процесса на конверсию реагентов и селективность образования продуктов реакции. Установлено влияние условий приготовления катализаторов, а именно метода получения активной фазы катализатора и прокаливания катализатора на его эффективность в исследуемом процессе. Предложено оптимальную методику приготовления V-Ti-PO₄ катализатора и оптимальные условия получения акриловой кислоты.

Ключевые слова: акриловая кислота; уксусная кислота; формальдегид; гетерогенный катализ; альдольная конденсация.

Поступила (received) 15.09.2017

УДК 637.146 : 664.8.03 : 613.22

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.20

ТЕРМОСТАТНИЙ СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА – ГАРАНТІЯ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ ПАСТ БІЛКОВИХ ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ

Ю. С. УКРАЇНЦЕВА^{1*}, Н. А. ТКАЧЕНКО², А. С. АВЕРШИНА³, О. Т. ПАВЛЕНКО⁴

¹кафедра технології молока і молочних продуктів, Луганський національний аграрний університет, м. Луганськ, УКРАЇНА

²кафедра технології молока, жирів і парфумерно-косметичних продуктів, Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, УКРАЇНА

³кафедра товарознавства та торгового підприємства, Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Луганськ, УКРАЇНА

⁴кафедра техносферної безпеки, Луганський національний аграрний університет, м. Луганськ, УКРАЇНА

*email: yuliy@i.ua

АНОТАЦІЯ У статті викладені результати досліджень зміни показників якості паст білкових дитячого харчування з високими гіпоалергенними, пробіотичними, в т.ч. антагоністичними, властивостями при зберіганні в герметичній тарі при температурі (4 ± 2) °C протягом 28 діб. Показано, що при зазначених умовах протягом 24 діб досліджені зразки мають високі органолептичні, нормовані фізико-хімічні, мікробіологічні та біохімічні показники якості. Встановлено, що граничний термін зберігання паст білкових дитячого харчування при температурі (4 ± 2) °C не повинен перевищувати 12 діб з урахуванням коефіцієнта запасу для кисломолочних продуктів дитячого харчування (за умови зберігання в герметичній тарі).

Ключові слова: дитяче харчування; паста білкова; зберігання; температура; органолептичні показники; кислотність; мікробіологічні показники; біохімічні показники; пробіотичні властивості.

THERMOSTATIC PRODUCTION TECHNOLOGY IS THE GUARANTEE OF LONG-STORAGE PERIOD OF PROTEIN PASTES FOR INFANT FOOD

Yu. UKRAINCIEVA¹, N. TKACHENKO², A. AVERSHINA³, A. PAVLENKO⁴

¹Department of milk technology and dairy products, Luhansk national agrarian university, Luhansk, UKRAINE

²Department of technology of milk, oil-fat products and cosmetics, Odessa national academy of food technologies, Odessa, UKRAINE

³Department of Commodity Science and Trade Business, Taras Shevchenko National University of Luhansk, Luhansk, UKRAINE

⁴Department of technosphere safety, Luhansk national agrarian university, Luhansk, UKRAINE

ABSTRAKT Work objective - changes in the quality indicators of protein pastes for infants food with high hypoallergenic, probiotic, including antagonistic properties and stored in sealed-off containers at temperature (4 ± 2) °C during 28 days have been studied: organoleptic properties of taste and odour, consistency and appearance; physical and chemical properties – titrated acidity, °T; active acidity, pH units; moisture retention property, %; microbiological properties – number of living cells of mixed cultures *L. lactis* ssp. *lactis*, *L. lactis* ssp. *cremoris*, *L. lactis* ssp. *diacetylactis* i *L. mesenteroides*, CFU/cm³; the most probable number of living cells of monocultures *L. acidophilus* La-5, CFU/cm³ and *B. animalis* Bb-12, CFU/cm³; presence of coli form bacteria in 0,3 cm³; biochemical properties – antioxidant activity, activity units; and maximum possible content of malondialdehyde at complete oxidation of the product ingredients, mg/100 g. The article presents the results of studies on changes in the quality indices of protein pastes for infants food with high hypoallergenic, probiotic, including antagonistic properties when stored in a sealed container at a temperature of (4 ± 2) °C for 28 days. It is proved that under indicated conditions in the course of 24 days the studied samples of target products possess high organoleptic and standardized physical, chemical, biochemical and microbiological quality indicators, and are, also, characterized by high content of probiotics: $6,7 \cdot 10^8 \dots 4,0 \cdot 10^{10}$ and $(0,9 \dots 8,0) \cdot 10^8$ CFU/cm³ of living cells of bifidus bacteria and lactobacilli, accordingly. It has been established that the limit storage period baby's food protein pastes produced according to the improved technology and stored at temperature (4 ± 2) °C should not exceed 12 days with due account of the safety margin for sour-milk infant drinks (provided they are kept in sealed-off containers).

Keywords: infant food; protein pasta; storage; temperature; organoleptic characteristics, acidity; microbiological indicators; biochemical indicators, probiotic properties.

Вступ

Впродовж останніх десятиліть в Україні спостерігається тенденція до росту народжуваності, що веде до збільшення кількості немовлят та дітей

віком до трьох років, яким необхідно споживати продукти зі збалансованим складом [1].

Безумовно, найкращою їжею для немовлят є материнське молоко за умови, що мати здорова і отримує повноцінне харчування [2]. У більшості розвинутих країн Європи понад 80% матерів годують

дітей своїм молоком. Це наслідок державних пропагандистських кампаній. Діє навіть Всесвітня організація по боротьбі за грудне годування. [3]. В нашій країні, на жаль, ситуація інакша. За оцінками Асоціації виробників дитячого харчування, в Україні лише 22 % дітей знаходиться виключно на грудному годуванні (в Російській Федерації – 32 %, в країнах Азії – 54 %). Лише 5 % українських матерів кормлять дітей груддю до року [4, 5]. В таких умовах проблема забезпечення дітей високоякісними біологічно повноцінними продуктами харчування може бути вирішена тільки через систему їх промислового виробництва.

Тому Міністерство агрополітики України ініціювало розробку державної цільової програми розвитку дитячого харчування в Україні на 2012...2016 рр., згідно якої передбачається збільшення внутрішніх обсягів виробництва і розширення асортименту продуктів для дитячого харчування [6]. Реалізація цієї програми сприяла розширенню асортименту та нарощуванню потужностей із виробництва продуктів для малюків. Перспективним є виробництво пастоподібних молочних продуктів для дитячого харчування [7].

Однак, всі існуючі пастоподібні молочні продукти дитячого харчування не адаптовані до молока жіночого, тому розробка нових продуктів обраного цільового сегменту – паст білкових дитячого харчування (ПБДХ) є актуальною.

Мета роботи

Метою дослідження стало обґрунтування граничного терміну зберігання паст білкових дитячого харчування, частково адаптованих до молока жіночого, вироблених термостатним способом і розфасованих у герметичну тару.

Для досягнення поставленої мети були визначені та вирішені такі завдання:

дослідити зміну органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних та біохімічних показників якості ПБДХ, вироблених термостатним способом, при зберіганні у герметичній тарі;

обґрунтувати тривалість граничного терміну зберігання цільового продукту у герметичній тарі з урахуванням коефіцієнта запасу;

визначити вплив рецептурних інгредієнтів ПБДХ на зміну показників їх якості при зберіганні й надати рекомендації щодо використання у складі паст білкових дитячого харчування пребіотиків, рослинних олій, комплексів вітамінів та мінеральних речовин.

Викладання основного матеріалу

Пасти білкові дитячого харчування рекомендовано виробляти термостатним способом із застосуванням термокислотної коагуляції білків молока знежиреного з подальшим відділенням білкової маси від сироватки, вальцюванням отриманої

білкової маси, змішуванням її з попередньо сквашеними комбінованими вершками, фасуванням до герметичної тари з подальшим доквашуванням у тарі в термостатній камері й охолодженням до температури зберігання. Використання для виробництва білкових паст термостатного способу є інноваційним підходом в молокопереробній галузі.

Для виробництва ПБДХ було рекомендовано використовувати заквашувальні композиції із змішаних культур мезофільних молочнокислих лактококків (ЗК ММЛ) з підвищеними протеолітичними властивостями і монокультур двох визнаних класичних пробіотиків – *L. acidophilus La-5* і *B. animalis Bb-12* у співвідношенні 1,0 : 0,1 : 1,0 (вихідна концентрація культур при інокуляції повинна складати $1 \cdot 10^6$, $1 \cdot 10^5$ і $1 \cdot 10^6$ КУО/см³ відповідно). Оскільки білкова маса, отримана термокислотною коагуляцією, містить $(4,0 \dots 5,5) \cdot 10^5$ КУО/г життєздатних клітин МК *L. acidophilus La-5*, процес ферментації комбінованих вершків здійснювали з використанням монокультур (МК) *B. animalis Bb-12* у складі ліофільно висушеного бакконцентрату безпосереднього внесення *FD DVS Bb-12* або замороженого бакконцентрату безпосереднього внесення *F DVS Bb-12* та ЗК *L. lactis ssp. lactis*, *L. lactis ssp. cremoris*, *L. lactis ssp. diacetylactis* і *L. mesenteroides* у складі замороженого бакконцентрату безпосереднього внесення *F DVS C-303* і бакконцентрату, отриманого ліофільним сушінням – *FD DVS CH N-11* [8].

Для проведення експериментальних досліджень отриману білкову масу змішували зі сквашеними комбінованими вершками. Отримання білкової маси термокислотним способом здійснювали аналогічно такому в технології ацидофільних паст [9] із застосуванням для ферментації сироватки бакконцентратів безпосереднього внесення *F DVS La-5* або *FD DVS La-5* при температурі $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ протягом двох діб. Для отримання комбінованих вершків молочні вершки з масовою часткою жиру 28 % змішували з олією гарбузовою і олією високоолеїною соняшниковою рафінованою дезодорованою у кількості, яка забезпечувала співвідношення молочного, гарбузового і високоолеїнового соняшникового жирів 7,0 : 1,5 : 1,5; вносили в них фруктозу, як біфідогенний фактор (масова частка – 0,1 %); підігрівали до температури 75°C ; гомогенізували двоступеневим способом при зазначеній температурі та тиску 8,5 та 3,0 МПа на першому та другому ступенях відповідно; пастеризували при температурі 95°C з витримкою 10 хв.; охолоджували до температури заквашування – $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ і заквашували однією з рекомендованих заквашувальних композицій:

- композиція 1 складалася із МК *B. animalis Bb-12* у складі бакконцентрату *F DVS Bb-12* і змішаних культур ММЛ у складі бакконцентрату *F DVS C-303* (вихідна концентрація культур біфідобактерій та ММЛ при інокуляції складала $1 \cdot 10^6$ КУО/см³);

- композиція 2 складалася із МК *B. animalis Bb-12* у складі бакконцентрату *FD DVS Bb-12* і змішаних культур ММЛ у складі бакконцентрату *FD DVS CH N-11* (вихідна концентрація культур біфідобактерій та ММЛ при інокуляції складала $1 \cdot 10^6$ КУО/см³).

У обидві партії сквашених комбінованих вершків вносили концентрат лактулози «Лактусан» із розрахунку 0,5 % лактулози у готовій білковій масі й кожну партію ділили на три частини:

у першу частину сквашених комбінованих вершків вносили комплекс вітамінів FT 041081EU в кількості, яка забезпечувала вміст комплексу в готовій білковій масі 5 мг/100 г; у другу частину – комплекс мінеральних речовин FT 042836EU в кількості, яка забезпечувала вміст комплексу в готовій білковій масі 5 мг/100 г; у третю частину – комплекс вітамінів та мінеральних речовин у зазначених концентраціях.

Із білкової маси і сквашених збагачених комбінованих вершків, готували дві серії експериментальних зразків [8]:

– експериментальний зразок 1-1 (1-2) – суміш білкової маси і комбінованих вершків, сквашених композицією 1 (або композицією 2) і збагачених лактулозою та вітамінами;

– експериментальний зразок 2-1 (2-2) – суміш білкової маси і комбінованих вершків, сквашених композицією 1 (або композицією 2) і збагачених лактулозою та мінеральними речовинами;

– експериментальний зразок 3-1 (3-2) – суміш білкової маси і молочно-рослинних вершків, сквашених композицією 1 (або композицією 2) і збагачених лактулозою, вітамінами та мінеральними речовинами.

За контрольні зразки 1 та 2 використовували суміші білкової маси, отриманої із молока знежиреного термокислотою коагуляцією, зі сквашеними молочними вершками з масовою часткою жиру 40 % (масова частка жиру в молочних вершках відповідала такій в комбінованих вершках), оброблені за аналогічними режимами і сквашені тими ж заквашувальними композиціями 1 і 2, що й експериментальні зразки.

Вироблені зразки ПБДХ зберігали при температурі (4 ± 2) °С, оскільки при підвищенні температури до 8...10 °С у них можуть продовжувати розвиватись мікроорганізми заквашувальних композицій [10 - 14], що сприятиме погіршенню споживних властивостей і медико-біологічних характеристик продукту. Використання температури зберігання, нижчої від 0 °С, у технологіях ПБДХ недопустимо, оскільки при їх заморожуванні змінюються структурні характеристики білків та жирів, що викликає погіршення показників якості, зокрема органолептичних і реологічних [15, 10]. Тому розфасовані у асептичних умовах зразки ПБДХ зберігали в герметичній тарі при температурі 4 °С протягом 28 діб.

У процесі зберігання протягом 28 діб з періодичністю 4 доби визначали такі показники:

– фізико-хімічні – температуру зберігання – за ГОСТ 25754-85; титровану кислотність – титриметричним методом за ГОСТ 3624-92 (рис. 1, а; 2, а); активну кислотність – потенціометричним методом за ГОСТ 26781-85 (рис. 1, б; 2, б);

– біохімічні – антиоксидантну активність – за методом, який базується на каталізі переносу електрону продуктом в системі «відновлений нікотінамідаденіндинуклеотид – фероціанід калію» [16] (рис. 5, а; 6 а); максимально можливий вміст малонового діальдегіду в продукті при повному окисненні – колориметричним методом за [17] (рис. 5, б; 6 б);

– мікробіологічні – кількість життєздатних клітин пробіотичних культур – МК *B. animalis Bb-12* у 1 см³ продукту – посівом у розлите в пробірки високим стовпчиком тіогліколеве середовище і термостатуванням при 37 °С без доступу кисню протягом 48...72 год. за ДСТУ 7355:2013 (рис. 3, а; 4, а); найбільш вірогідне число життєздатних клітин МК *L. acidophilus La-5* у 1 см³ продукту – посівом у розлите в пробірки високим стовпчиком стерилізоване знежирене молоко і термостатуванням протягом 72 год. за ГОСТ 10444.11-89 (рис. 3, б; 4, б); кількість життєздатних клітин ЗК *L. lactis ssp.* 1 см³ продукту – посівом у розлите в пробірки високим стовпчиком стерилізоване молоко і термостатуванням протягом 72 год за ГОСТ 10444.11-89 (рис. 3, в; 4 в); наявність бактерій групи кишкових паличок у 0,3 см³ – посівом на середовища Кеслер за ДСТУ IDF 73A:2003, визначення кількості дріжджів та пліснів в 1 см³ – посівом на середовище Сабуро за ГОСТ 10444.12-88.

Обговорення результатів

У процесі зберігання контрольного зразка 1 ПБДХ (зразок 4) титрована кислотність його стрімко наростала, а активна знижувалася до 20-тої доби зберігання (рис. 1, а, б, відповідно), що обумовлено активним розвитком у цьому зразку лактобактерій (рис. 3, в). Слід зазначити, що зразок 4 має максимальну концентрацію життєздатних клітин МК *L. acidophilus La-5*, які є найсильнішими кислотоутворювачами із усіх використаних у складі заквашувальної композиції 1 культур лакто- й біфідобактерій, тому вже на 10-ту добу зберігання його кислотність досягає граничного для пастоподібних продуктів дитячого харчування значення – 180 °Т; при цьому смак продукту є занадто кислим, що не допустимо у продуктах для харчування дітей віком від 8-ми місяців. Після 20-тої доби титрована кислотність зразка 4 знижувалась, що пояснюється глибоким перетворенням амінокислот (дезамінуванням), отриманих при гідролізі білків під дією протеолітичних ферментів, які виділяють клітини ЗК ММЛ у складі бакконцентрату *F DVS C-303* і МК *L. acidophilus La-5* у процесі активної життєдіяльності; при цьому активна кислотність

залишалась практично незмінною за рахунок буферних властивостей молочних білків. Глибокі зміни амінокислот викликали появу у контрольному зразку 1 ПБДХ гіркуватого присмаку на 21-22 добу зберігання, що зробило продукт взагалі непридатним до харчування. Кількість життєздатних клітин біфідобактерій у зразку 4 знижувалась протягом всього дослідженого терміну зберігання (рис. 3, а). З огляду на вимоги [18], граничний термін зберігання зразка 4 не повинен перевищувати 5 діб.

При зберіганні контрольного зразка 2 ПБДХ (зразок 8) титрована кислотність його збільшувалась, а активна знижувалась протягом 28 діб (рис. 2 а, б, відповідно), що також обумовлено активним розвитком у цьому зразку лактобактерій (рис. 4, в). Однак, зразок 8 має нижчу вихідну концентрацію життєздатних клітин МК *L. acidophilus* La-5 і ЗК *L. lactis* ssp. і, як наслідок, нижчу їх концентрацію у продукті протягом всього процесу зберігання.

Тому гранично допустимий рівень титрованої кислотності для пастоподібних продуктів дитячого харчування – 180 °Т, у контрольному зразку 2 ПБДХ відзначається через 13 діб, після чого продукт набуває вираженого кисломолочного смаку, не дозволеного у продуктах для харчування дітей віком від 8-ми місяців. Слід відзначити, що у зразку 8 не відбуваються зміни амінокислот, що обумовлено значно нижчими протеолітичними властивостями ЗК *L. lactis* ssp., які входять до БК *FD DVS CH N-11* в порівнянні з культурами ММЛ у складі БК *F DVS C-303* [19].

Біфідобактерії у зразку 8 також починають відмирати з першого дня зберігання (рис. 4, а), що обумовлено відсутністю біфідогенних факторів у продукті (як і у зразку 4). З огляду на вимоги [18], граничний термін зберігання зразка 8 не повинен перевищувати 6,5 діб.

В експериментальних зразках першої та другої груп титрована кислотність протягом 24 діб зберігання знаходилась в межах 135...180 та 130...180 °Т відповідно (рис. 1, а; 2, а), а активна кислотність – у межах 4,68...5,14 та 4,65...5,13 рН відповідно (рис. 1, б; 2, б).

Такі значення кислотності обумовлювали чистий кисломолочний смак у всіх експериментальних зразках протягом 24 діб зберігання, консистенція зразків була м'яка, мазка, ніжна, характерна для пастоподібних дитячих білкових продуктів; колір зразків був вираженим кремовим, що обумовлено високим вмістом жиру в продукті (15 %) і наявністю у складі жирового компоненту рослинних олій (гарбузової та високоолеїнової соняшникової); найбільш вираженим кремовим був колір у зразках 1-1, 1-3, 2-1 та 2-3, збагачених комплексом вітамінів. Після 24-тої доби зберігання у експериментальних зразках першої групи також відзначалось незначне зниження титрованої кислотності (на 1,5...2,0 °Т) – рис. 1, а, обумовлене використанням у складі заквашувальної композиції

БК *F DVS C-303*, яке обумовило незначні зміни амінокислот, накопичених при протеолізі молочних білків у зразках 1-1, 1-2, 1-3. Однак, такі незначні зміни амінокислот не призвели до появи у зазначених зразках гіркоти, оскільки процес після 24-тої доби тільки почався. В експериментальних зразках другої групи титрована кислотність збільшувалась і після 24-тої доби зберігання і на 28-му добу досягала значень 175...189 °Т (рис. 2, а).

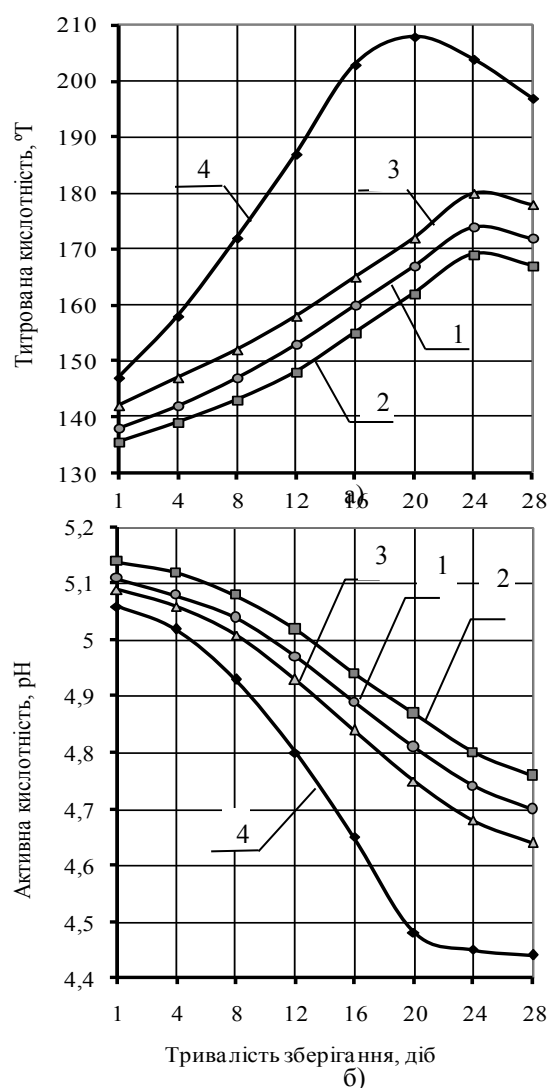


Рис. 1 - Зміна титрованої (а) та активної (б) кислотності при зберіганні ПБДХ з використанням заквашувальної композиції 1 за температури 4...6 °С в герметичній тарі:

- 1 – експериментальний зразок 1-1;
- 2 – експериментальний зразок 1-2;
- 3 – експериментальний зразок 1-3;
- 4 – контрольний зразок 1;

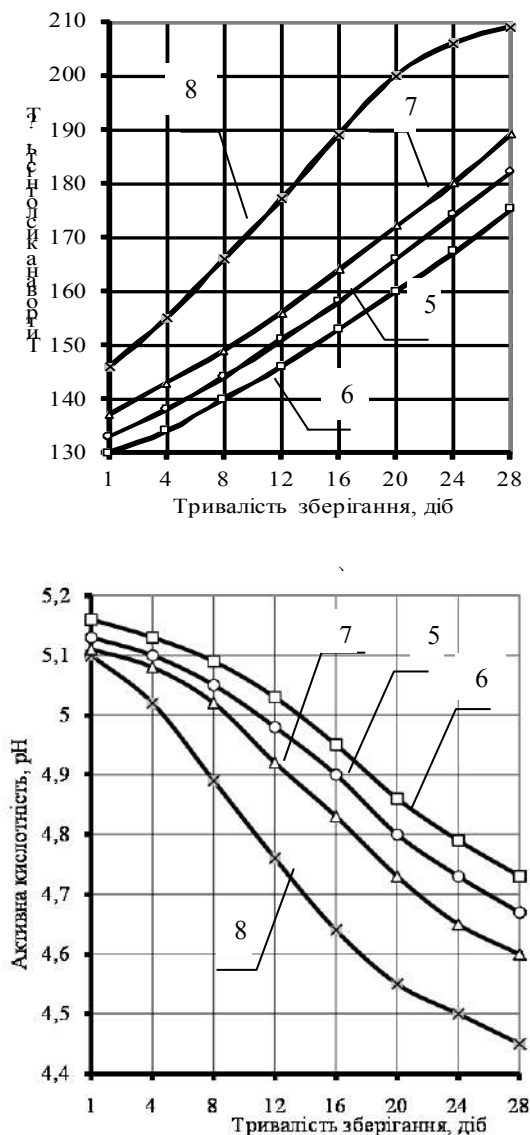


Рис.2 - Зміна титрованої (а) та активної (б) кислотності при зберіганні ПБДХ з використанням заквашувальної композиції 2 за температури 4...6 °С в герметичній тарі:

- 5 – експериментальний зразок 2-1;
- 6 – експериментальний зразок 2-2;
- 7 – експериментальний зразок 2-3;
- 4 – контрольний зразок 2.

Нижчі значення титрованої кислотності експериментальних зразків у порівнянні з контрольними обумовлені високою концентрацією в дослідних зразках біфідобактерій (рис. 3, а; 4, а) і ММЛ (рис. 3, в; 4, в), які не є сильними кислотоутворювачами, і значно нижчою концентрацією життєздатних клітин ацидофільних паличок (рис. 3, б; 4, б) – сильних кислотоутворювачів. Найвищі значення титрованої кислотності (рис. 1, а; 2, а) мають зразки 1-3 та 2-3, в яких відзначається максимальна кількість всіх культур лакто- й

біфідобактерій (рис. 3, рис. 4), введених до складу ПБДХ, що пояснюється стимулюючою дією на мікроорганізми заквашувальних композицій вітамінів, мінеральних речовин, а також «підтримуючою» дією лактулози щодо біфідофлори в усіх експериментальних зразках. Дещо нижчі значення кислотності мають зразки 1-1 та 2-1, вміст лакто- й біфідобактерій в яких нижчий, ніж у зразках 1-3 та 2-3 (рис. 3, рис. 4), найнижчий рівень титрованої кислотності мають зразки 1-2 та 2-2 (рис. 1, а; 2, а), вміст корисної мікрофлори яких найнижчий серед усіх досліджених експериментальних зразків. Отже, на збереження життєздатності мікроорганізмів заквашувальних композицій вітаміни здійснюють більш суттєвий вплив, ніж мінеральні речовини, а комплекс зазначених функціональних інгредієнтів має найбільш виражену «підтримуючу» дію.

Крім того, на збереження життєздатності біфідобактерій у процесі зберігання ПБДХ дуже суттєвий вплив має лактулоза, введена до складу всіх експериментальних зразків ПБДХ: вміст життєздатних клітин МК *B. animalis* Bb-12 у зразках першої та другої груп протягом 24 діб зберігання складає $7,9 \cdot 10^8 \dots 4,0 \cdot 10^{10}$ та $6,7 \cdot 10^8 \dots 0,8 \cdot 10^{10}$ КУО/г відповідно (рис. 3, а; 4, а), що обумовлює дуже високі пробіотичні й антагоністичні властивості продукту, а також високі органолептичні характеристики. Зразки першої групи містять дещо вищий вміст біфідофлори, ніж відповідні зразки другої групи, що обумовлено більш активним розвитком зі ЗК ММЛ, що входять до БК F DVS C-303. біфідобактерій у процесі ферментації в композиції

Кількість життєздатних клітин МК *L. acidophilus* La-5 у зразках першої та другої груп складає $(1,04 \dots 8,0) \cdot 10^8$ та $(0,9 \dots 7,0) \cdot 10^8$ КУО/г відповідно (рис. 3, б; 4, б) протягом 24 діб зберігання, що суттєво підсилює антагоністичні й пробіотичні властивості ПБДХ. Крім того, ацидофільні палички мають високі протеолітичні властивості й разом зі змішаними культурами ММЛ приймають участь у протеолізі білків, що забезпечує в готових продуктах гіпоалергенні властивості.

Мезофільні молочнокислі лактококки розвиваються в процесі зберігання всіх експериментальних зразків, що обумовлено досить високою активною кислотністю продукту протягом всього терміну зберігання та стимулюючою дією на культури ММЛ вітамінів, мінеральних речовин та продуктів життєдіяльності біфідобактерій і лактобацил. Кількість життєздатних клітин ММЛ складає $7,0 \cdot 10^9 \dots 7,0 \cdot 10^{10}$ та $5,0 \cdot 10^9 \dots 6,0 \cdot 10^{10}$ КУО/г у зразках першої та другої груп відповідно (рис. 3, в; 4, в) протягом 24 діб зберігання.

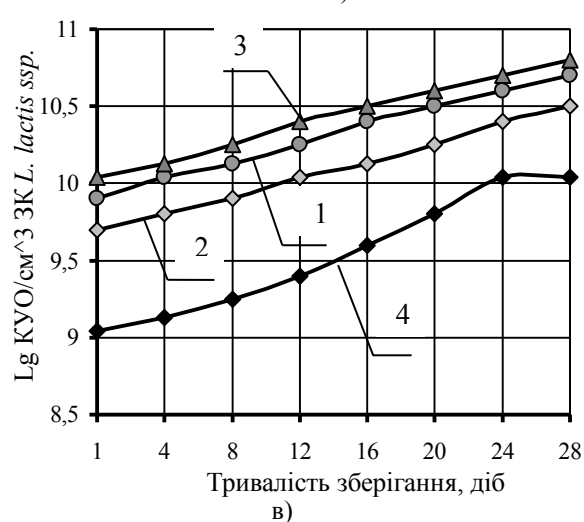
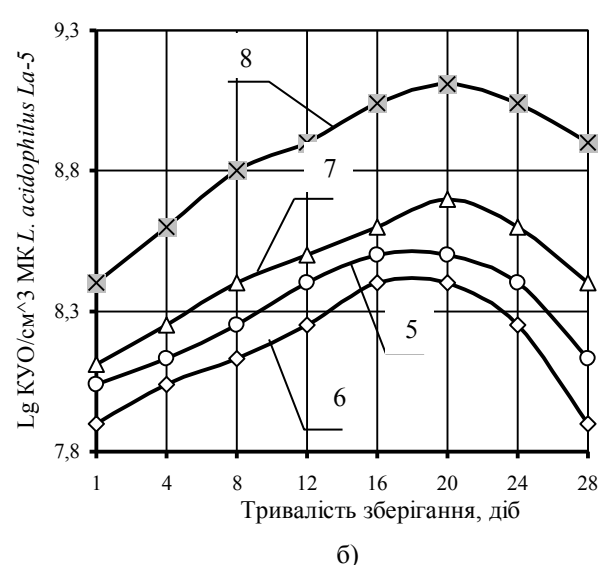
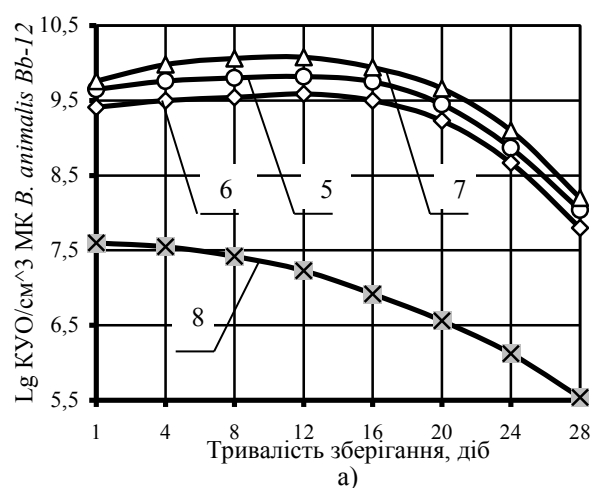
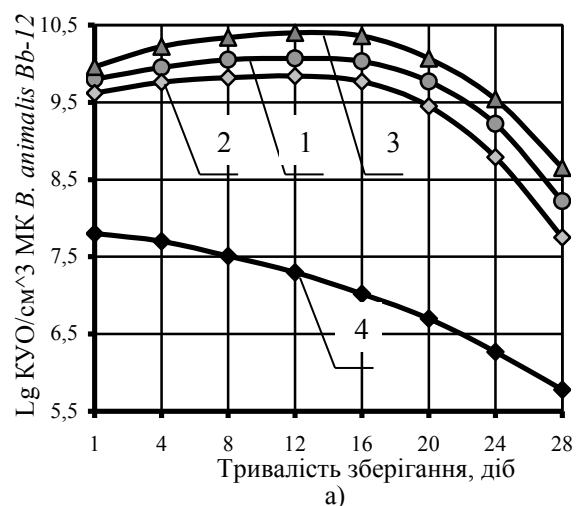


Рис. 3 - Зміна кількості життєздатних клітин МК *B. animalis* Bb-12 (а), МК *L. acidophilus* La-5 (б) і ЗК *L. lactis* ssp. (в) у 1 г ПБДХ з використанням композиції 1 при зберіганні за температури 4...6 °C в герметичній тарі: 1, 2, 3 – експериментальні зразки 1-1, 2-1, 3-1, відповідно; 4 – контрольний зразок 1;

Рис. 4 - Зміна кількості життєздатних клітин МК *B. animalis* Bb-12 (а), МК *L. acidophilus* La-5 (б) і ЗК *L. lactis* ssp. (в) у 1 г ПБДХ з використанням композиції 2 при зберіганні за температури 4...6 °C в герметичній тарі: 5, 6, 7 – експериментальні зразки 1-2, 2-2, 3-2, відповідно; 8 – контрольний зразок 2;

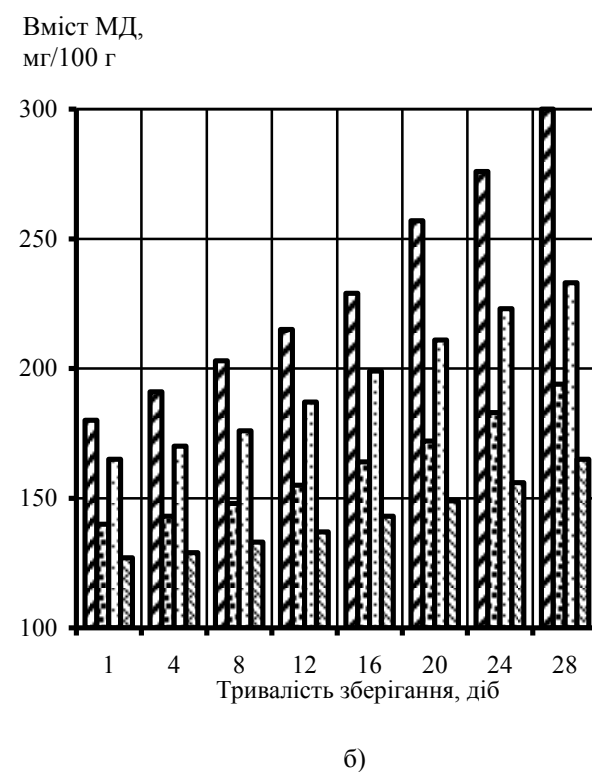
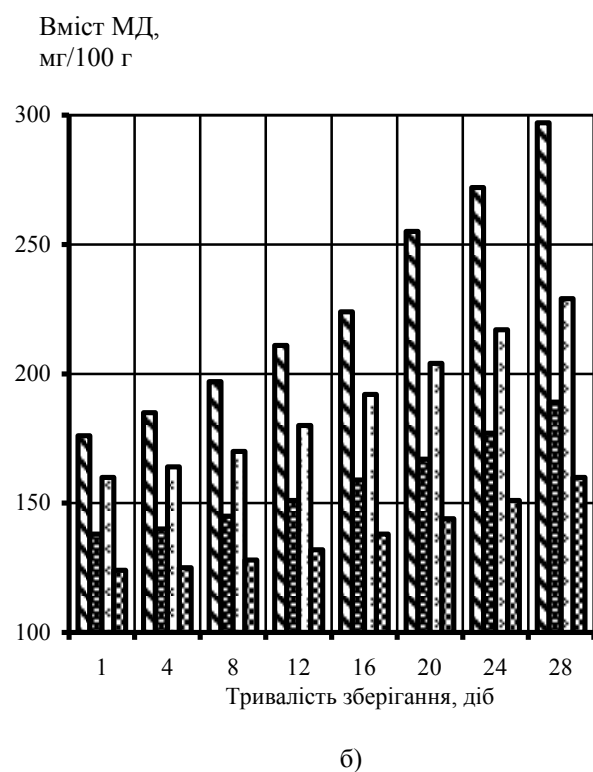
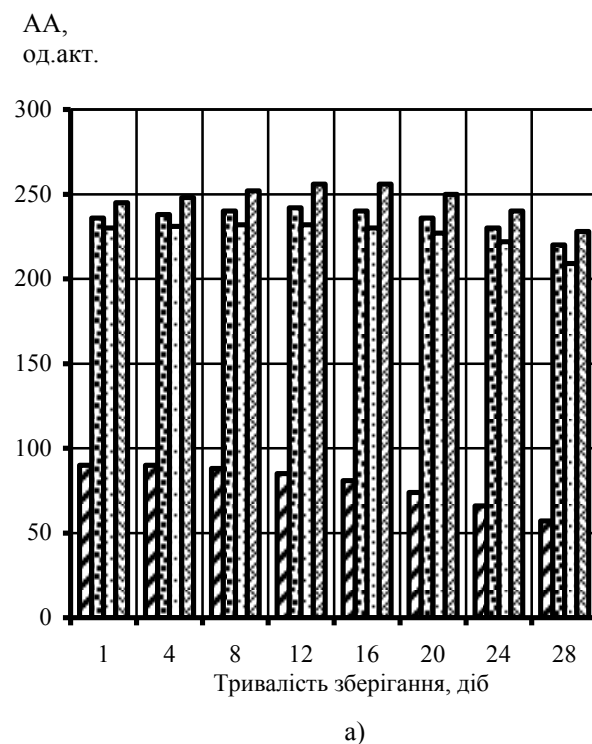
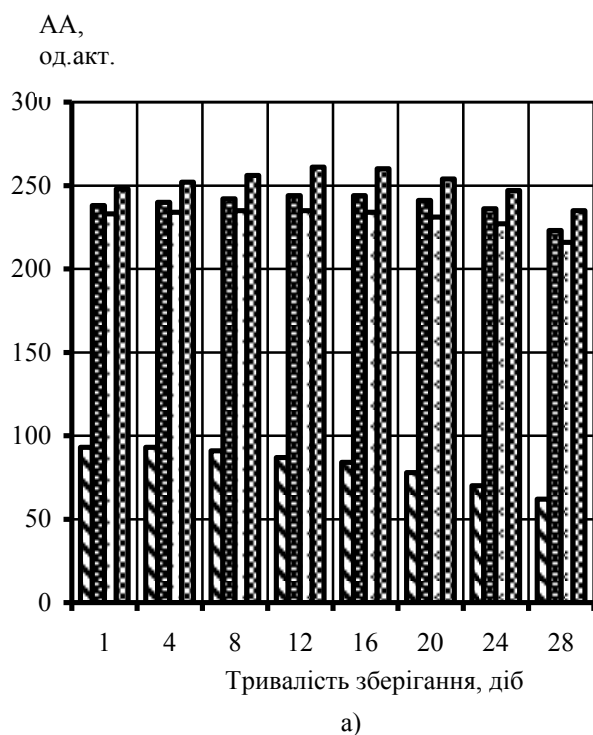


Рис. 5 - Зміна АА (а) та вмісту МД (б) при зберіганні ПБДХ першої серії за температури 4...6 °С в герметичній тарі:

- – експериментальний зразок 1-1;
- ▨ – експериментальний зразок 1-2;
- ▩ – експериментальний зразок 1-3;
- ▤ – контрольний зразок 1;

Рис. 6 - Зміна АА (а) та вмісту МД (б) при зберіганні ПБДХ другої серії за температури 4...6 °С в герметичній тарі:

- – експериментальний зразок 2-1;
- ▨ – експериментальний зразок 2-2;
- ▩ – експериментальний зразок 2-3;
- ▤ – контрольний зразок 2;

Найвищу кількість пробіотиків (МК лактобацил та МК біфідобактерій) і ММЛ з підвищеними протеолітичними властивостями мають зразки ПБДХ, збагачені лактулозою, рослинними оліями, комплексами вітамінів та мінеральних речовин.

Дослідження біохімічних показників (рис. 5; 6) також свідчать про перспективність виробництва ПБДХ, збагачених зазначеними функціональними інгредієнтами, оскільки вони мають найвищі антиоксидантні властивості. Ці зразки пастоподібних продуктів мають найвищі значення антиоксидантної активності (245...248 од.акт у свіжовиготовлених зразках – рис. 5, а; 6, а) і найнижчий вміст малонового діальдегіду (124...127 мг/100 г продукту у свіжовиготовлених зразках – рис. 5, б; 6, б). У процесі зберігання зразків 1-3 та 2-3 протягом 24 діб їх АА залишається практично незмінною (рис. 5, а; 6, а), а вміст МД збільшується лише на 21,6...21,8 та 22,8...23,0 % (рис. 5, б; 6, б), що свідчить про високу стійкість цих зразків до окиснення у процесі зберігання. АА зразків інших чотирьох експериментальних зразків незначно відрізняється від такої у зразків 1-3 та 2-3, однак їх стійкість до окиснення дещо нижча (особливо зразків 1-2 та 2-2), що пояснюється відсутністю в цих зразках вітамінів антиоксидантного ряду, внесених до зразків 1-1, 1-3, 2-1 та 2-3 з комплексом FT 041081EU.

Дослідження кількості БГКП у 0,3 г продукту свідчить про їх відсутність у зазначеній масі ПБДХ, а кількість життєздатних клітин плісень та дріжджів не перевищує 10 КУО/г, що доводить правильність вибору параметрів теплового та біотехнологічного оброблення сировини й напівфабрикатів у технологічному процесі виробництва нових пастоподібних продуктів для харчування малюків віком від 8-ми місяців.

З огляду на наведені результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що протягом 24 діб експериментальні зразки ПБДХ мають високі органолептичні, пробіотичні характеристики, нормовані фізико-хімічні та мікробіологічні показники, тому (із врахуванням вимог [18]) граничний термін зберігання ПБДХ при температурі (4±2) °C не повинен перевищувати 12 діб. Такий тривалий термін зберігання ПБДХ зробить їх конкурентноздатними на споживчому ринку продуктів дитячого харчування України.

Висновки

1. Досліджено зміну органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних та біохімічних показників якості ПБДХ з високими пробіотичними, у т.ч. антагоністичними, й гіпоалергенними властивостями, при зберіганні у герметичній тарі за температури (4±2) °C. Показано, що при зазначених умовах протягом 24 діб досліджені зразки цільового продукту мають високі органолептичні, нормовані для

пастоподібних продуктів дитячого харчування фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні, показники, а також характеризуються високим вмістом пробіотиків. Вміст життєздатних клітин МК *B. animalis* Bb-12 у зразках першої та другої груп протягом 24 діб зберігання складає $7,9 \cdot 10^8 \dots 4,0 \cdot 10^{10}$ та $6,7 \cdot 10^8 \dots 0,8 \cdot 10^{10}$ КУО/г відповідно. Кількість життєздатних клітин МК *L. acidophilus* La-5 у зразках першої та другої груп складає (1,04...8,0)·10⁸ та (0,9...7,0)·10⁸ КУО/г відповідно.

2. Встановлено, що граничний термін зберігання ПБДХ за температури (4±2) °C не повинен перевищувати 12 діб із врахуванням коефіцієнту запасу для кисломолочних продуктів дитячого харчування (за умови зберігання у герметичній тарі).

3. Доведено, що рецептури цільових продуктів повинні включати лактулозу, комплекс вітамінів FT 041081EU фірми «Fortitech» (Данія) та комплекс мінеральних речовин FT 042836EU фірми «Fortitech» (Данія), високоолеїнову соняшникову рафіновану дезодоровану олію як джерело МНЖК і гарбузову олію як джерело ПНЖК.

Список літератури

1. Рынок детского питания в Украине [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. statuspress.com.ua. Режим доступа: statuspress.com.ua.
2. Кузнецов, В. В. Справочник технолога молочного производства. Технология детских молочных продуктов / В. В. Кузнецов, Н. Н. Липатова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005 г. – 525 с.
3. Аналіз та перспективи розвитку індустрії дитячого харчування в Україні та світі / Н.А. Ткаченко, П.О. Некрасов, Ю.В. Назаренко, Ю.С. Українцева, А.С. Авершина // Молочний бізнес. – 2016. – № 4. – С. 10–14., 2017. – № 1. – С. 4–8.
4. Рынок детских молочных продуктов в Украине [Электронный ресурс]. – Союз-информ. – 2010. – Режим доступа: http://www.souz-inform.com.ua/index.php?language=rus&menu=article/detskoe_pyatanye.
5. Украинский рынок молочных продуктов детского питания [Электронный ресурс]. -Инфагро.- 2011.- Режим доступа: <http://www.infagro.com.ua/ru/Product/Yes/37/5>.
6. Обзор рынка детского питания в Украине [Электронный ресурс]. – BABY EXPO. – 2014. – Режим доступа: http://babyexpo.ua/baby_expo.
7. Про затвердження Державної цільової соціальної програми розвитку виробництва продуктів дитячого харчування на 2012-2016 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/870-2011-p>.
8. Романчук, І.О. Розробка технологій продуктів дитячого харчування та актуальні питання їх подальшого розвитку / І.О. Романчук // Збірник праць другої спеціалізованої науково-практичної конференції «Дитяче харчування: перспективи розвитку та інноваційні технології» в рамках XVII Міжнародного Форуму товарів та послуг для дітей BABY EXPO. – Київ, 2014. – С. 49-52.
9. Ткаченко, Н.А. Обґрунтування параметрів ферментації білкової маси у технології білкових паст для дитячого харчування / Н.А. Ткаченко, Ю.С. Українцева //

- Харчова наука і технологія*. – 2015. – № 2 (31). – С. 38–47. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23388.
10. Технологія незбираних продуктів: навч. посібник / **Т.А. Скорченко, Г.Є. Поліщук, О.В. Грек, О.В. Кочубей** // *Нац. ун-т харч. технологій*. – Вінниця: Нова кн., 2005. – 264 с.
 11. **Walker, A.** Intestinal colonization and programming of the intestinal immune response / **A. Walker** // *Journal of clinical gastroenterology*. – 2014. – V. 48. – Suppl 1. – P. 8–11.
 12. **Randi J. Bertelsen.** Use of probiotics and prebiotics in infant feeding / **Randi J. Bertelsen, Elizabeth T. Jensen, Tamar Ringel-Kulka** // *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. – 2016. – V. 30. – Issue 1. – P. 39–48. – doi: 10.1016/j.bpg.2016.01.001.
 13. **Linda, V. Thomas.** Probiotics – the journey continues / **Linda V. Thomas** // *International Journal of Dairy Technology*. – 2016. – V. 69. – Issue 4. – P. 469–480. – doi:10.1111/1471-0307.12354.
 14. **Civardi, E.** Safety, growth, and support to healthy gut microbiota by an infant formula enriched with functional compounds / **E. Civardi, F. Garofoli, S. Longo** [et al.] // *Clinical Nutrition*. – 2017. – V. 36. – Issue 1. – P. 238–245. – doi:10.1016/j.clnu.2015.11.006.
 15. **Bergmann, H.** Probiotics in human milk and probiotic supplementation in infant nutrition: a workshop report / **H. Bergmann, J.M. Rodriguez, S. Salminen, H. Szajewska** // *The British journal of nutrition*. – 2014. – V. 112. – Issue 7. – P. 1119–1128.
 16. **Назаренко, Ю.В.** Технологія сиру кисломолочного дитячого харчування: монографія / **Ю.В. Назаренко, Н.А. Ткаченко** // *Суми: видавничо-виробниче підприємство «Мрія-1»*, 2016. – 188 с.
 17. **Gan, E.V.** Electron transfer properties of melanin / **E.V. Gan** // *Arch. Biochem. and Biophys.* – 1976. – Vol. 17. – № 3. – P. 666–672.
 18. **Андреева, Л. И.** Модификация метода определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой / **Л.И. Андреева, Л.А. Кожемякин, А.А. Кишкун** // *Лаб. дело*. – 1988. – № 11. – С. 41–43.
 19. Му 4.2. 727-99. Гигиеническая оценка сроков годности пищевых продуктов. – [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.znaytovar.ru/new2823.html>
 20. **Ткаченко, Н. А.** Заквашувальні композиції для дитячих кисломолочних продуктів з підвищеними протеолітичними властивостями / **Н. А. Ткаченко, Ю. В. Назаренко, А. С. Авершина, Ю. С. Українцева** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – № 2/12 (68). – 2014. – С. 66–71. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23388.
 - of the baby food industry in Ukraine and in the world]. *Molochnyi biznes*. 2016, 4. 10–14, 2017, 1, 4–8.
 4. Rynok detskikh molochnykh produktov v Ukraine. (2010). Elektronnyy resurs. Soyuz-inform. Rezhim dostupa: http://www.souz-inform.com.ua/index.php?language=rus&menu=article/detskoe_pytanye.
 5. Ukrainskii rynek molochnykh produktov detskogo pitaniya. (2011). Elektronnyy resurs. Elektron. dan. Infagro. Rezhym dostupa: <http://www.infagro.com.ua/ru/Product/Yes/37/>
 6. Obzor rynka detskogo pitaniya v Ukraine. (2014). Elektronnyy resurs. Bebi-expo. Rezhym dostupa: http://babyexpo.ua/baby_expo/news_baby_expo/detail.php?ELEMENT_ID=5788
 7. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi sotsialnoi prohramy rozvytku vyrobnytstva produktiv dytiachoho kharchuvannia na 2012-2016 roky. (2011). Elektronnyi resurs. Rezhym dostupa: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/870-2011-p>.
 8. **Romanchuk, I.O.** Rozrobka tekhnolohii produktiv dytiachoho kharchuvannia ta aktualni pytannia yikh podalshoho rozvytku. [Development of baby food technology and relevant issues for their further development]. *Zbirnyk prats druhoi spetsializovanoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Dytiache kharchuvannia: perspektyvy rozvytku ta innovatsiini tekhnolohii» v ramkakh XVII Mizhnarodnoho Forumu tovariv ta posluh dlia ditei BABY EXPO*, 2014, Kyiv, 49–52.
 9. **Tkachenko, N.A., Ukrainseva, Yu.S.** Obgruntuvannia parametriv fermentatsii bilkovoii masy u tekhnolohii bilkovykh past dlia dytiachoho kharchuvannia [Justification of parameters of fermentation of protein mass in the technology of protein paste for baby food]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia*. 2015, 2 (31). 38–47. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23388.
 10. **Korchenko, T.A., Polishchuk, H.Ye., Hrek, O.V., Kochubei, O.V.** Tekhnolohiia nezbyranykh produktiv: navch. posibnyk [Technolonium of non-assorted products: companion]. *Nats. un-t kharch. tekhnolohii. Vinnytsia: Nova kn.*, 2005, 264 p.
 11. **Walker, A.** Intestinal colonization and programming of the intestinal immune response. *Journal of clinical gastroenterology*. 2014, 48, 1, 8–11.
 12. **Randi, J. Bertelsen, Elizabeth T. Jensen, Tamar, Ringel-Kulka.** Use of probiotics and prebiotics in infant feeding. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. 2016, 30, 1, 39–48. – doi:10.1016/j.bpg.2016.01.001.
 13. **Linda, V. Thomas.** Probiotics – the journey continues. *International Journal of Dairy Technology*. 2016, 69, 4, 469–480. – doi: 10.1111/1471-0307.12354.
 14. **Civardi, E., Garofoli, F., Longo, S.** Safety, growth, and support to healthy gut microbiota by an infant formula enriched with functional compounds. *Clinical Nutrition*. 2017, 36, 1, 238–245. – doi: 10.1016/j.clnu.2015.11.006.
 15. **Bergmann, H., Rodriguez, J.M., Salminen, S., Szajewska, H.** Probiotics in human milk and probiotic supplementation in infant nutrition: a workshop report. *The British journal of nutrition*. 2014, 112(7), 1119–1128.
 16. **Nazarenko, Yu.V., Tkachenko, N.A.** Tekhnolohiia syru kyslomolochnoho dytiachoho kharchuvannia: monohrafiia. [Technology of dairy cheese cheese: monograph]. *Sumy: vydavnycho-vyrobnyche pidpriemstvo «Mriia-1»*, 2016, 188 p.
 17. **Gan, E.V.** Electron transfer properties of melanin. *Arch. Biochem. and Biophys.* 1976, 17(3), 666–672.
 18. **Andreeva, L.I., Kozhemyakin, L.A., Kishkun, A.A.** Modifikatsiya metoda opredeleniya perekisey lipidov v teste s tiobarbiturovoy kislotoy. [Modification of the method for

Bibliography (transliterated)

- determination of lipid peroxides in the test with thiobarbituric acid]. *Lab. Delo*. 1988, **11**, 41–43.
19. Mu 4.2. 727-99. Gigienicheskaya otsenka srokov godnosti pishchevykh produktov. Elektronnyy resurs. Yelektron. dan. Rezhim dostupa: <http://www.znaytovar.ru/new2823.html>.
20. **Tkachenko, N.A., Nazarenko, Yu.V., Avershina, A.S., Ukraintseva, Yu.S.** Zakvashuvalni kompozitsiyi dlya dytiachikh kyslomolochnikh produktiv z pidvichenimi proteolitichnyimi vlastyvostiamy. *Vostochno-evropeyskiy gurnal peredovikh tehnologiy*. 2014, **2/12(68)**. 66–71. – doi:10.15587/1729-4061.2014.23388.

Відомості про авторів (About authors)

Українцева Юлія Сергіївна – кандидат технічних наук, Луганський національний аграрний університет, доцент кафедри технології молока і молочних продуктів, м. Луганськ, Україна; e-mail: yuliy@i.ua.

Yulia Ukraineva - Candidate of Technical Sciences, Luhansk national agrarian university, the Assistant Professor of Department of milk technology and dairy products, Luhansk, Ukraine; e-mail: yuliy@i.ua.

Ткаченко Наталія Андріївна – доктор технічних наук, професор, Одеська національна академія харчових технологій, завідувач кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики, м. Одеса, Україна; e-mail: nataliya.n2013@gmail.com.

Nataliia Tkachenko - Doctor of Sciences (Dr. Hab.) in Engineering, Professor, Odessa national academy of food technologies, the Head of Department of technology of milk, oil-fat products and cosmetics, Odessa, Ukraine; e-mail: nataliya.n2013@gmail.com.

Авершина Анастасія Сергіївна – кандидат технічних наук, Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, доцент кафедри товарознавства та торгового підприємства, м. Луганськ, Україна; e-mail: nanya-82@mail.ru.

Anastasiia Avershina - Candidate of Technical Sciences, Taras Shevchenko National University of Luhansk, the Assistant Professor of Department commodity Science and Trade Business, Luhansk, Ukraine; e-mail: nanya-82@mail.ru.

Павленко Олександр Тимофійович – кандидат технічних наук, Луганський національний аграрний університет, доцент кафедри техносферної безпеки, м. Луганськ, Україна; e-mail: 852424@i.ua.

Oleksandr Pavlenko - Candidate of Technical Sciences, Luhansk national agrarian university, the Assistant Professor of Department of technosphere safety, Luhansk, Ukraine; e-mail: 852424@i.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Українцева, Ю. С. Термостатний спосіб виробництва – гарантія тривалого зберігання паст білкових дитячого харчування / **Ю. С. Українцева, Н. А. Ткаченко, А. С. Авершина, О. Т. Павленко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. - № 32 (1254). – С. 123-132. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.20.

Please cite this article as:

Ukraineva, Yu., Tkachenko, N., Avershina, A., Pavlenko, O. Thermostatic production technology is the guarantee of long-storage period of protein pastes for infant food. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2017, **32** (1254), 123–132, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.20.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Українцева, Ю. С. Термостатный способ производства – гарантия длительного хранения паст белковых детского питания / **Ю. С. Українцева, Н. А. Ткаченко, А. С. Авершина, А. Т. Павленко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 32 (1254). – С. 123-132. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.20.

АННОТАЦІЯ В статті изложены результаты исследований изменения показателей качества паст белковых детского питания с высокими гипоаллергенными, пробиотическими, в т.ч. антагонистическими, свойствами при хранении в герметичной таре при температуре $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 28 суток. Показано, что при указанных условиях в течение 24 суток исследованные образцы имеют высокие органолептические, нормированные физико-химические, микробиологические и биохимические показатели качества. Установлено, что предельный срок хранения паст белковых детского питания при температуре $(4\pm 2)^\circ\text{C}$ не должен превышать 12 суток с учетом коэффициента запаса для кисломолочных продуктов детского питания (при условии хранения в герметичной таре).

Ключевые слова: детское питание; паста белковая; хранение; температура; органолептические показатели; кислотность; микробиологические показатели; биохимические показатели; пробиотические свойства.

Поступила (received) 11.09.2017

УДК 621.45.037

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.21

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТУПЕНИ ВЕНТИЛЯТОРА

М.И. КИСЛЯК

Кафедра авиационных двигателей, Национальный авиационный университет, Киев, УКРАИНА
*email: kislyak_nau@ukr.net

АННОТАЦИЯ Современное двигателестроение тесно связано с учетом экологических параметров двигателей, которые позволяет их разработчикам быть конкурентоспособными и востребованными на мировом рынке [1]. Одним из направлений совершенствования пассажирских самолетов является разработка способов уменьшения шума силовой установки путем выбора рациональных способов снижения шума с использованием моделирования элементов вентилятора, как основного источника шума двигателя. Для количественной оценки влияния геометрии конструктивных элементов вентилятора предлагается методика оценки акустических характеристик ступени вентилятора с помощью коэффициента шумообразования.

Ключевые слова: ТРДД; двигатель; вентилятор; моделирование; лопатка; шум.

METHOD OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE FAN STAGE

M.I. KISLYAK

Department of aircraft engines, National Aviation University, Kiev, UKRAINE

ABSTRACT Modern engine manufacturing is closely connected with consideration of ecological parameters of engines, which allows their developers to be in great demand and be competitive on the world market [1]. One of the directions of improvement passenger airplanes is process development of noise reduction of power unit by the choice of the efficient methods of a noise decreasing, with using modeling process of fan structural elements, as a main source of engine noise. For quantitative impact assessment of structural elements geometry of the fan the assessment technique of a fan acoustic characteristics by means of noise formation coefficient is offered. Implemented blades modification for studying of geometry influence on indicators of fan acoustic characteristics is carried out. Results of calculations are given in a type of dependences which analysis allowed to define the modified blade with the lowest noise formation coefficient level. For this study the best profile was profile inclined by 5 degrees in the direction to the entrance section as has the best indicators in comparison with the others. For receiving a total characteristic, the efficiency of each modification is in addition calculated. Proceeding from the obtained data more effective is also the profile inclined by 5 degrees towards entrance section. The offered technique allows to estimate influence and quantitatively of a behavior mode and geometry on acoustic characteristics by means of noise formation coefficient.

Keywords: turbojet engine; engine; fan; simulation; blade; noise.

Введение

При рассмотрении проблем эмиссии шума ТРДД выделяют два проблемных, с точки зрения экологии, этапа полета: взлет и посадка, на которых необходимо иметь минимальный уровень излучаемого шума. На рис. 1. показаны основные источники шума летательного аппарата [2].

Заметно, что наибольший вклад в эмиссию шума вносит вентилятор двигателя, поэтому исследование направлено на изучение путей его уменьшения. Уменьшения шумовой эмиссии возможно при определении основных источников в ступени вентилятора и причин их появления. К основным причинам, которые влияют на образования шума относят турбулентное обтекание, периодические отрывные обтекания лопаток и турбулентная струя [3].

Цель работы

Определить источники генерации шума возможно с помощью математической модели вентилятора. Такая модель позволяет наглядно увидеть развитие акустических возмущений и определить параметры, которые влияют на ее изменение. Для сравнительной оценки влияния различных факторов на уровень шума необходимо определить количественный показатель этого влияния.

Изложение основного материала

Для изучения шумовых характеристик вентилятора используется программный комплекс ANSYS [4], который позволяет определить характеристики ступени вентилятора, такие как КПД, степень повышения давления.

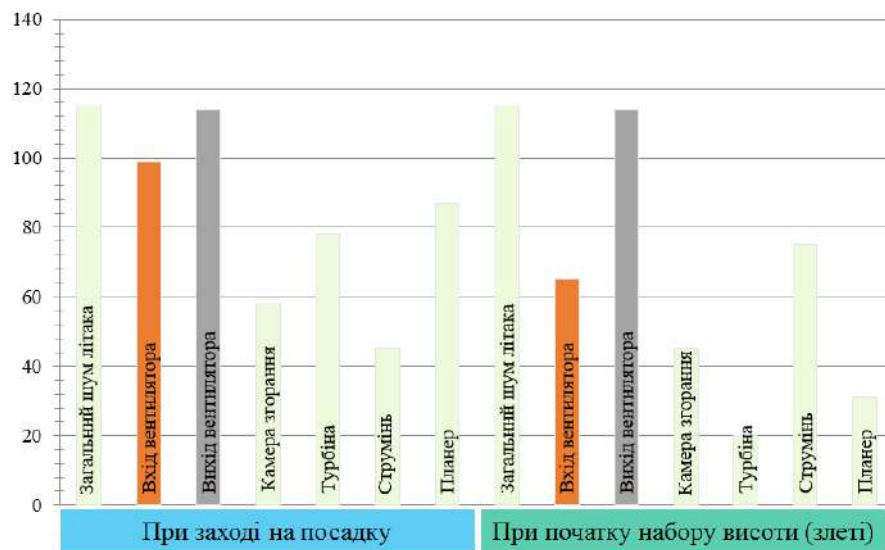


Рис.1 - Вклад элементов самолета в общий уровень шума.

Расчет данных характеристик производится в несколько этапов: подготовки геометрии проточной части, построения расчетной сетки, которая соответствует минимальным требованиям программы, выбора модели турбулентной вязкости, выбор акустической модели, определение исходных и граничных условий, собственно расчета и методики обработки результатов исследования [5, 6]. Данный алгоритм расчёта используется при каждой модификации геометрии ступени вентилятора.

Данная модель использует уравнение Лайтхилла,

$$q = \frac{1}{4\pi c_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_V \frac{T_{ij} dV}{r} + \frac{1}{4\pi c_0^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \int_S \frac{\rho u_i u_\eta + p_i}{r} dS + \frac{1}{4\pi c_0^2} \int_S \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_\eta) \frac{dS}{r}, \quad (1)$$

где T_{ij} - тензор напряжения, который представляет собой разницу между напряжением в потоке и напряжениями в однородной среде в состоянии спокойствия; p_i - величина аэродинамической нагрузки со стороны потока на плоскость S в направлении x_i ; u_η - составная скорость потока вблизи стенок.

Уравнение Лайтхилла, с использованием уравнений Навье-Стокса, позволяет определять характеристики шума потока [7].

Для определения широкополосного шума используют метод основанный на работе Праундмена для определения акустической мощности генерируемой изотонно турбулентностью без основного течения [8]

$$P_A = \alpha \rho_0 \left(\frac{u^3}{l} \right) \frac{u^5}{a_0^5}, \quad (2)$$

где u - турбулентная скорость; l - длина; a_0 - скорость звука; α - константа.

Определение акустической силы определяется с использованием зависимости:

$$L_p = 100 \log \left(\frac{P_A}{P_{ref}} \right), \quad (3)$$

где P_{ref} - эталонная акустическая мощность.

Использование данного подхода в среде ANSYS позволяет определять зоны шумообразования в расчетной области рис.2. [9]. Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод, что основными источниками шумового излучения являются кромочные сечения лопатки вентилятора. Источники шума вызваны срывным обтеканием профиля и образованием вихревых зон, которые загромаждают межлопаточный канал. Уменьшение или устранение данных зон возможно с помощью профилирования лопаток вентилятора.

Проверка адекватности результатов моделирования проводится их сравнением с данными эксперимента (см. таблицу 1) [10].

Таблица 1 - Сравнение результатов моделирования

Параметр	Эксперимент	Модель	Отклонение
$n_{вент}$, об/хв	2202	2202	0%
$G_{конт1}$, КГ/С	391,828	394,056	0,569%
$G_{конт2}$, КГ/С	58,49	58,7244	0,4%
$P_{1конт}$, Па	119200	116545	2,227%
$P_{2конт}$, Па	113700	111886	1,595%
$T_{1конт}$, К	305	301,252	1,229%
$T_{2конт}$, К	296,1	294,369	0,585%

Максимальное отклонение результатов моделирования от экспериментальных данных составляет не более 2,3%, что позволяет утверждать о адекватности и точности предложенной модели

Для сравнения эффективности влияния профилирования лопаток на снижение акустических характеристик вентилятора ТРДД предлагается ввести коэффициент шумообразования – ξ , который характеризует отношение объема вихревой зоны к объему проточной части:

$$\xi = \frac{V_{вз}}{V_{пч}}, \quad (4)$$

где $V_{вз}$ – объем вихревой зоны; $V_{пч}$ – объем проточной части.

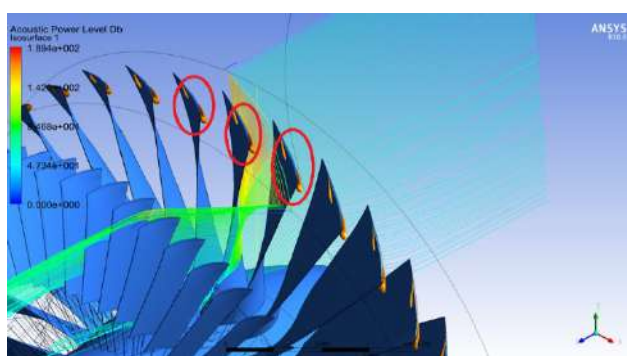


Рис. 2 – Источники акустического давления.

На рис. 3 показана зависимость изменения коэффициента шумообразования при максимальной и номинальной частоте вращения ротора.

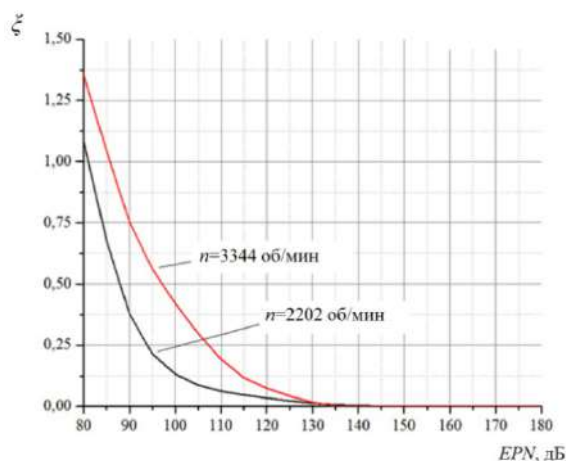


Рис. 3 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования при максимальной и номинальной частоте вращения ротора.

Модификация исходной лопатки вентилятора проводится изменением наклона кромочного сечения в направлении входа и выхода вентилятора, а также его поворота. Такая модификация может позволить уменьшить уровень шума, генерируемого лопаткой (рис. 4) [11,12].

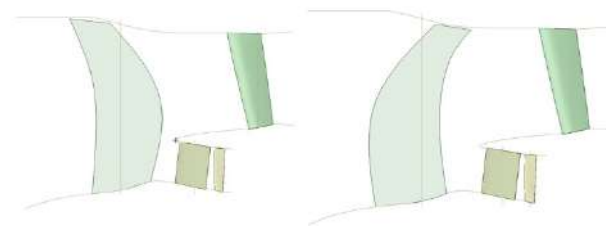


Рис.4 – Наклон сечения относительно центральной оси лопатки.

Модифицированные лопатки профилируются поворотом кромочного сечения на 5 градусов в обе стороны (рис. 5).



Рис. 5 - Схема поворота кромочного сечения лопатки

Обсуждение результатов

Зависимости коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки, наклоненной на 5 градусов в направлении выходного сечения и поворотом кромочного сечения на 5 градусов в обе стороны приведены на рис.6. Из приведенных зависимостей видно, что наиболее эффективным является модифицированная лопатка с поворотом на +5 градусов.

Зависимости коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки, наклоненной на 2,5 градусов в направлении выходного сечения и поворотом кромочного сечения на 5 градусов в обе стороны приведены на рис.7. Из приведенных зависимостей видно, что эффективным является модифицированная лопатка с поворотом кромочного сечения на +5 градусов и без его поворота.

Зависимости коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки, наклоненной на 2,5 градуса в направлении входного сечения и поворотом кромочного сечения на 5 градусов в обе стороны приведены на рис.8. Из приведенных зависимостей видно, что наиболее эффективным является модифицированная лопатка с поворотом на +5 градусов.

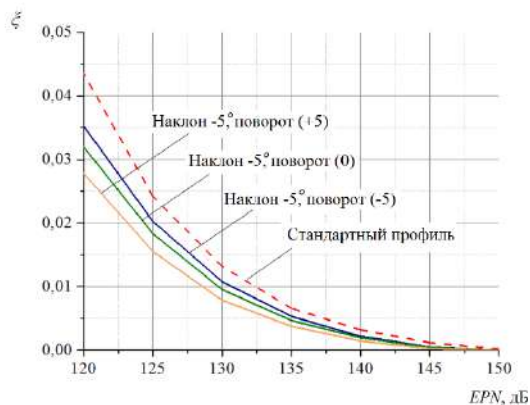


Рис. 6 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки наклоненной на -5° при частоте вращения 2202 об/мин.

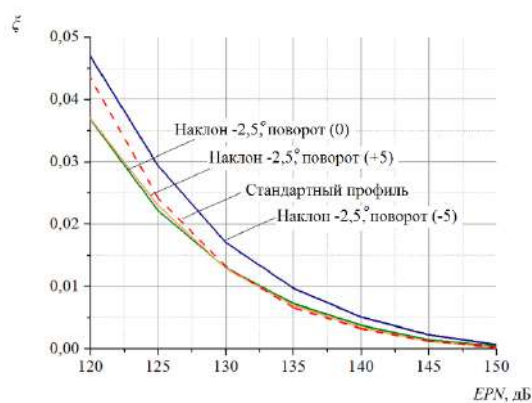


Рис. 7 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки наклоненной на $-2,5^\circ$ при частоте вращения 2202 об/мин.

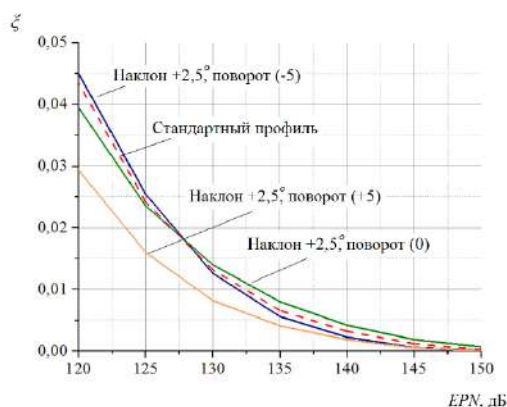


Рис. 8 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки наклоненной на $+2,5^\circ$ при частоте вращения 2202 об/мин.

Зависимости коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки, наклоненной на 5 градусов в направлении входного сечения и поворотом кромочного сечения на 5 градусов приведены на рис.9. Из приведенных зависимостей видно, что наиболее эффективным является модифицированная лопатка без поворота.

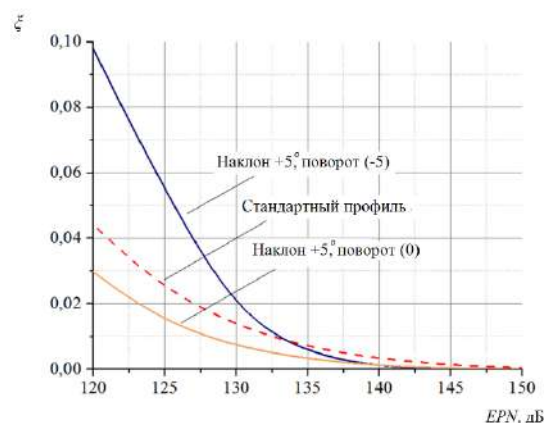


Рис. 9 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированной лопатки наклоненной на $+5^\circ$ при частоте вращения 2202 об/мин.

Анализ приведённых зависимостей (рис. 6-9.) показывает, что наименьший уровень коэффициента шумообразования, имеют модифицированные лопатки вентилятора, наклоненные на 5 градусов. Для сравнения все модифицированные лопатки с наилучшими показателями коэффициента шумообразования приведены на рис.10.

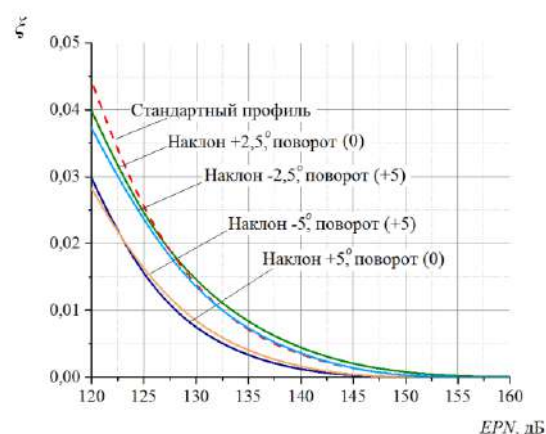


Рис. 10 – Зависимость изменения коэффициента шумообразования от акустического давления для модифицированных лопаток с наилучшими показателями.

Модифицированный профиль наклоненный на 5 градусов в направлении к входному сечению, имеет наилучшие показатели в сравнении с остальными. Для получения полной характеристики рассчитан КПД каждой модификации рис. 11. Исходя из полученных данных более эффективным также является профиль, наклоненный на 5 градусов в сторону входного сечения.

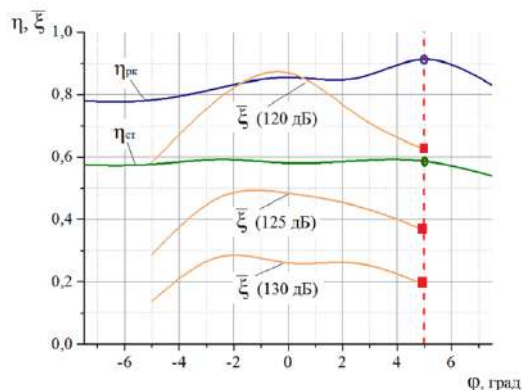


Рис. 11 – Зависимость изменение КПД ступени и рабочего колеса для модифицированных лопаток с частотой вращения ротора 2202 об/мин.

Выводы

Предложенная методика позволяет количественно оценивать влияние режима работы и геометрии ступени на акустические характеристики с помощью коэффициента шумообразования.

Список литературы

- Халецкий, Ю. Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации / Ю. Д. Халецкий. // *Двигатель. Научно-технический журнал*. – 2014. – С. 8–11.
- Халецкий, Ю. Д. Экологические проблемы авиации / Ю. Д. Халецкий. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 504 с.
- Мунин, А. Г. Авиационная акустика: В 2-х ч. Ч. 1. Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов / А. Г. Мунин, В. Ф. Самохин, Р. А. Шипов та ін. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с..
- Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М.: –ДМК Пресс, 2014 – 640с.
- Кисляк, М. І. Исследование влияния параметров сетки на результаты CFD — расчётов ступени вентилятора ТРДД / М. І. Кисляк, В. В. Комаров, М. М. Мітрахович // *Технологические системы*. – 2016. – №3 (76). – С. 60–68. – с. 68.
- Мітрахович, М. М. Визначення раціональної моделі турбулентності для отримання характеристик ступені вентилятора осьового компресора газотурбінного двигуна з використанням програмного комплексу ANSYS / М. М. Мітрахович, М. І. Кисляк, В. В. Комаров // *Технологические системы*. – 2015. – №3 (72). – С.62–67.
- Lighthill, M. J. On Sound Generated Aerodynamically I. General Theory / M. J. Lighthill // *Proc. R. Soc. Lond.* – 1952. – A211. – p. 564–587.

- Horváth, C. Broadband noise source model acoustical investigation on unskewed and skewed axial flow fan rotor cascades / C. Horváth, J. Vad // *14th International Conference on Fluid Flow Technologies*. – 2009. – pp. 682–689.
- Proudman, I. The Generation of Noise by Isotropic Turbulence / I. Proudman // *Proc. Roy. Soc.* – 1952. – A:214:119. – 119–125.
- Результаты акустических измерений шума двигателя Д18Т25 с элементами шумоглушения и смещенными дисками турбины вентилятора на ОС-1: Техническая справка / ДП "Івченко Прогрес"; рук. Мартыненко Л.И.; исполн. Попуга А.И., Запорожье – 2005. – 14 с. - Т/с № 243/2005-18Т.
- Carolus, T. An aerodynamic design methodology for low pressure axial fans with integrated airfoil polar prediction / T. Carolus, R. Starzmann // *Proceedings of the ASME Turbo Expo*. – 2011. – Vancouver, Canada.
- Bamberger, K. Optimization of axial fans with highly swept blades with respect to losses and noise reduction / K. Bamberger, T. Carolus // *Proceedings of the Fan2012*, Senlis, France, 2012.

Bibliography (transliterated)

- Khaletsky, Y. D. ICAO: a new standard for the noise of civil aviation aircraft. *The engine. Scientific and technical journal*. 2014, 2 (92), 8–11.
- Khaletsky, Y. D. Environmental problems of aviation. M.: TORUS PRESS, 2010. 504 p.
- Munin, A. G., Samohin, V. F., Shipov, R. A. та in. Aeronautical acoustics: In 2 parts Part 1. Noise in the area of subsonic passenger aircraft and helicopters. M.: Mashinostroenie, 1986. 248 p.
- Basov, K. A. ANSYS: Spravochnik polzovatelya. M.: DMK Press, 2014. 640.
- Kislyak, M. I., Komarov, V. V., Mitrahovich, M. M. Research of influence the mesh parameters for results CFD — calculation of fan stage turbofan. *Tehnologicheskie sistemy*. 2016, №3 (76), 60–68.
- Mitrakhovich, M. M., Kislyak, M. I., Komarov, V. V. Determination of rational model of turbulence for fan characterize the degree of axial compressor gas turbine engine using ANSYS software complex. *Tehnologicheskie sistemy*. 2015, №3 (72), 62–67.
- Lighthill, M. J. On Sound Generated Aerodynamically I. General Theory. *Proc. R. Soc. Lond.* 1952, A211, 564–587.
- Horváth, C., Vad, J. Broadband noise source model acoustical investigation on unskewed and skewed axial flow fan rotor cascades. *14th International Conference on Fluid Flow Technologies*. 2009, 682–689.
- Proudman, I. The Generation of Noise by Isotropic Turbulence. *Proc. Roy. Soc.* 1952, A 214:119, 119–125.
- Results of acoustic measurements of engine noise D18T25 with noise attenuation elements and displaced turbine blades on the OS-1 [Text]: Technical reference / DP "Ivchenko Progres"; head L.I. Martynenko performer A.I. Popuga // Zaporozhye, 2005, 14 with, T / c № 243 / 2005-18T.
- Carolus, T., Starzmann, R. An aerodynamic design methodology for low pressure axial fans with integrated airfoil polar prediction. *Proceedings of the ASME Turbo Expo*. 2011, Vancouver, Canada.
- Bamberger, K., Carolus, T. Optimization of axial fans with highly swept blades with respect to losses and noise reduction *Proceedings of the Fan2012*, Senlis, France, 2012.

Сведения об авторах (About authors)

Кисляк Михаил Иванович - аспирант кафедры авиационных двигателей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, e-mail: kislyak_nau@ukr.net.

Kislyak Mikhail Ivanovich - postgraduate student of the Aviation Engines Department, National Aviation University, Kiev, Ukraine, e-mail: kislyak_nau@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кисляк, М. И. Методика количественной оценки акустических характеристик ступени вентилятора / **М. И. Кисляк** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 133-138. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.21.

Please cite this article as:

Kislyak, M. I. Method of quantitative estimation of acoustic characteristics of the fan stage. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 133–138, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.21.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кисляк, М. І. Методика кількісної оцінки акустичних характеристик ступені вентилятора / **М. І. Кисляк** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017– № 32 (1254). – С. 133-138. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.21.

АНОТАЦІЯ Сучасне двигунобудування тісно пов'язано з екологічними параметрами двигунів, що дозволяє їх розробникам бути конкурентоспроможними на світовому ринку. Одним із напрямів удосконалення пасажирських літаків є розробка способів зменшення шуму силової установки шляхом вибору раціональних напрямків зниження шуму з використанням моделювання впливу конструктивних елементів вентилятора, як основного джерела шуму двигуна. Для кількісної оцінки впливу геометрії конструктивних елементів вентилятора пропонується методика оцінки акустичних характеристик ступені вентилятора за допомогою коефіцієнта шумоутворення.

Ключові слова: ТРДД; двигун; вентилятор; моделювання; лопатка; шум.

Поступила (received) 08.09.2017

УДК 666.0

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.22

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛОМАТРИЦІ ОПТИЧНОГО КОЛЬОРОВОГО СКЛА ДЛЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО ФІЛЬТРУ

Д. В. ПЕТРОВ^{1*}, Л. Л. БРАГІНА², С. В. ФІЛОНЕНКО¹

¹ Державне підприємство «Ізюмський приладобудівний завод», Ізюм, УКРАЇНА

² Кафедра технологій кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

*email: petrovdmity@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто сучасний стан виробництва безкольорових та кольорових оптичних стекол для оптико-електронних систем ОЕС. Показана актуальність створення вітчизняного інфрачервоного скла для використання його як інтерференційного фільтру в ОЕС приладів оборонної галузі. Встановлено фактори, що відповідають за забезпечення повного поглинання у ультрафіолетовій та видимій частинах спектру та максимальне пропускання такого скла при довжині хвилі 1060 нм. Наведені результати досліджень зі створення скломатриць інфрачервоних стекол з вказаними характеристиками, високою якістю виробів з них та з відпрацювання технологічних параметрів їх одержання.

Ключові слова: оптичне скло; інфрачервоне оптичне скло; спектральні характеристики; інтерференційний фільтр; оптико-електронні системи; інфрачервоний спектр; коефіцієнт пропускання.

INVESTIGATION OF THE GLASS MATRIX SPECTRAL PROPERTIES OF THE OPTICAL COLOR GLASS FOR INTERFERENCE FILTER

D. PETROV¹, L. BRAGINA², S. PHILONENKO¹

¹ State Development «Izyum's Instrument-Making Plant», Izyum, UKRAINE

² Department of Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The current state of colorless and colored optical glasses production for optoelectronic systems is considered. The actuality of creating domestic infrared glass for use as an interference filter in optoelectronic systems of defense detachments is shown. The aim of the work is to create a glass matrix of infrared optical glass with an intrinsic refractive index $\tau = 90\%$ at a wavelength $\lambda = 1060 \pm 20$ nm. In work the standard methods of spectral analysis, the determination of the number and size of bubbles and fibrils in glass are used. The experimental glass compositions were melted in an electric furnace with silicon carbide heaters. The factors responsible for providing full absorption in the UV and visible parts of the spectrum and maximum transmission at a wavelength of 1060 nm are established. The results of studies on the development of infrared glasses with these characteristics and high quality of the products from them are worked out. The possibility of creating a boron-containing and aluminium-containing technological and cost-effective glass matrix with a refractive index of $\tau = 91.5\%$ and $\tau = 92.8\%$, respectively, at a wavelength $\lambda = 1060 \pm 20$ nm is established. The technological parameters of their production have been worked out. All this is the basis for the development of domestic optical colored infrared glass of a new generation, which will act as an interference filter in optoelectronic systems.

Key words: optical glass; infrared optical glass; spectral characteristics; interference filter; optoelectronic devices; infrared spectrum; transmission coefficient.

Вступ

Однією з вузькогалузевих та специфічних наукових тематик на сьогоднішній день є розробка складів та технології безкольорових та кольорових оптичних стекол. До їх властивостей, зокрема спектральних характеристик, та якості й властивостей виробів з них: однорідності, звельності, пузирності, - на відміну від листових, тарних, архітектурно-будівельних та інших промислових стекол, висуваються значно більш жорсткі вимоги [1].

Окрім того, особливістю оптичного скловиробництва є обмежений інформаційний доступ, обумовлений тим, що один з провідних напрямків

використання цього скла це військово-оборонна галузь. Її розвиток значною мірою залежить від рівня технічного оснащення приладобудування, у якому суттєву роль відіграє стан оптичного скловиробництва, особливо при створенні оптико-електронних приладів [2].

Сьогодні на стрімку еволюцію електронних систем спрямовані зусилля багатьох науково-дослідних та освітніх світових закладів. Для вдосконалення сучасних оптико-електронних приладів, особливо задіяних у оборонній галузі, поряд з електронною складовою, схемотехнікою, комп'ютерною інженерією, необхідно інтенсивно розвивати технологію оптичного скловиробництва. При

цьому одним з важливих питань приладобудування є створення оптичного інфрачервоного скла, яке виконуватиме роль інтерференційного фільтру у оптико-електронних системах (ОЕС) приладів оборонної галузі. Головною умовою їх повноцінної роботи є забезпечення певних спектральних характеристик такого скла: повне поглинання в ультрафіолетовій й видимій областях спектру та крутий підйом кривої $\tau=f(\lambda)$ з максимальним пропусканням τ при довжині хвилі $\lambda=1060$ нм [3].

Ці вимоги визначаються роботою систем наведення на вказаній довжині хвилі у зв'язку з використанням активного елементу – лазерного скла ГЛС, що містить неодим, з генерацією випромінювання, яке забезпечує передачу сигналу до приймача на $\lambda=1060$ нм (далі точка λ_1) [4]. Інтерференційний фільтр повинен пропускати лише випромінювання активного елементу передатчика, фільтруючи при цьому всі інші довжини хвиль. На даний момент жодне оптичне скло в повному обсязі не відповідає наведеним вище вимогам, а саме: τ в точці λ_1 від 70 % та вище. Вітчизняні оптичні стекла мають пропускання в точці λ_1 близько 52 % при товщині 2,5 мм. При цьому в діапазоні 850-1020 нм вони мають пропускання від 2 до 25 %, що є небажаним для ОЕС, оскільки передача сигналу в указаному діапазоні погіршує точність системи на 15 %. Збільшення концентрації барвників призведе до зростання поглинання у діапазоні 850-1020 нм, але зменшить пропускання в точці $\lambda_1=1060$ нм. Тому актуальною проблемою є створення інфрачервоного оптичного скла, яке б до 1020 нм мало повне поглинання, а в точці λ_1 – пікове значення більше 70 %.

Мета роботи

Одним з головних чинників, що впливають на поведінку спектральної кривої $\tau=f(\lambda)$, є барвники. Саме завдяки їм оптичне кольорове скло набуває свого цільового призначення, у даному випадку виконання ролі інфрачервоного фільтру. При створенні такого оптичного кольорового скла необхідно враховувати спектральні характеристики самої оптичної основи – скломатриці. Якщо в точці 1060 ± 20 нм вона не буде прозорою, тобто пропускання буде менше ніж 90%, додавання барвників не підвищить цей показник, який як мінімум залишиться на тому ж рівні, як максимум – додасть своє поглинання та погіршить коефіцієнт пропускання [5,6]. Тому мета даної роботи полягала у створенні скломатриці інфрачервоного оптичного скла, яка б мала власний показник пропускання $\tau=90\%$ у точці 1060 ± 20 нм. Для досягнення цієї мети необхідним було вирішити наступні завдання: здійснити вибір складу вихідних стеклов, провести їх варку та виконати дослідження впливу певних хімічних компонентів на спектральні й технологічні характеристики модельних стеклов.

Експериментальна частина

Синтез скломатриць здійснювали у керамічних тиглях в лабораторній печі з електричними нагрівачами. Заміри температури камери печі проводили з використанням термопар типу ТПР.

Вимірювання спектральних характеристик проводили на атестованому приладі спектрофотометрії СФ-26, згідно ГОСТ 3520-92.

Кількість та розміри пузирів заміряли на установці визначення пузирів за ГОСТ 3522-81.

Оцінку звельності здійснювалася за тінювою картиною на проекційній установці, згідно ГОСТ 3521-81.

Для проведення синтезу модельних стеклов використовували сировинні матеріали марки ос. ч..

Результати та їх обговорення

Від вибору складу вихідної скломатриці суттєво залежать оптичні характеристики скла та характер дії барвників на них. До скломатриці висуваються наступні вимоги: характер спектральної кривої, який би початково задовольняв поставлений меті; технологічність та економічна доцільність.

Показник пропускання. Оптична матриця повинна сама мати високе пропускання (90-98%) в діапазоні 1040-1080 нм. Невід'ємна характеристика поглинання оптичного скла залежить від довжини хвилі, товщини зразку та складу оптичного скла. Оскільки поглинання в УФ та видимій областях повинно досягатися системою барвників, то головна задача скломатриці – забезпечення необхідного пропускання в ІЧ області.

Результати попередніх досліджень з визначення показників пропускання різних груп оптичних безкольорових стеклов в області спектру 300-1500 нм, виконаних провідним оптичним інститутом ГОІ сумісно з ІПЗ та відображених у РТМ 3-995-77, свідчать, що переважна більшість таких стеклов має схожі спектральні характеристики. Початок їх пропускання відповідає $\lambda=300-340$ нм. Також в залежності від чистоти сировинних матеріалів та товщини зразку має місце різний рівень пропускання в видимій частині спектру. Спектральна крива в інфрачервоній зоні майже для всіх стеклов має тенденцію до спаду.

У зв'язку з необхідністю створення скломатриці з найвищим пропусканням у діапазоні 1040-1080 нм як вихідні були обрані матриці оксидних стеклов ІЧС-5 та ІЧС-7 [7]. Хоча для відомих безкисневих оптичних стеклов марки ІЧС [8] та близьких до них за властивостями закордонних халькогенідних стеклов [9], що мають значення τ близько 50% в точці λ_1 , за допомогою термічної наводки можна отримати крутий підйом спектральної кривої з точки 1020 нм, їх широке використання унеможливлено суттєвими технологічними складнощами та дуже значною вартістю.

Безпосереднє використання обраних марок стекел ІЧС-5 та ІЧС-7 обмежується наступним. Хоча скло ІЧС-5 має високий коефіцієнт пропускання в точці 1060 нм, однак зміщення початку підйому кривої $\tau=f(\lambda)$ у видиму область спектру не задовольняє вимогам роботи ОЕС. Збільшення поглинання у згаданій частині може досягнути нанесенням багатошарових покриттів, але це призведе до багаторазового зростання вартості та зменшення τ у вказаній вище частині спектральної кривої. Окрім того, завдяки початку підйому спектральної кривої з 810 нм пік пропускання після нанесення покриттів зсувається до точки 1010 нм. Лівіша ж частина спектру має небажано високе пропускання.

Перевагою скла ІЧС-7 є його майже повне поглинання у діапазоні до 1000 нм. Однак коефіцієнт пропускання в інфрачервоній зоні і, більш конкретно, у точці 1060 нм не перевищує 42%. Тому на цій ділянці сигнал передавача буде вловлюватися в неповному обсязі, що не забезпечить стабільну роботу ОЕС.

При розробці складу нового оптичного інфрачервоного скла урахували наведені дані, а також парціальний вплив на τ компонентів скломатриць стекел ІЧС-5 та ІЧС-7, хімічний склад яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад матриць стекел марок ІЧС

Оксидний склад скломатриць	Масова доля компоненту, %, у стеклах марок:	
	ІЧС-5	ІЧС-7
SiO ₂	61-68	62-69
PbO	10-18	9-16
K ₂ O	8-13	9-15
Na ₂ O	2-8	1-6
B ₂ O ₃	0-3	-
ZnO	-	0-2

Для обґрунтування присутності тих чи інших компонентів у складі основної шихтної суміші, необхідно знати вплив оксидів на необхідні спектральні властивості. При дослідженні залежності оптичних характеристик матриці від її складових було виявлено, що високе пропускання притаманне SiO₂, B₂O₃, та P₂O₅. Стекла, в яких присутні ці оксиди, при товщині в декілька міліметрів мають область пропускання зі значенням $\tau=89-97\%$ від 180 до 2000 ~ 4000 нм в залежності від наявності груп -ОН. Na₂O, K₂O, BaO, а також ZnO знижують пропускання в УФ-та ІЧ-областях на 5-11%. CaO та MgO мають значне поглинання в УФ-спектрі: близько 28%. Al₂O₃ підвищує пропускання в ІЧ-області на 3-5%, але погіршує його в УФ на 10%. Суттєве зниження пропускання на 11% в УФ-області, але не в ІЧ, обумовлюють PbO та Sb₂O [10]. Але необхідно підкреслити, що ці дослідження вірні у випадку

використання сировинних компонентів марок ос. ч., оскільки наявність домішок сильно впливатиме на показник пропускання [11,12].

Ретельний аналіз впливу компонентів скломатриць оптичних стекел марок ІЧС-5 та ІЧС-7 на їх спектральні характеристики показав наступне.

Використання SiO₂, B₂O₃ та PbO не суперечить поставленому завданню: підвищенню пропускання в інфрачервоній зоні. Максимальна границя пропускання – 2000 нм. Na₂O та K₂O погіршують пропускання в інфрачервоній зоні, але у скломасі вони відіграють важливу роль плавнів. Зниження їх концентрації суттєво підвищує температуру варки, що, окрім зростання витрат енергоносіїв, а отже й собівартості скла, ускладнює стабільність протікання фізико-хімічних процесів склоутворення. Конструктивні та технічні параметри теплових агрегатів обмежують температуру виробничої варки 1600 °C [13,14]. Присутність ZnO у складі скломатриць ІЧС-7 обумовлює низький коефіцієнт лінійного розширення, що підвищує термічну та хімічну стійкість та коефіцієнт заломлення [15]. Але ZnO погіршує пропускання в інфрачервоній зоні. Тому є сенс замінити його на B₂O₃ або на Al₂O₃.

Проведено синтез модельних стекел з вказаними оксидами. Для встановлення різниці у модельному ряді матриць виконано їх спектральний аналіз (рис. 1). Виявлено, що 2% ZnO погіршує пропускання в точці λ_1 , порівняно з B₂O₃ та Al₂O₃. Пропускання в ній складо: при вмісті 2% ZnO – 81%; 2% B₂O₃ – 91,5%; 2% Al₂O₃ – 92,8%.

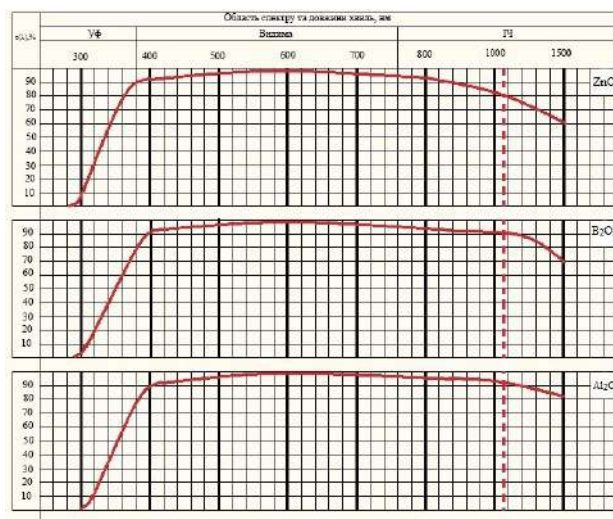


Рис. 1 – Спектральні характеристики оптичної матриці в залежності від наявності ZnO, B₂O₃ та Al₂O₃

Технологічність та економічна доцільність. Окрім оптичних властивостей, які б відповідали кінцевим вимогам для стабільної роботи ОЕС, скломатриця повинна мати оптимальні технологічні параметри та мінімально можливу собівартість.

Технологічними параметрами вважаються: температура та тривалість варки, оскільки від них залежать витрати енергоносіїв, час роботи скловарів, чіткість проведення технологічних процесів; легкість у обробці. Також з цієї точки зору потрібно розглядати і складові компоненти шихти, оскільки вони також впливатимуть як на вартість, так і на технологічність [6].

Температура варки скломатриць різного хімічного складу була приблизно однаковою: від 1370 до 1380 °, чого було достатньо для повного розвару та виходу пазирів зі скломаси. Їх кількість у готовому блоці складала до 30 шт на 1 кг при розмірі 0,2 – 0,5 мм, що відповідало існуючим вимогам. Обрані для дослідження заготовки не мали звелів.

Заміна ZnO на технічний глинозем та борну кислоту для уведення відповідно оксидів алюмінію та бору, ціни яких наведено у табл. 2, дозволила суттєво знизити собівартість скломатриць.

Таблиця 2 – Ціна сировинних матеріалів

№	Сировина	Ціна без ПДВ, грн.
1	Цинку оксид	74,16
2	Технічний глинозем	17,64
3	Борна кислота	19,21

Таким чином, введення до 2% Al₂O₃ замість ZnO знижує собівартість 1т продукції на 1130,4 грн, 2% H₃BO₃ замість ZnO – на 1098,6 грн. Тому заміна ZnO на ці компоненти буде сприяти підвищенню рентабельності кінцевої продукції.

Висновки

Проведеними дослідженнями встановлена можливість створення скломатриці з показником пропускання $\tau=90\%$ у точці з довжиною хвилі $\lambda=1060 \pm 20$ нм, що є підставою для одержання вітчизняного оптичного інфрачервоного скла нового покоління, яке виконуватиме роль інтерференційного фільтру у оптико-електронних системах (ОЕС) приладів оборонної галузі.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку вказаного скла, що вміщуватиме барвники.

Список літератури

1. **Немилов, С. В.** Оптическое материаловедение: Оптическое стекло: учебн. пособие / **С. В. Немилов.** – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 175 с.
2. **Парвулюсов, Ю. Б.** Проектирование оптико-электронных приборов / **Ю. Б. Парвулюсов, С. А. Родионов, В. П. Солдатов, А. А. Шехонин [и др.]**. – М.: Логос, 2000. – 488 с.
3. **Айхлер, Ю.** Лазеры. Исполнение, управление, применение: [пер. с немецкого Л. Н. Казанцевой] / **Ю. Айхлер, Г. Айхлер.** – М.: Техносфера, 2008. – 440 с.
4. **Denker, B.** Handbook of solid-state lasers. Materials, systems and applications / **B. Denker, E. Shklovsky**

- Cambridge: Wood Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 35. – 2013. – 660 p.
5. **Ross, C. Ph.** Glass Melting Technology: A Technical and Economic Assessment/ **C. Ph. Ross, G. L. Tinch.** – Westerville: Glass Manufactory Industry Council, 2004. – 274 p.
6. **Shelby, J. E.** Introduction to Glass Science and Technology / **J. E. Shelby.** – New York: The royal society of chemistry, 2003. – 288 p.
7. Цветное оптическое стекло. Каталог. – Изюм: Изюмский казенный приборостроительный завод, 2009 г. – 126 с.
8. **Зверев, В. А.** Оптические материалы. Часть 2 / **В. А. Зверев, Е. В. Кривоустова, Т. В. Точилина.** – СПб.: ИТМО, 2013. – 248 с.
9. **Hilton, A. R.** Chalcogenide glasses for infrared optics / **A. Ray Hilton, Sr.** – Texas: The Mc Graw Hill, 2010. – 279 p.
10. **Hartmann, P.** Optical Glass / **P. Hartmann.** – Bellingham: SPIE, 2014. – 180 p.
11. **Hartmann, P.** Optical glass and glass ceramic historical aspects and recent developments: A Schott view / **P. Hartmann, R. Jedamzik, S. Reichel, B. Schreder** // *Applied Optics.* – 2010. – Vol. 49, No. 16. – P. D 157 – D 176. – doi: 10.1364/AO.49.00D157.
12. **Bamford, C. R.** Colour generation and control in glass / **C. R. Bamford.** – Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publ., 1977. – 264 p.
13. **Петров, Д. В.** Особливості виробництва оптичного високотемпературного скла у горшкових регенераторних печах. Тези доповідей III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні тенденції розвитку і виробництва силікатних матеріалів» / **Д. В. Петров, Л. Л. Брагіна, С. В. Філоненко.** – Львів: Растр-7, 2016. – С. 23.
14. **Yaitskiy, S.** Analysis of the Bacor Refractories after their Service in Glass Furnace / **S. Yaitskiy, L. Bragina, Y. Sobol** // *Chemistry & Chemical Technology.* – 2017. – Vol. 10, No.3 – P.373 - 377. – doi: 10.23939/chcht10.03.373.
15. **Savvova, O.** Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements / **O. Savvova, L. Bragina, G. Voronov, Y. Sobol, O. Babich, O. Shalygina, M. Kuriakin** // *Chemistry & Chemical Technology.* – 2017. – Vol. 11, No.2 – P.214-219. – doi 10.23939/chcht11.02.214.

Bibliography (transliterated)

1. **Nemilov, S. V.** Opticheskoe materialovedenie: Opticheskoe steklo: uchebn. posobie. – Spb: SPbU ITMO, 2011, 175p.
2. **Parvulyusov, Y. B., Rodionov, S. A., Soldatov, V. P.** Proektirovanie optiko-elektronnih priborov, M.: Logos, 2000, 488.
3. **Aihler, Y., Aihler, H.** Lasery. Ispolnenie, upravlenie, primeneniye. – M.: Tehnosfera, 2008, 440.
4. **Denker, B., Shklovsky, E.** Handbook of solid-state lasers. Materials, systems and applications Cambridge: Wood Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 35. – 2013, 660.
5. **Ross, C. Ph., Tinch., G. L.** Glass Melting Teghnology: A Technical and Economic Assessment, Westerville: Glass Manufactory Industry Council, 2004, 274.
6. **Shelby, J. E.** Introduction to Glass Science and Technology, New York: The royal society of chemistry, 2003, 288.
7. **Zvetnoe opticheskoe steklo.** Katalog. – Izyum: IKPZ, 2009, 126.
8. **Zverev, V. A., Krivopustova, E. V., Tochilina, T. V.** Opticheskie materiali. Part 2, SPb.: ITMO, 2013, 248.

9. **Hilton, A. R.** Chalcogenide glasses for infrared optics, Texas: The Mc Graw Hill, 2010, 279.
10. **Hartmann, P.** Optical Glass Bellingham: SPIE, 2014. 180.
11. **Hartmann, P., Jedamzik, R., Reichel, S., Schreder, B.** Optical glass and glass ceramic historical aspects and recent developments: A Schott view // *Applied Optics*. 2010, **49** (16), D 157 – D 176, doi: 10.1364/AO.49.00D157.
12. **Bamford, C. R.** Colour generation and control in glass, Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publ., 1977, 264.
13. **Petrov, D. V., Bragina, L. L., Philonenko, S. V.** Osoblivosti virobnitstva optichnogo visokotemperaturnogo skla u gorshkovij regeneratormih pichah [Manufactory Feature of the Optical High-Temperature Glass in the Regenerative Furnaces], *Tezi dopovidei III Vseukrains'koi naukovo-tehnichnoi konferencii "Suchasni tendencii rozvitky I virobnitstva silikatnih materialiv"* Lviv: Rastr-7, 2016, 23.
14. **Yaitskiy, S., Bragina, L., Sobol V.** Analysis of the Bacor Refractories after their Service in Glass Furnace, *Chemistry & Chemical Technology* .2017, **10**(3),373 - 377. – doi: 10.23939/chcht10.03.373.
15. **Savvova, O., Bragina, L., Voronov, G., Sobol, Y., Babich, O., Shalygina, O., Kuriakin, M.** Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements, *Chemistry & Chemical Technology* , 2017, **11**, (2),214-219. – doi: 10.23939/chcht11.02.214.

Відомості про авторів (About authors)

Петров Дмитро Вікторович – Інженер відділу головного метролога, Державне підприємство «Ізюмський приладобудівний завод», Ізюм, Україна; e-mail: petrovdmitry@ukr.net.

Dmitry Petrov – Engineer of a Chief Metrologist's Departmen, State Enterprise «Izyum's Instrument-Making Plant», Izyum, Ukraine; e-mail: petrovdmitry@ukr.net.

Брагіна Людмила Лазарівна – Доктор технічних наук, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; e-mail: bragina_l@ukr.net.

Liudmyla Bragina– Dr. Sci, Professor of Department of Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: bragina_l@ukr.net.

Філоненко Сергій Вікторович – Директор підприємства, Державне підприємство «Ізюмський приладобудівний завод», Ізюм, Україна; e-mail: ipz@ipz.com.ua.

Sergey Philonenko – Director of Enterprise, State Enterprise «Izyum's Instrument-Making Plant», Izyum, Ukraine; e-mail: ipz@ipz.com.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Петров, Д. В. Дослідження спектральних властивостей скломатриці оптичного кольорового скла для інтерференційного фільтру / **Д. В. Петров, Л. Л. Брагіна, С. В. Філоненко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 139-143. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.22.

Please cite this article as:

Petrov, D., Bragina, L., Philonenko, S. Investigation of spectral properties of the glass matrix of the optical color glass for1 interference filter. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 139–143, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.22.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Петров, Д. В. Исследование спектральных характеристик стекломатрицы оптического цветного стекла для интерференционных фильтров / **Д. В. Петров, Л. Л. Брагіна, С. В. Філоненко** // *Вестник НТУ «ХПІ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 139-143. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.22.

АННОТАЦІЯ Рассмотрено современное состояние производства бесцветных и окрашенных оптических стекол для оптико-электронных систем ОЭС. Показана актуальность создания отечественного инфракрасного стекла для использования в качестве интерференционного фильтра в ОЭС приборов оборонной отрасли. Установлены факторы, отвечающие за обеспечение полного поглощения в УФ и видимой частях спектра и максимальное пропускание при длине волны 1060 нм. Приведены результаты исследований по разработке матриц инфракрасных стекол с такими характеристиками и высоким качеством изделий из них. Отработаны технологические параметры их получения. **Ключевые слова:** оптическое стекловарение; инфракрасное оптическое стекло; спектральные характеристики; интерференционный фильтр; оптико-электронные приборы; инфракрасный спектр; коэффициент пропускания.

Поступила (received) 10.09.2017

УДК 681.5

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

**В.М. ТОНКОНОГИЙ¹, Ю.Г. ПАЛЕННЫЙ^{2*}, В.П. ГУГНИН²,
А. М. ГОЛОБОРОДЬКО²**¹ директор института промышленных технологий, Одесский политехнический университет, Одесса, УКРАИНА² кафедра металлорежущих станков, метеорологии и сертификации, Одесский политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*email: yuripalenny@gmail.com

АННОТАЦИЯ Рассмотрены проблемы применения магнитных датчиков виброперемещений в связи с ограничениями, связанными с материалом объекта измерений. Определены факторы, влияющие на магнитные свойства сталей. Показаны ограничения метода измерения виброперемещений магнитными датчиками связанные с величиной и вектором напряженности магнитного поля, индукцией насыщения, обратной магнитострикцией, магнитной вязкостью и температурой объекта измерений. Определены меры, которые способствуют снижению влияния перечисленных факторов на погрешность измерений.

Ключевые слова: измерение магнитными датчиками; ограничения; погрешность измерений.

APPLICATION CONDITIONS OF MAGNETIC VIBRATION SENSORS

V.M. TONKONOGIY¹, YU.G. PALENNYY², V.P. GUGNIN², G.M. GOLOBORODKO²¹ director of the Institute of Industrial Technologies, Odessa Polytechnic University, Odessa, UKRAINE² department of Metal-cutting Machine Tools, Meteorology and Certification, Odessa Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The problems of using magnetic sensors for vibrational displacements in connection with the constraints associated with the material of the measurement object were considered. The factors were determined that influencing for: the magnetic properties of steel; the content of carbon and alloying elements; the structure of metals and the heat treatment scheme; the magnitude and vector of the magnetic field intensity; saturation induction, the Villari effect (inverse magnetostriction); the dynamic magnetic permeability and the magnetic viscosity. It is shown that the properties of steel do not change during the measurement, therefore, the influence of the composition of steel and its structure can be taken into account when calibrating the measuring system. In the same way, during of the measurements the dependence of the relative magnetic permeability on the intensity of the magnetic field does not change. It is shown that during measurements the induction caused by the sensor magnet is substantially lower than the induction of saturation of the magnetic field of the measurement object. The effect of reverse magnetostriction for structural and tool steels is negligibly small, and its value does not exceed of the sensitivity of the measuring system used during the measurements. The results of the experimental evaluation of the magnetic viscosity of steel 45 and carbon steel U10 are presented. It is shown that the rotation of the object during the measurements promotes its demagnetization. However, for high-carbon steels, it is advisable to demagnetize the object before taking measurements. It is shown that the magnetic properties of structural steel slightly change when the temperature is raised higher of 400 °C. Conclusions are drawn about the need to calibrate the measuring system when tuning it, demagnetizing the measurement object at the beginning of each measurement cycle, and limiting the temperature of the measurement object no higher than 400 °C.

Key words: measurement by the magnetic sensors; restrictions; measurement error.

Вступлення

В настоящее время для измерения параметров вибрации широко используют бесконтактные методы измерений. Бесконтактные методы измерений предполагают взаимодействие датчика вибрации с объектом измерений посредством электромагнитных, квазистатических электрических или магнитных полей. При взаимодействии датчика с объектом измерений посредством квазистатических магнитных полей существенное влияние на результаты измерений будут оказывать магнитные свойства объекта измерений.

В статьях [1-4] описан магнитный датчик измерения виброперемещений вращающихся

объектов измерений. Магнитный датчик разработан для контроля виброперемещений роторной борштанги. Для оценки границ применимости метода измерений с помощью описанного магнитного датчика рассмотрено влияние магнитных свойств материалов на результаты измерений.

В результате анализа литературных источников установлено, что достаточно хорошо изучены магнитные свойства электротехнических сталей. Из электротехнических сталей изготавливают сердечники трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле, электродвигателей [5]. Для придания электротехническим сталям специальных свойств их легируют, подвергают специальной термической обработке [6]. Магнитные свойства

электротехнических сталей нормируются соответствующими стандартами [7].

Магнитные свойства конструкционных и инструментальных сталей учитываются при оценке влияния магнитных свойств на нагрев заготовок токами высокой частоты [8]. Значения магнитных свойств сталей в таких случаях используют для расчета режимов термической обработки.

Постановка задачи

Важным ограничением метода измерений параметров вибрации с применением бесконтактных магнитных датчиков является то, что объект измерений должен быть ферромагнитным. Поскольку большинство элементов технологических систем изготавливают из конструкционных или инструментальных сталей, которые относятся к ферромагнитным материалам, то это ограничение, для большинства случаев, не будет иметь значения. Однако, различные марки сталей по своим магнитным свойствам могут существенно отличаться друг от друга и для определения ограничений бесконтактного метода необходимо учитывать эти факторы.

Основной материал

К факторам, влияющим на магнитные свойства стали относят:

- содержание углерода и легирующих элементов;
- структура металла и режимы термообработки;
- величина и вектор напряженности магнитного поля;
- индукция насыщения;
- эффект Виллари (обратная магнитострикция);
- динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость;
- температура.

При бесконтактном измерении объект измерений является частью измерительной системы, следовательно, перед каждым проведением измерений следует производить калибрование (градуирование) магнитного датчика совместно с объектом измерений. Поскольку содержание углерода, легирующих элементов и структура кристаллической решетки объекта измерений в ходе измерений не изменяются, то можно считать, что влияние этих факторов на результаты измерений будет учтено при калибровании.

Магнитная проницаемость стали зависит от величины и вектора напряженности магнитного поля [9, 10]. График зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля приведен на рисунке 1 [11].

Из графика, приведенного на рисунке 1 видно, что зависимость магнитной проницаемости от

напряженности магнитного поля не является линейной функцией. Путем моделирования магнитного датчика определено, что при его перемещении напряженность магнитного поля объекта измерений изменяется в пределах 220...250 Н·А/м (показано на рисунке 1 выделенной областью). На таком малом участке можно считать зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля линейной.

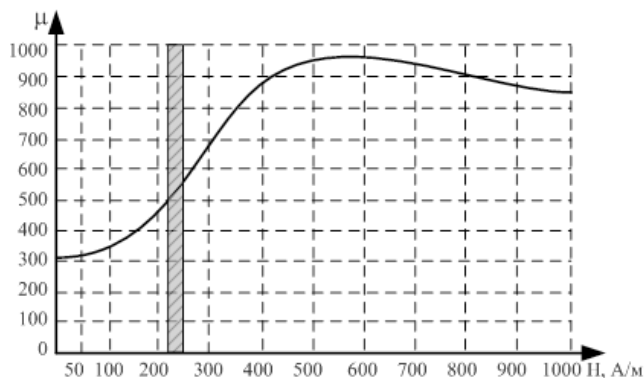


Рис. 1 – Зависимость относительной магнитной проницаемости стали от напряженности магнитного поля

Поскольку изменение индукции магнитного поля происходит при измерении расстояния между датчиком и объектом измерений в одинаковой мере, как при калибровании, так и при измерении то, учитывая линейность этой зависимости, можно считать, что зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля учитывается при калибровании.

Индукция насыщения для конструкционных и инструментальных сталей составляет 1,5...1,6 Тл, а максимальная индукция, создаваемая магнитным датчиком, не превышает 0,2 Тл [12].

Из графика, приведенного на рисунке 2 видно, что при магнитной индукции до 0,2 Тл эффект индукции насыщения не влияет на магнитные свойства стали и может не учитываться при расчете погрешности метода.

Эффект Виллари или эффект обратной магнитострикции для конструкционных и инструментальных сталей является величиной очень малой [14]. Степень деформации консольно закрепленных режущих инструментов, шпинделей или и других аналогичных конструкций рассчитанная по формуле $\Lambda = 2\sqrt{3} \ln(d_0/d_1)$ [15] составляет 0,003. Для такой степени деформации магнитная индукция изменится на 0,000013 Тл, что в 25 раз меньше чувствительности датчика Холла [16].

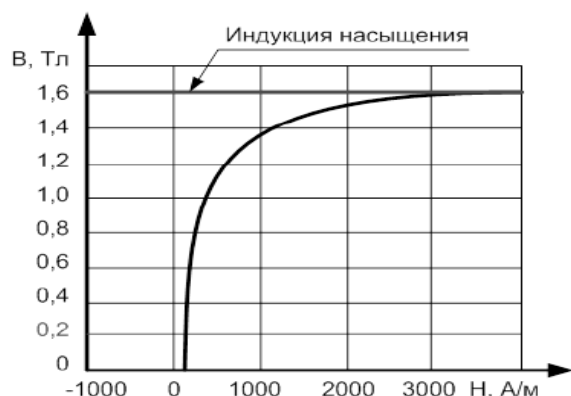


Рис. 2 – Зависимость индукции магнитного поля от напряженности магнитного поля и индукции насыщения [13]

Учитывая низкий уровень влияния обратной магнитострикции на изменение магнитной индукции объекта измерений, при дальнейших расчетах погрешности измерений, ее влияние на суммарную погрешность не учитывается.

Динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость стали нормируется только для электротехнических сталей. В зависимости от назначения электротехнической стали ее динамическая магнитная проницаемость и магнитная вязкость могут меняться в широких пределах [17]. Скорость вязкого изменения магнитной индукции зависит от многих параметров, например: от материала, от температуры и частоты перемагничивания, от формы намагничиваемого материала, структуры материала и размеров зерна [18,19]. Для конструкционных и углеродистых инструментальных сталей эти параметры не нормируются. Учитывая сложную зависимость динамической магнитной проницаемости и магнитной вязкости стали от многих факторов, оценка влияния их на результаты измерений проверена экспериментально.

Для экспериментального определения остаточной намагниченности под воздействием магнита датчика, к объекту измерений, на контролируемое время, прикладывался постоянный магнит датчика. Затем, с помощью датчика Холла, проводилось измерение магнитной индукции остаточного магнитного поля. Целью эксперимента было определение времени воздействия постоянного магнита на объект измерений, при котором остаточная намагниченность будет выше порога чувствительности датчика Холла.

В результате эксперимента установлено, что индукция остаточного магнитного поля, на объектах изготовленных из конструкционной стали Ст 45, после намагничивания в течение 30...60 минут, меньше чувствительности датчика Холла.

Такие же измерения проведены с объектами, изготовленными из магнитотвердой высокоуглеродистой стали У10. В результате эксперимента установлено, что магнитная индукция остаточного магнитного поля на образце становится выше порога чувствительности датчика Холла после воздействия на образец постоянным магнитом датчика в течение не менее 60 минут.

В процессе измерений объект измерений вращается, следовательно происходит постоянное перемагничивание объекта измерений с частотой не менее 1 с^{-1} , что существенно превышает время необходимое для намагничивания.

Однако, на объект измерений могут длительное время воздействовать внешние магнитные поля, например магнитное поле земли или намагниченные элементы оборудования, то перед проведением измерений объект измерений целесообразно размагнитить.

Таким образом, установлено, что остаточная намагниченность магнитомягких сталей и магнитотвердых сталей не оказывает существенного влияния на измерения, производимые магнитным датчиком.

Известно, что магнитная проницаемость стали зависит от температуры. С повышением температуры до $400...450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ магнитная проницаемость конструкционных и инструментальных сталей изменяется незначительно, однако при дальнейшем повышении происходит резкое ухудшение магнитных свойств и при достижении температуры точки Кюри, сталь полностью утрачивает свои магнитные свойства. Для конструкционных и инструментальных сталей температура Кюри близка к температуре Кюри железа и равна $740...780 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [20].

В диапазоне температур от $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $780 \text{ }^{\circ}\text{C}$, магнитные свойства сталей изменяются по разному, в зависимости от марки стали и напряженности магнитного поля. Для большинства конструкционных и инструментальных сталей эта зависимость может быть выражена формулой [21]:

$$\mu_r(\Theta, H) = \begin{cases} 1 + \frac{\mu_r(H) - 1}{\left[1 + \left(\frac{\Theta}{\Theta_K - \Theta} \right)^{\chi} \right]^{\delta}}, & \text{при } \Theta < \Theta_K \\ 1, & \text{при } \Theta > \Theta_K \end{cases}, \quad (1)$$

где: $\mu_r(\Theta, H)$ – относительная магнитная проницаемость как функция от температуры и напряженности магнитного поля; Θ и Θ_K – соответственно температура стали и температура точки Кюри; H – напряженность магнитного поля; δ и χ – коэффициенты, связанные со свойствами марки стали, ее составом и режимами термообработки.

Графически, зависимость относительной магнитной проницаемости от температуры, описанная формулой (1), представлена на рисунке 4.

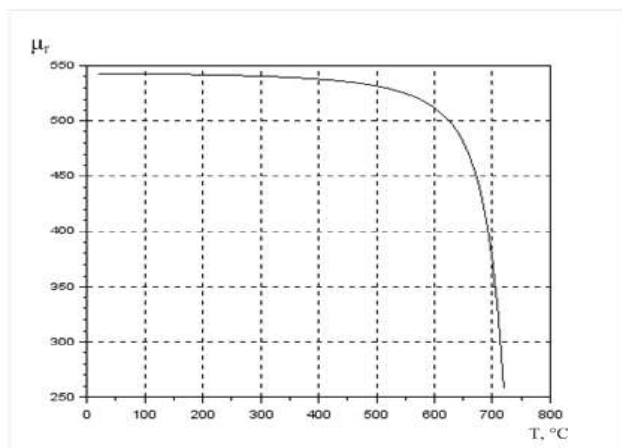


Рис. 4 – График зависимости относительной магнитной проницаемости от температуры для углеродистой стали

В большинстве случаев при измерении виброперемещений температура объекта измерений повышается не более чем на 50 °С, что приведет к изменению относительной магнитной проницаемости на 0,02 %, а в диапазоне температур от 0 °С до 300 °С магнитная проницаемость изменяется не более чем на 0,5 %. Таким образом, погрешность вызванную изменением температуры на величину до 50 °С можно не учитывать.

Выводы

В результате проведенного анализа и экспериментов установлено, что ограничениями для применения магнитного датчика, с целью измерения виброперемещений вращающихся объектов измерений, является следующее:

- объект измерений должен быть магнитным материалом, например конструкционная или инструментальная сталь;

- поскольку объект измерений является частью измерительной системы, то перед проведением измерений необходимо производить калибрование магнитного датчика;

- перед проведением измерений виброперемещений объектов измерений из магнитотвердых материалов их необходимо размагнитить;

- при повышении температуры объекта измерений выше 400 °С необходимо учитывать относительное изменение магнитной проницаемости стали.

Список литературы

1. Пат. 106167 Україна, МПК G01B 7/14. Система для безконтактного вимірювання переміщень інструмента відносно оброблюваної деталі в процесі різання / Г. О. Оборський, Ю. Г. Паленний, В. П. Гугнін та ін.; власник Одеський національний політехнічний

- університет. – № 201507209; заявл. 17.07.2015 ; опублік. 25.04.2016, Бюл. № 8. – 4 с.
2. **Оборський, Г. А.** Бесконтактное измерение относительных перемещений инструмента и детали в процессе резания / **Г. А. Оборський, Ю. Г. Паленний, В. П. Гугнін, Л. М. Перпери, А. М. Голобородько** // *Резание и инструмент в технологических системах* – НТУ ХПИ – 2015, выпуск 85.
3. **Паленний, Ю. Г.** Магнитный датчик бесконтактного измерения виброперемещений / **Ю. Г. Паленний, Л. М. Перпери, В. П. Гугнін и др.** // *Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах* -- ХНУ, Хмельницький, -- 2016, №1. – с. 49-53.
4. **Голобородько, Г. М.** Вимірювальний стенд для експериментального визначення параметрів вільних коливань / **Г. М. Голобородько, Л. М.Перпери, Ю. Г. Паленний, Р. П. Мигущенко** // *Системи обробки інформації, ХУПС ім. Кожедуба, Харків* – 2016, № 3 с. 48-51.
5. **Гуляев, А. П.** *Металловедение : учеб. пособие.* – М. : «Металлургия», 1986. – 544 с
6. **Пятин, Ю. М.** и др. *Материалы в приборостроении и автоматике* – М., "Машиностроение", 1982.
7. ГОСТ 21427.2-83 *Сталь электротехническая холоднокатаная изотропная тонколистовая. Технические условия.*
8. **Владимиров, С. Н.** Аналитические соотношения, аппроксимирующие температурно-полевую зависимость магнитной проницаемости конструктивных сталей / **С. Н. Владимиров, С. К. Земан, В. В. Рубан** // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* – 2009. – №4.
9. **Дельюсто, Л. Г.** Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. / [Электронный ресурс] – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=734.
10. **Cullity, B. D.** *Introduction to Magnetic Materials* 2nd ed / **B. D. Cullity and C. D. Graham** – (Wiley, Hoboken, NJ, 2009).
11. **Грецких, С. В.** Анализ влияния магнитной проницаемости стальных элементов железобетонных конструкций домов на уровень ослабления геомагнитного поля в помещениях / *Вісник НТУ "ХПИ"* – 2015. – № 13 (1122).
12. **Jaimes, C.** Sensitivity analysis of a magnetic circuit for non-destructive testing by the magnetic flux leakage technique / **C. Jaimes, S.Roa** // *Prospect.* – 2016. – Vol. 14. – № 2. – 22-30.
13. **Шихин, А. Я.** *Электротехника* / **А. Я. Шихин, Н. М. Белоусова, Ю. Х. Пухляков** и др. под ред. **А. Я. Шихина.** — М.; Высш. шк., 1991. — 336 с.
14. **Allan H. Morrish** *The Physical Principles of Magnetism* / **Wiley-IEEE Press.** – 2001.
15. **Колмогоров, В. Л.** *Механика обработки металлов давлением.* – М. *Металлургия.* – 1986. – С 668.
16. **Горкунов, Э. С.** Влияние пластической деформации и зон ее локализации на магнитные характеристики стали 45 / **Э. С. Горкунов, А. М. Поволоцкая, К. Е. Соловьев и др.** // *Дефектоскопия.* - 2009. - N 8. - С. 3-9.
17. **Kobayashi, S.** Hysteresis scaling behavior in a remanent magnetization state / **Kobayashi S.,**

- Takahashi S., Ishibashi Y.** // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 2012. – vol. 48, no. 4. – p. 3165-3168.
18. **Дубинин, Г. Н.** Конструкционные, проводниковые и магнитные материалы (Электроматериаловедение) / **Г. Н. Дубинин, Ю. С. Авраамов** -- М. Машиностроение, 1973, С. 296.
 19. **Крупичка, С.** Физика ферритов и родственных им магнитных окислов Текст.: в 2 т. / **С. Крупичка**. – М.: Мир, 1976.-Т. 1.-353 с.; Т. 2. 504 с.
 20. **Spaldin, Nicola A.** Magnetic Materials: Fundamentals and Applications (2nd ed.) / *Cambridge: Cambridge University Press*. 2010.
 21. **Владимиров, С. Н.** Аналитические соотношения, аппроксимирующие температурно-полевою зависимость магнитной проницаемости конструктивных сталей/ **С. Н. Владимиров, С. К. Земан, В. В. Рубан** // *Известия ТПУ*. - 2009. – №4.
 8. **Vladimirov, S. N., Zeman S. K., Ruban V. V.** Analiticheskie sootnosheniya, approksimirujushhie temperaturno-polevuju zavisimost' magnitnoj pronicaemosti konstruktivnyh stalej. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. – 2009. – №4.
 9. **Deljusto, L. G.** Osnovy prokatki metallov v postojannyh magnitnyh poljah [Elektronnyj resurs] – М. : Mashinostroenie, 2005, 272 s.
 10. **Cullity, B. D., Graham C. D.** Introduction to Magnetic Materials 2nd ed. Wiley, Hoboken, NJ, 2009.
 11. **Greckih, S. V.** Analiz vlijanija magnitnoj pronicaemosti stal'nyh jelementov zhelezobetonnnyh konstrukcij domov na uroven' oslablenija geomagnitnogo polja v pomeshhenijah. *Visnik NTU "HPI"*, 2015, **13** (1122).
 12. **Jaimes, C., Roa S.** Sensitivity analysis of a magnetic circuit for non-destructive testing by the magnetic flux leakage technique. *Prospect*. 2016, **14**, № 2, 22-30.
 13. **Shihin, A. Ja., Belousova N. M., Puhljakov Yu. X. i dr.** *Jelektrotehnika*, М.; Vyssh. shk., 1991.336 s.
 14. **Allan H. Morrish** The Physical Principles of Magnetism. Wiley-IEEE Press, 2001.
 15. **Kolmogorov, V. L.** Mehanika obrabotki metallov davleniem. М. Metallurgija, 1986, 668.
 16. **Gorkunov, Je. S., Povolockaja A. M., Solov'ev K. E. i dr.** Vlijanie plasticheskoj deformacii i zon ee lokalizacii na magnitnye harakteristiki stali 45. *Defektoskopija*, 2009, **8**, 3-9.
 17. **Kobayashi, S., Takahashi S., Ishibashi Y.** Hysteresis scaling behavior in a remanent magnetization state / **Kobayashi S.** *IEEE Transactions on Magnetics*, 2012, vol. **48**, 4, 3165-3168.
 18. **Dubinin, G. N., Avraamov Yu. S.** Konstrukcionnye, provodnikovye i magnitnye materialy (Jelektromaterialovedenie). М. Mashinostroenie, 1973, 296.
 19. **Krupichka, S.** Fizika ferritov i rodstvennyh im magnitnyh okislov Текст.: в 2 т. М.: Мир, 1976.-Т. 1.-353 с.; Т. 2. 504 с.
 20. **Spaldin, Nicola A.** Magnetic Materials: Fundamentals and Applications (2nd ed.) / *Cambridge: Cambridge University Press*. 2010.
 21. **Vladimirov, S., N. Zeman S. K., Ruban V. V.** Analiticheskie sootnosheniya, approksimirujushhie temperaturno-polevuju zavisimost' magnitnoj pronicaemosti konstruktivnyh stalej. *Izvestija TPU* – 2009, №4.
 1. Pat. 106167 Ukraïna, MPK G01V 7/14. Sistema dlja bezkontaktного vimirjuvannja peremishhen' instrumenta vidnosno obroblyvanoï detali v procesi rizannja / **G. O. Obors'kij, Yu. G. Palennyj, V. P. Gugin** ta in.; vlasnik Odes'kij nacional'nij politehničnij universitet. – № 201507209; zajavl. 17.07.2015 ; opublik. 25.04.2016, Bjul. № 8. – 4 s.
 2. **Obors'kij, G. A., Palennyj Yu. G., Gugin V. P., Perperi L. M., Goloborod'ko A. M.** Beskontaktное izmerenie odnositel'nyh peremeshhenij instrumenta i detali v processe rezanija. *Rezanie i instrument v tehnologicheskijh sistemah*. – NTU HPI, 2015, v. 85.
 3. **Palennyj, Yu. G., Perperi L. M., Gugin V. P. i dr.** Magnitnyj datchik beskontaktного izmerenija vibroperemeshhenij. *Vimirjuval'na ta Obchisljuval'na Tehnika v Tehnologichnijh Procesah*. – HNU, Hmel'nic'kij, 2016, №1, 49-53.
 4. **Goloborod'ko, G. M., Perperi L. M., Palennyj Yu. G., Migushhenko R. P.** Vimirjuval'nij stend dlja eksperimental'nogo viznachennja parametriv vil'nih kolivan'. *Sistemi obrobki informacii*, HUPS im. Kozheduba, Har'kiv, 2016, **3**, 48-51.
 5. **Guljaev, A. P.** Metallovedenie : ucheb. posobie. – М. : «Metallurgija», 1986, 544 s.
 6. **Pjatin, Yu. M. i dr.** Materialy v priborostroenii i avtomatike – М., "Mashinostroenie", 1982.
 7. GOST 21427.2-83 Stal' jelektrotehnicheskaja holodnokatanaja izotropnaja tonkolistovaja. Tehnicheskie uslovija.

Сведения об авторах (About authors)

Тонконогий Владимир Михайлович -- директор института промышленных технологий, дизайна и менеджмента, профессор кафедры, доктор технических наук, профессор e-mail: vmt47@ukr.net.

Vladimir Tonkonogiy – director of the Institute of Industrial Technologies, Design and Management, Professor of the Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: vmt47@ukr.net.

Паленный Юрий Григорьевич – ст. преподаватель кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Yuriy Palennyj– senior teacher of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Гугин Владимир Павлович – профессор кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса, кандидат технических наук, e-mail: gugin@te.net.ua.

Vladimir Gugin– professor of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of Odessa National Polytechnic University, Odessa, Cand.Tech.Sci.

Голобородко Ганна Михайлівна -- доцент кафедри «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса, кандидат технических наук, E-mail: amg.mvms@ukr.net
Ganna Goloborodko – senior lecturer of the department "Metal-cutting machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa, Cand.Tech.Sci.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Тонконогий, В. М. Ограничения применения магнитных датчиков виброперемещений / **В. М. Тонконогий, Ю. Г. Паленный, В. П. Гугнин, А. М. Голобородко**, // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

Please cite this article as:

Tonkonogiy, V. M., Palennyu, Yu. G., Gugin, V. P., Goloborodko, A. M. Application limitations of magnetic vibration sensors. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **32** (1254), 144–149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Тонконогий, В. М. Обмеження застосування магнітних датчиків вібропереміщень / **В. М. Тонконогий, Ю. Г. Паленний, В. П. Гугнін, Г. М. Голобородко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.23.

АНОТАЦІЯ Розглянуто проблеми застосування магнітних датчиків вібропереміщень у зв'язку з обмеженнями, що пов'язані з матеріалом об'єкта вимірювань. Визначено фактори, які впливають на магнітні властивості сталей. Показано обмеження методу вимірювання вібропереміщень магнітними датчиками, які пов'язані з величиною і вектором напруженості магнітного поля, індукцією насичення, зворотною магнітострикцією, магнітною в'язкістю і температурою об'єкта вимірювань. Визначено заходи, які сприяють зниженню впливу перелічених факторів на похибку вимірювань.

Ключові слова: Вимірювання магнітними датчиками; обмеження; похибка вимірювань.

Поступила (received) 10.09.2017

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Бондаренко М. О., Пелешко Є. В., Васильєв А. Ю., Грабовський А. В., Граборов Р. В., Веретельник Ю. В., Посохов В. В. Розрахунково-експериментальна верифікація динамічної моделі макета корпусу бронетранспортера	5
Волощенко С. М., Гогаєв К. А., Аскеров М. Г., Мирапольский А. М. Применение высокопрочного бейнитного чугуна для производства сменных деталей грунтообрабатывающей сельхозтехники	14
Данильченко Д. О. Вивчення впливу атмосферних перенапруг на повітряні лінії середніх класів напруги	19
Ільїн Я. В. Вплив тріщин на модулі пружності та життєвий цикл асфальтобетону	25
Карвацький А. Я., Панов Є. М., Педченко А. Ю., Лелека С. В., Лазарєв Т. В., Деркач В. В., Тютюнник О. В. Дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів на процес прямого графітування електродів у печах Кастнера	30
Литвиненко В. П. О деяких особенностях расчета потока энергии в неравновесном цикле дизеля	37
Мариненко Д. В., Кравцова Н. В. Дослідження впливу технологічних параметрів охолодження швидкоріжучої сталі на спадковість елементів структури	42
Подкопасьєв С. В., Іорданов І. В., Чепіга Д. А., Власенко М. М. Про коливання бічних порід при дії динамічних навантажень	48

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Голуб З. Д. Формалізація прийомів інформаційно-психологічної маніпуляції	55
Лубко Д. В., Литвин Ю. О. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика	62
Переверзєва А. М., Бобух А. О. Розробка математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди	68
Пернері Л. М., Оборський Г. О., Голобородько Г. М. Багаторівнева модель управління процесом	74
Щербина Е. А. Анализ нотаций моделирования бизнес-процессов относительно создания интерактивных регламентов	80

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

Бондар С. М., Чабанова О. Б., Трубінікова А. А. Дієтичні властивості напоїв на основі сироватки	85
Борисов О. О., Кофанова О. В. Комплексний аналіз геохімічного стану придорожніх територій великого міста	91
Дубовик Д. Д., Борохович Ю. І. Експериментальне визначення донного рельєфу на базі досліджень нижньої ділянки р. Самара	98
Кондратов С. О., Хлякіна Т. М. Технологічний аналіз стадії відгонки бензену у виробництві нітробензену адіабатичним методом	104
Сімакова О. О., Назаренко І. А. Дослідження якості питної води у виробництві хліба	112
Шпирка І. І., Небесний Р. В., Піх З. Г., Сидорчук В. В., Івасів В. В., Халамейда С. В., Завалій К. В. Одержання акрилової кислоти альдольною конденсацією оцтової кислоти з формальдегідом на V-Ti-PO ₄ каталізаторах	117
Українцева Ю. С., Ткаченко Н. А., Авершина А. С., Павленко О. Т. Термостатний спосіб виробництва – гарантія тривалого зберігання паст білкових дитячого харчування	123

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Кисляк М. І. Методика кількісної оцінки акустичних характеристик ступені вентилятора	133
Петров Д. В., Брагіна Л. Л., Філоненко С. В. Дослідження спектральних властивостей скломатриці оптичного кольорового скла для інтерференційного фільтру	139
Тонконогий В. М., Паленний Ю. Г., Гугнін В. П., Голобородько Г. М. Обмеження застосування магнітних датчиків вібропереміщень	144

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

Bondarenko M., Peleshko Ie., Vasiliev A., Grabovskiy A., Graborov R., Veretelnyk Yu., Posohov V. Computational and experimental dynamic model verification of personnel armored carrier hull	5
Voloshchenko S. M., Gogaev K. A., Askerov M. G., Mirapolsky A. M. Application of high-strength bainitic cast iron for the production of replaceable parts of soil-cultivating agricultural machinery	14
Danylchenko D. Study of the effect of atmospheric overvoltages on overhead lines of medium voltage classes	19
Iliyn Ya. V. The influence of cracks on the elasticity module and the life cycle of asphalt concrete	25
Karvatskii A., Panov Ye., Pedchenko A., Leleka S., Lazarev T., Derkach V., Tyutyunnyk O. Investigation of the influence of constructive-technological parameters on the direct graphitization process of electrodes in Castner furnaces	30
Litvinenko V. About some peculiarities of calculating the energy flow in the non – equilibrium diesel engine cycle	37
Marynenko D., Kravtsova N. Investigation of the effects of the technological parameters of cooling of fastening steel on the strength of the elements of the structure	42
Podkopaev S., Iordanov I., Chepiga D., Vlasenko N. On the vibrations of lateral rocks under the action of dynamic loads	48

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

Holub Z. Formalization of informational and psychological manipulation tools	55
Lubko D., Lytvyn Y. Methodology of Arduino designing as a Web-client and Web-server with the use of the DHT11 sensor and their comparative characteristics	62
Pereverzieva A., Bobukh A. Development of a mathematical model of statics of the technology saturation of the purified brine gas production soda	68
Perperi L., Oborskyi H., Goloborodko G. Multi-level model of process management	74
Shcherbyna K. Analysis of the notations of business process modeling for the creation of interactive regulations	80

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

Bondar S., Chabanova O., Trubnikova A. Dietary properties of whey-based drinks	85
Borysov O. O., Kofanova O.V. Complex analysis of the geochemical state of the city roadside areas	91
Dubovyk D., Borokhovych Y. Experimental determination of bottom relief on the basis of studies of the lower part of the river. Samara	98
Kondratov S., Khlyakina T. The technological analysis of the stage of benzene distillation in the manufacture of nitrobenzene by adiabatic method	104
Simakova O., Nazarenko I. Investigation of the impact of the quality of drinking water on the process of bread production	112
Shpyrka I. I., Nebesnyi R. V., Pikh Z. G., Sydorchuk V. V., Ivasiv V. V., Khalameida S. V., Zavalii K. V. Acrylic acid synthesis by aldol condensation of acetic acid and formaldehyde on V-Ti-PO ₄ catalysts	117
Ukraineva Yu., Tkachenko N., Avershina A., Pavlenko O. Thermostatic production technology is the guarantee of long-storage period of protein pastes for infant food	123

MODERN INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

Kislyak M. I. Method of quantitative estimation of acoustic characteristics of the fan stage	133
Petrov D., Bragina L., Philonenko S. Investigation of spectral properties of the glass matrix of the optical color glass for interference filter	139
Tonkonogiy V. M., Palennyi Yu. G., Gugin V. P., Goloborodko A. M. Application limitations of magnetic vibration sensors	144

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

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 32 (1254) 2017

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. № 35-17

Підп. до друку «29» вересня 2017 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 10,0.
Тираж 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
