

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

ВІСНИК

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

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 42 (1214) 2016

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». – 2016. – № 42 (1214) – 230 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. Грабчєнко, 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.,

А. В. Грабовський, канд. техн. 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 № 10 від «23» грудня 2016 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2016

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

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

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 42 (1214) 2016

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 230 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.

A. V. Grabovskiy, PhD. Tech. 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 10 of December, 23, 2016

© National Technical University "KhPI", 2016

УДК 693.95(075.8)

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.01

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАЧЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ ПО РОЛИКОВЫМ ОПОРАМ

П. Г. АНОФРИЕВ*, Л. Н. БОНДАРЕНКО, В. Э. ЧЕРКУДИНОВ**

Кафедра прикладной механики и материаловедения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, УКРАИНА

* e-mail: anofriev@mail.ru

** e-mail: vol_na@mail.ru

АННОТАЦИЯ. На основе современных положений трибологии рассмотрена задача упругого контакта опорных роликов цилиндрической формы с опорным поясом формы центробежной литейной машины. Уточнены коэффициенты трения качения формы со стальными опорными поясами по роликам, изготовленным из низко модульных материалов, таких как литейная сталь, бронза и латунь. Получены графики зависимости относительной деформации и допускаемых по условиям контактной прочности радиусов роликов в зависимости от модуля упругости их материала. Получены приведенные коэффициенты трения подшипников качения в зависимости от типа (шариковый, роликовый) и вращающегося внутреннего или наружного колец.

Ключевые слова: подшипник; ролик; контактные деформации; модуль упругости; сопротивление качению

ANALYTICAL DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF ROLLING THE MOLD ON THE ROLLER SUPPORTS

P. ANOFRIEV, L. BONDARENKO, V. CHERKUDINOV

Department. «Applied Mechanics and materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT During the research, it is assumed to obtain analytical dependence for determining the rolling resistance of the steel belt supporting the mold on rollers, made of flowable materials. Compare values of coefficients of friction in the bearings of the rollers, the analytical method with the values proposed in the scientific and technical literature for designers and builders. Based on current provisions of tribology deals with the problem of elastic contact of rollers of cylindrical form with a support belt forms a centrifugal casting machine. Coefficients of rolling friction of the shaped steel support belts on rollers, made of flowable materials such as cast steel, bronze and brass. The obtained graphs of the relative deformation and permitted under the terms of the contact strength of the radii of the rollers according to the elastic modulus of their material. The reduced friction coefficients of rolling bearings depending on the type (ball, roller) and a rotating inner or outer ring. When rotating the outer ring of the bearing, the coefficient of rolling friction is higher by 14 to 27% than the rotation of the inner ring. Theoretically, from the condition of multiplicity of operating on the local contact deformation of the reference tire and roller every second car repair will be accompanied by a simultaneous replacement of worn equally reference tire and roller.

Keywords: bearing; roller; contact deformation; elastic modulus; rolling resistance

Введение

В процессе проектирования привода любого транспортной или технологической машины всегда возникает вопрос о силах сопротивления в ее опорных и подшипниковых узлах. Эта задача актуальна при проектировании центробежных литейных машин для производства центробежным способом прокатных, мукомольных, каландровых валков и крупных втулок из черных и цветных металлов. Точный расчет сопротивления качению и приведенного к цапфе коэффициента трения подшипников качения достаточно сложная и многофакторная задача. Для предварительной оценки сил сопротивления подшипников в справочнике конструктора-машиностроителя [1] приводятся усредненные коэффициенты трения. Уточненный расчет этих

коэффициентов предполагает знание соотношения между сопротивлениями качению и скольжению в подшипниках, а также особенностей конструкции подшипникового узла.

Методика экспериментального метода и установка для получения коэффициента трения качения массивных неметаллических (полиуретановых) колес при разной относительной деформации и скорости нагружения соприкасающихся тел простой формы описанная в [2] требует значительных средств, времени и усилий. Несмотря на высокие физико-механические свойства полиуретанов [3, 4, 5] таких, как твердость, прочность, износостойкость, их применение ограничено температурным диапазоном – 35...+75. В машинах для металлургического производства опорные узлы работают в более тяжелых

© П. Г. АНОФРИЕВ, Л. Н. БОНДАРЕНКО, В. Э. ЧЕРКУДИНОВ, 2016

температурных условиях. В [6] предложена методика расчета сопротивлений качения литейной формы с коническими опорными поясами по цилиндрическим и коническим роликам со сферическими и бочкообразными поверхностями по апробированным формулам [7]. Для еще более точного расчета сопротивления качения необходимо знать значения коэффициента гистерезисных потерь в зоне контакта соприкасающихся тел [8, 9].

Литейная форма содержит два опорных пояса, взаимодействующих с роликовыми опорами (рис.1). Сопротивление качения опорного пояса по роликам, приведенное к окружности радиуса колеса, определяется известным выражением [10]:

$$W = \frac{Q_{отл} + Q_{\phi}}{\cos \alpha} \left(\frac{k}{r} + \frac{\mu d_{ц}}{2r} \right), \quad (1)$$

где $(Q_{отл} + Q_{\phi})$ – вес отливки и формы с футеровкой; α – половина центрального угла между линиями, проходящими через оси формы и роликов; $k=0,8$ мм – коэффициент трения качения роликов по опорному поясу радиуса R ; r – радиус опорных роликов; $d_{ц}$ – диаметр вала роликов; $\mu=0,005$ – коэффициент трения подшипников, приведенный к оси вала.

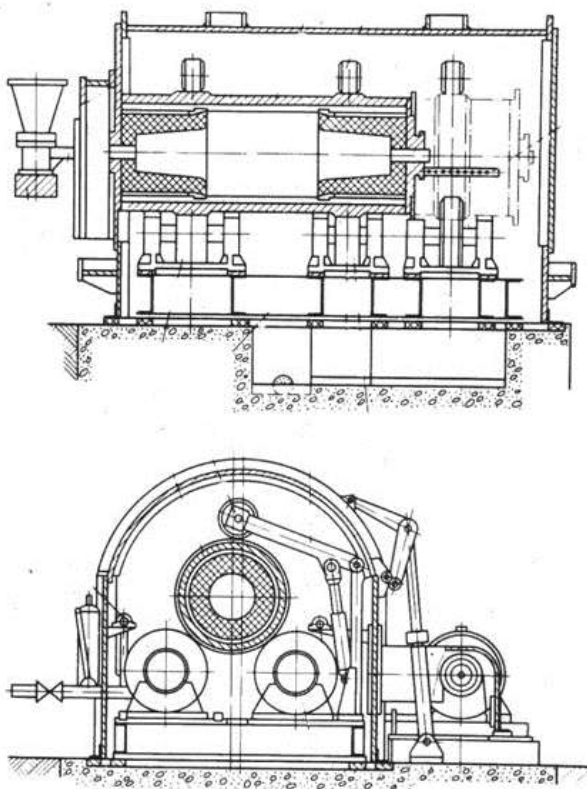


Рис. 1 – Центробежная литейная машина с горизонтальной осью вращения

Величина k здесь задается как без учета радиуса роликов и опорного пояса, так и без учета их материалов. Очевидно, должны существовать зависимости, учитывающие эти важные параметры. Получение этих зависимостей экспериментальными методами затратная и трудоемкая работа в связи с большим различием размеров и широкой гаммой материалов. Поэтому целесообразно получить формулу для определения сопротивления качения литейной формы по роликовым опорам аналитическим способом.

Цель работы

В процессе исследований предполагается получить аналитическую зависимость для определения сопротивления качению опорного стального пояса литейной формы по роликам, изготовленным из низко модульных материалов. Сравнить значения коэффициентов трения в подшипниках качения роликов, полученных аналитическим методом со значениями, предлагаемыми в научно-технической литературе для конструкторов-машиностроителей.

Изложение основного материала

Определение сопротивления качения литейной формы по роликовым опорам рассматривается как задача об упругом контакте деталей простой формы. Радиус опорного ролика находится из теории контактных напряжений Герца [11]. При равенстве модулей упругости материалов роликов и опорного пояса, радиус ролика

$$r = \frac{0,418^2 PER}{BR[\sigma_H]^2 - 0,418^2 PE}, \quad (2)$$

где P – нагрузка на ролик; B – ширина ролика; E – модуль упругости материалов; $[\sigma_H]$ – допускаемые контактные напряжения (рекомендуется [12] $[\sigma_H]=400$ МПа для стали Ст4, для барабанов смесителей, вращающихся со частотой 2...3 об/мин и $[\sigma_H]=600$ МПа для сталей Ст5 или Ст6 – для литейных форм вращающихся с бóльшей на два порядка частотой).

При известных значениях P , B , E , r и R из теории контактных деформаций Герца может быть найдена полуширина пятна контакта между роликом и опорным поясом формы [11].

$$b = 1,522 \sqrt{\frac{PrR}{BE(r+R)}}, \quad (3)$$

а при известной величине b коэффициент трения качения при начальном линейном контакте [13].

$$k = 0,225be^{-1,2r}. \quad (4)$$

В [10] отмечается, что ролики обычно изготавливаются из более мягкого материала, чем опорные пояса, с целью обеспечения большей износостойкости более дорогих деталей опорного пояса, изготовление и установка которых связана со значительными трудностями. Но при одинаковых материалах роликов и опорного пояса, ролики вследствие большей частоты вращения должны изнашиваться быстрее.

Очевидно, что только частота вращения роликов не является причиной их большего износа. Из той же теории контактных напряжений Герца величина контактных деформаций Герца ролика и опорного пояса

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{2P}{\pi B} \cdot \frac{1-\mu}{E_1} \ln \frac{2r}{b} + \frac{2P}{\pi B} \cdot \frac{1-\mu}{E_2} \ln \frac{2R}{b}, \quad (5)$$

где E_1, E_2 – модули упругости материалов роликов и опорного пояса соответственно.

Если за один оборот ролика работа на деформацию составит:

$$A_1 = \frac{2\pi r P \Delta_1}{B}, \quad (6)$$

то за один оборот опорного пояса ее величина:

$$A_2 = \frac{2\pi R P \Delta_2}{B}. \quad (7)$$

С учетом, что бандаж контактирует с двумя роликами, то равенство работ местных деформаций, а следовательно и срока службы роликов и опорного пояса можно достичь когда $\Delta_1 = 2\Delta_2$.

Если принять $[\sigma_H] = 600$ МПа; $R = 0,6$ м; $B = 40$ мм; $P = 35$ кН; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, то получим: $r = 100$ мм; $b = 0,91$ мм; $k = 0,18$ мм; $\Delta_1 = 0,01$ мм; $\Delta_2 = 0,0133$ мм и для достижения одинакового срока службы роликов и опорного пояса величину Δ_1 необходимо увеличить в 2,66 раза. Величину деформации Δ_1 можно увеличить за счет уменьшения модуля упругости материалов роликов, однако, при этом изменяются допускаемые по условиям контактно прочности размеры роликов и сопротивление качения опорных поясов по роликам. Изготовление роликов из низко модульных материалов, а опорных поясов из углеродистых или низколегированных сталей ведет к уменьшению их относительной деформации (рис. 2)

$$n = \frac{2\Delta_2}{\Delta_1}. \quad (8)$$

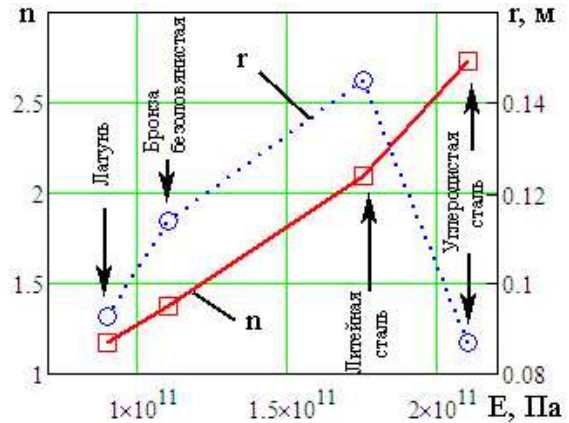


Рис. 2 – Графики относительной деформации опорного пояса и радиуса роликов из разных материалов

Одновременно с уменьшением n растут диаметры и, как следствие, стоимость роликов. Сопротивление качения опорного пояса по роликам также возрастает (рис. 3), а это – увеличение потребляемой энергии приводом.

Результаты вариантных расчетов параметров роликов по (3) – (5) дают основание сомневаться в целесообразности значительного уменьшения модуля упругости материала. В тоже время подбором материалов, как роликов, так и опорного пояса можно достигнуть кратности относительной деформации n , например, два. Тогда во время каждого второго капитального ремонта будут заменены одновременно ролики и опорные пояса, а общее время простоя машины в ремонте снизится.

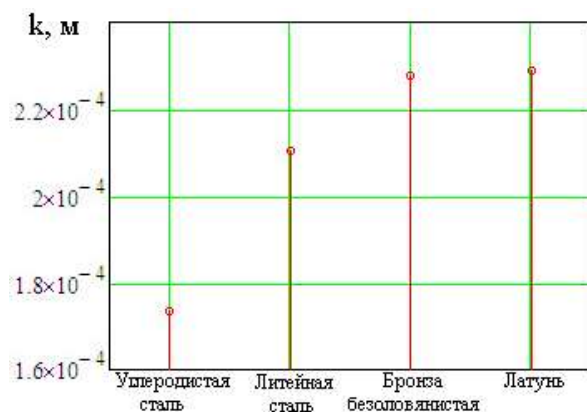


Рис. 3 – Коэффициент трения качения опорного пояса по роликам

В формуле (1) коэффициент трения подшипника μ , приведен к цапфе вала колеса дается в [14] для крановых колес и принимается равным 0,01...0,015 для шариковых подшипниках и 0,012...0,02 для роликовых; при этом не указывается, какое кольцо подшипника вращается: внутреннее или

наружное. На практике встречаются как первый, так и второй варианты подобных узлов.

Как правило [15, 16, 17] коэффициент трения качения по внутреннему и наружному кольцам принимается одинаковым, с чем трудно согласиться, поскольку контакт тел качения на дорожках катания разный.

Найдем коэффициент трения качения шарика и ролика по внутреннему и наружному кольцам.

В шариковом подшипнике нагрузка на наиболее нагруженный шарик [11]:

$$P = \frac{5Q}{z}. \quad (9)$$

Полуширины пятен контакта с внутренним и наружным кольцами

$$b_1 = 1,397n_{b1} \sqrt{\frac{5Q}{zE} \cdot \frac{I}{\frac{4}{d_u} - \frac{1}{r_{жс}} + \frac{2}{D_{01}}}}; \quad (10)$$

$$b_2 = 1,397n_{b2} \sqrt{\frac{5Q}{zE} \cdot \frac{I}{\frac{4}{d_u} - \frac{1}{r_{жс}} + \frac{2}{D_{02}}}}; \quad (11)$$

где $r_{жс} = 0,515d_{жс}$ – радиус желоба; $d_u = 0,3(D-d)$ – диаметр шарика; D_{01}, D_{02} – диаметры дорожек качения на внутреннем и наружном кольцах.

Коэффициент трения качения при начальном точечном контакте [13]:

$$k = 0,16be^{0,1d_u}. \quad (12)$$

Сопrotивление качению всех шариков по двум дорожкам качения:

$$W = W_1 + W_2 = \frac{2Qk_1}{d_u} + \frac{2Qk_2}{d_u}. \quad (13)$$

Работа сил трения качения шариков за один оборот:

внутреннего кольца

$$A_1 = \pi D_{01}(W_1 + W_2); \quad (14)$$

внешнего кольца

$$A_2 = \pi(D_{01} + 2d_u)(W_1 + W_2). \quad (15)$$

Зная A_1 и A_2 приведем коэффициент трения к цапфе:

$$\mu_1 = \frac{2D_{01}}{d} \left(\frac{k_1 + k_2}{d_u} \right); \quad (16)$$

$$\mu_2 = \frac{2(D_{01} + 2d_u)}{d} \left(\frac{k_1 + k_2}{d_u} \right). \quad (17)$$

В [16] с учетом равенства коэффициентов трения качения k_1 и k_2 формула (16) приведена в виде:

$$\mu_1 = 2,6 \frac{k}{d} \left(1 + \frac{D_{01}}{d_u} \right). \quad (18)$$

Для примера нахождения величин μ_1 и μ_2 примем диаметр шариков $d_u = 0,3(D-d)$; количество шариков $z_u = 2,9(D+d)/(D-d)$.

При размерах $D_{01} = 50$ мм; $D_{02} = 80$ мм; $d_u = 15$ мм статическая нагрузка на подшипник составит 17,5 кН, что соответствует шарикоподшипнику № 308 с $D = 90$ мм и $d = 40$ мм и коэффициенты трения, приведенные к внутреннему и наружному кольцам составят: $\mu_1 = 0,022$; $\mu_2 = 0,035$ (согласно формулы (18) эти величины $\mu_1 = 0,015$; $\mu_2 = 0,022$).

Статической нагрузке 17,5 кН соответствует роликотподшипник радиальный с короткими цилиндрическими роликами № 2207 со следующими характеристиками: $D = 72$ мм; $d = 35$ мм; число роликов $z = 5(D+d)/(D-d)$; диаметр роликов $d_p = 0,25(D-d)$; длина ролика $B = d_p$.

Полуширины пятен контакта с внутренним b_{01} и наружным b_{02} кольцами:

$$b_{01} = 1,522 \sqrt{\frac{4,6Q}{d_p z E} \cdot \frac{d_p D_{01}}{D_{01} + d_p}}; \quad (19)$$

$$b_{01} = 1,522 \sqrt{\frac{4,6Q}{d_p z E} \cdot \frac{d_p (D_{01} + 2d_p)}{(D_{01} + 2d_p) - d_p}}. \quad (20)$$

Коэффициент трения качения ролика по внутренним и наружным кольцам определяется по формуле:

$$k = 0,16be^{0,1d_p}. \quad (21)$$

При диаметре ролика $d_p = 9,25$ мм величина коэффициентов трения качения составит: $k_1 = 0,024$ мм; $k_2 = 0,028$ мм, а величины коэффициентов приведенных к цапфе $\mu_1 = 0,014$; $\mu_2 = 0,02$. В [10] рекомендуют при расчетах принимать $\mu = 0,015...0,02$.

Обсуждение результатов

Для упрощения анализа полученные результаты сведены в табл. 1. Полученные результаты свидетельствуют о зависимости коэффициента трения от конструкции подшипникового узла роликовой опоры.

Таблица 1 – Коэффициенты трения подшипников качения и сопротивление вращения формы

Подшипник	Вращающееся кольцо	k, мм		μ		W, Н	
		(4), (12)	[10]	(16), (17)	[10]	(13)	[10]
Шариковый	Внутреннее	0,055	0,8	0,022	0,005	693	1242
	Наружное	0,076		0,035		1086	
Роликовый	Внутреннее	0,024		0,014		377	
	Наружное	0,028		0,020		529	

Выводы

Анализ полученных зависимостей и данных, приведенных в таблице, позволяет сделать такие выводы и предложения:

– теоретически, из условия кратности работы на местную контактную деформацию опорного бандажа и роликов каждый второй ремонт машины будет сопровождаться одновременной заменой одинаково износившихся опорного бандажа и роликов;

– при вращении наружного кольца подшипника приведенный коэффициент трения качения выше на 14...27%, чем при вращении внутреннего кольца;

– коэффициент трения качения, приведенный к одному ролику ниже, чем к шарик (при примерно одинаковой нагрузке), это связано с тем, что при одинаковых диаметрах шарика и ролика сопротивление качению ролика ниже, чем шарика

Список литературы

- 1 **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т.: Т. 2. 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. **И. Н. Жестковой**. – М.: Машиностроение. – 2001. – 912 с.
- 2 **Яковлев, С. Н.** Экспериментальное определение коэффициента трения качения массивной полиуретановой шины / **С. Н. Яковлев** // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. – 2013. – № 3(178). – С. 223–229.
- 3 **Datta, J.** Synthesis and Investigation of Glycolysates and Obtained Polyurethane Elastomers / **J. Datta** // *Journal of Elastomers and Plastics*. – 2010. – Vol. 42.– P. 117–127. – doi: 10.1177/0095244309354368.
- 4 **Maity, M.** Polyblend Systems of Polyurethane Rubber and Silicone Rubber in the Presence of Silane Grafting Agent /

- 5 **M. Maity** // *Journal of Elastomers and Plastics*.– 2001.– Vol. 33.– P. 211–224.
- 5 **Rek, V.** Thermal Degradation of Polyurethane Elastomers: Determination of Kinetic Parameters / **V. Rek** // *Journal of Elastomers and Plastics*.– 2003.– Vol. 35.– P. 311–323.
- 6 **Бондаренко, Л. Н.** Аналитическое определение статического сопротивления роликовых опор центробежных литейных машин / **Л. Н. Бондаренко, П. Г. Анофриев** // *Подъемно-транспортная техника*. №3. – 2010. – С. 91–94.
- 7 **Бондаренко, Л. М.** Аналітично-експериментальне визначення коефіцієнта тертя кочення / **Л. М. Бондаренко** // *Будівництво України*. – 2001. – С. 47–48.
- 8 **Jonson, K. I.** The contact of elastic wavy surfaces / **K. I. Jonson, J. A. Greenwood, J. G. Higginson** // *Internet. J. Mech. Sci*. – 1985, No 27. – P. 138–146.
- 9 **Jonson, K. L.** The mechanics of fretting / **K. L. Jonson, J. J. O'Connor** // *Proc. Inst. Mech. Engrs., Appl. Mech. Convention*, Newcastle. – 1964. – Vol. 178(3). – P. 7–16.
- 10 **Морозов, М. К.** Механическое оборудование заводов сборного железобетона / **М. К. Морозов**. – К.: Вища школа. – 1982. – 96 с.
- 11 **Писаренко, Г. С.** Справочник по сопротивлению материалов / **Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев**. – Киев: Наукова думка. – 1988. – 736 с.
- 12 *Дорожные машины* / под ред. **М. М. Хархуты**. – Л.: Машиностроение. – 1976. – 472 с.
- 13 **Бондаренко, Л. М.** Деформаційні опори в машинах / **Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкін** // Дніпропетровськ: Дніпо-VAL. – 2002. – 200 с.
- 14 *Справочник по кранам: В 2 т.* / под ред. **Александрова, М. П.** – Л.: Машиностроение. – 1988. – Т. 2. – 559 с.
- 15 **Кожевников, С. Н.** Теория механизмов и машин / **С. Н. Кожевников**. – М: Машиностроение. – 1969. – 584 с.
- 16 **Колчин, Н. И.** Теория механизмов и машин / **Н. И. Колчин, М. С. Мовнин**. – Л: Судпромгиз. – 1962. – 516 с.
- 17 **Pletz, M.** Multi-scale finite element modeling to describe rolling contact fatigue in a wheel-rail test rig / **M. Pletz, W. Daves, W. Yao** [et al.] // *Tribology International*. – 2014. – Volume 80. – P. 147–155. – doi:10.1016/j.triboint.– 2014.07.005.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Anurev, V. Y., Zhestkovoi, Y. N.** Spravochnyk konstruktora-mashynostroytelia v 3-kh t. Moscow: Mashynostroenyne, 2001, T. 2., 912 p.
- 2 **Yakovlev, S. N.** Eksperymentalnoe opredelenye koeffytsyenta trenyia kachenya massyvnoi polyuretanovoi shynyi. *Nauchno-tekhnycheskiye vedomosti Cankt-Peterburhskoho hosudarstvennoho polytekhnycheskoho unyversyteta*, 2013, 3(178), 223–229.
- 3 **Datta, J.** Synthesis and Investigation of Glycolysates and Obtained Polyurethane Elastomers. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2010, 42, 117–127, doi: 10.1177/0095244309354368.
- 4 **Maity, M.** Polyblend Systems of Polyurethane Rubber and Silicone Rubber in the Presence of Silane Grafting Agent. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2001, 33, 211–224.

- 5 **Rek, V.** Thermal Degradation of Polyurethane Elastomers: Determination of Kinetic Parameters. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2003, **35**, 311–323.
- 6 **Bondarenko, L. N., Anofriyev, P. H.** Analytycheskoe opredelenye statycheskoho soprotyvleniya rolykovykh opor tsentrobeznykh lyteinykh mashyn. *Pod'yomno-transportnaya tehnika*, 2010, **3**, 91–94.
- 7 **Bondarenko, L. M.** Analitichno-eksperymentalne vyznachennia koefitsiienta tertia kochennia. *Budivnytstvo Ukrainy*, 2001, 47–48.
- 8 **Jonson, K. I., Greenwood, J. A., Higginson, J. G.** The contact of elastic wavy surfaces. *Internet. J. Mech. Sci.*, 1985, **27**, 138–146.
- 9 **Jonson, K. L., O'Connor, J. J.** The mechanics of fretting. *Proc. Inst. Mech. Engrs., Appl. Mech. Convention, Newcastle*, 1964, **178**(3), 7–16.
- 10 **Morozov, M. K.** Mekhanycheskoe oborudovanye zavodov sbornoho zhelezobetona. Kyiv: Vyshcha shkola, 1982, 96 p.
- 11 **Pysarenko, H. S., Yakovlev, A. P., Matveev, V. V.** Spravochnyk po soprotyvleniyu materialov. Kyiv: Naukova dumka, 1988, 736 p.
- 12 **Kharkhutyi, M. M.** Dorozhnie mashyny. Leningrad: Mashynostroenye, 1976, 472 p.
- 13 **Bondarenko, L. M., Dovbnia, M. P., Loveikin, V. S.** Deformatsiini opory v mashynakh. Dnipropetrovsk: DniproVAL, 2002, 200 p.
- 14 **Aleksandrova, M. P.** Spravochnyk po kranam: V 2 t. / Leningrad: Mashynostroenye, 1988, T 2, 559 p.
- 15 **Kozhevnykov, S. N.** Teoriya mekhanyzmov u mashyn. Moskow: Mashynostroenye, 1969, 584 p.
- 16 **Kolchyn, N. Y., Movnyu, M. S.** Teoriya mekhanyzmov u mashyn. Leningrad: Sudpromhyz, 1962, 516 p.
- 17 **Pletz, M., Daves, W., Yao, W.** [et al.] Multi-scale finite element modeling to describe rolling contact fatigue in a wheel-rail test rig. *Tribology International*, 2014, **80**, 147–155, doi:10.1016/j.triboint.–2014.07.005.

Сведения об авторах (About authors)

Анофриев Павел Григорьевич – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры «Прикладная механика и материаловедение»; г. Днепр, Украина; e-mail: anofriev@mail.ru

Anofriev Pavel – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department «Applied Mechanics and materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine, e-mail: anofriev@mail.ru

Бондаренко Леонид Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры «Прикладная механика и материаловедение»; г. Днепр, Украина.

Bondarenko Leonid – Candidate of Science (Engineering), Docent, Associate Professor, Department «Applied Mechanics and materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine.

Черкудинов Владимир Эдуардович – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ассистент кафедры «Прикладная механика и материаловедение»; г. Днепр, Украина; e-mail: vol_na@mail.ru

Cherkudinov Vladimir – Assistant Lecturer, Department «Applied Mechanics and materials», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine; e-mail: vol_na@mail.ru

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Анофриев, П. Г. Аналитическое определение сопротивления качения литевой формы по роликовым опорам / **П. Г. Анофриев, Л. Н. Бондаренко, В. Э. Черкудинов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.01.

Please cite this article as:

Anofriev, P., Bondarenko, L., Cherkudinov, V. Analytical determination of the resistance of rolling the mold on the roller supports. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 5–10, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.01.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Анофрієв, П. Г. Аналітичне визначення опору качення ливарної форми по роликовим опорам / **П. Г. Анофрієв, Л. Н. Бондаренко, В. Е. Черкудинов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.01.

АНОТАЦІЯ На основі сучасних положень трибології розглянуто задачу пружного контакту опорних роликів циліндричної форми з опорним поясом форми відцентрової ливарної машини. Уточнені коефіцієнти тертя кочення форми зі сталевими опорними поясами по роликах, виготовленим з низькомодульних матеріалів, таких як ливарна сталь, бронза і латунь. Отримані графіки залежності відносної деформації і що дозволені за умовами контактної міцності радіусів роликів залежно від модуля пружності їх матеріалу. Отримані наведені коефіцієнти тертя підшипників кочення в залежності від типу (кульковий, роликовий) та обертового внутрішнього або зовнішнього кілець.

Ключові слова: підшипник; ролик; контактні деформації; модуль пружності; опір коченню

Поступила (received) 08.12.2016

УДК 539.3/6:669.055(075.8)

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

АХМЕД СУНДУС МОХАММЕД, О. В. АКИМОВ, Е. А. КОСТИК*

Кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

*email: eklitus@gmail.com

АННОТАЦИЯ Целью данной работы является разработка нового дисперсионно-твердеющего сплава на основе железа. Исследования микроструктуры исследуемого сплава на основе железа подтвердили наличие дисперсных частиц. Наибольшее их скопление наблюдается по границам субзерен и зерен. В теле зерна наличие дисперсных частиц сводится к минимуму. С увеличением количества дисперсных частиц существенно меняется соотношение содержания железа и хрома, что связано с выделением карбидов хрома в процессе старения стали. Содержание химических элементов в исследуемой стали значительно изменяется в зависимости от их расположения. В теле зерна преобладает железная матрица и содержание таких легирующих элементов, как марганец и никель.

Ключевые слова: дисперсионное твердение; сплав на основе железа; старение; структура; химический состав

THE STUDY OF DISPERSION HARDENING OF THE IRON-BASED ALLOY

SUNDUS MOHAMMED AHMED, O. AKIMOV, K. KOSTYK*

Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The process of decomposition of supersaturated solid solutions and the allocation of excess phases occupy a special place among other phase transformations, as these processes occur during the final operations of heat treatment, forming the special properties of alloys. The aim of this work is to develop a new dispersion-hardened alloy based on iron. Material for study is the new dispersion-hardened alloy based on iron, which melting was carried out in a vacuum induction furnace. As received steel, the maximum hardening is observed after aging at 800 °C. Study of the microstructure confirmed the presence of dispersed particles. Their greatest accumulation observed in the boundaries of subgrains and grains, which is associated with a high degree of defectiveness of the crystal structure of these areas of the alloy. In the body of the grain the presence of the dispersed particles is minimized. The elemental composition of high-alloy austenitic heat resisting steels determined by energy dispersive registration line intensities of characteristic x-rays of the specimen, resulting from the irradiation of the microvolume of the sample in electron probe Spectragamescasino th at with the increase in the number of dispersed particles changes substantially the ratio of the content of iron and chromium, which is associated with the precipitation of chromium carbides during the aging process began. The content of chemical elements in the investigated steels varies considerably depending on their location. This is due to the accumulation of alloying elements and their chemical compounds in the dispersion particles. In the body of the grain is substantially dominated by the iron matrix and the content of such alloying elements as manganese and nickel.

Keywords: dispersion hardening; the iron-based alloy; aging; structure; chemical composition

Введение

Процессы распада пересыщенных твердых растворов и выделения избыточных фаз занимают особое место среди других фазовых превращений, поскольку именно эти процессы происходят во время заключительных операций термической обработки, формирующих особые свойства сплавов [1].

Состояние пересыщенного твердого раствора достигается обычно быстрым охлаждением, а именно закалкой сплава от температур, при которых компоненты сплава образуют твердый раствор [2].

Распад твердого раствора происходит в области температур устойчивого гетерогенного состояния, одновременно обеспечивающей достаточную диффузионную подвижность атомов компонентов сплава. Процессы распада дают возможность получать состояния сплавов с уникальными свойствами [3-5].

Большой интерес представляет процесс упрочнения – дисперсионное твердение. Особенность процессов распада твердых растворов во многих сплавах – разнообразие продуктов распада и структурных состояний [6].

Таким образом, разработка новых дисперсионно-твердеющих сплавов на основе железа и их изучение является актуальным вопросом.

Анализ литературных данных

Основные структурные изменения при старении сводятся к фазным этапам распада пересыщенного твердого раствора, полученного в результате закалки сплава.

Так как распад пересыщенного раствора является диффузионным процессом, то степень распада, тип выделений из раствора, их дисперсность, форма и другие структурные характеристики зависят

от температуры и продолжительности старения и, конечно, от природы сплава, его химического состава по основным компонентам [7-9].

Кроме того, на структуру состаренного сплава влияют примеси, температура нагрева и скорость охлаждения при закалке, пластическая деформация перед закалкой и после закалки (перед старением), продолжительность вылеживания закаленного сплава при комнатной температуре перед искусственным старением и многие другие факторы.

Зависимость структуры состаренного сплава от большого числа факторов и многостадийность процесса распада пересыщенного твердого раствора в сочетании с высокой дисперсностью выделений, особенно на начальных этапах распада, весьма осложняют изучение структурных изменений при старении [10].

Кроме того, полезные данные получают, изучая изменение механических и физических свойств, особенно электросопротивления, при старении. Это изучение свойств позволяет делать предположения, а в отдельных случаях и выводы о характере и последовательности структурных изменений, прежде всего на ранних стадиях распада раствора, когда возможности прямых структурных методов ограничены [8-10].

Цель работы

Целью данной работы является разработка нового дисперсионно-твердеющего сплава на основе железа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить структуру полученного сплава после старения;
- исследовать распределение химических элементов в разработанном сплаве на основе железа.

Материал и методика исследования

Материалом для исследования является новый дисперсионно-твердеющий сплав на основе железа, плавка которого была проведена в вакуумной индукционной печи типа ОКБ-862. Полученный сплав является высоколегированной аустенитной жаропрочной сталью, химический состав указан в табл. 1.

Механические испытания были проведены при комнатной температуре согласно ГОСТ 1497-84 на универсальной машине, соответствующей ГОСТ 28840-90. Испытаниям подвергались стандартные образцы для испытаний на одноосное растяжение при комнатной температуре, длина образцов составляла 100 мм. Значения прочностных характеристик сплава после закалки при температуре 1180 °С и старении 800 °С длительностью 10 часов с последующим охлаждением на воздухе приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав полученного сплава

Элемент	Содержание, %	Погрешность, %
Mn	5,50	± 0,03
Si	1,35	± 0,014
C	0,50	± 0,024
Cr	16,20	± 0,011
Ni	5,95	± 0,02
Co	1,80	± 0,04
Cu	1,85	± 0,017
V	1,10	± 0,017
Nb	0,50	± 0,042
Mo	0,85	± 0,05
P	0,045	± 0,006
S	0,010	± 0,0024
Fe	64,35	± 0,07

Таблица 2 – Механические характеристики сплава

σ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	ψ , %
720	1140	30	34

Микроструктуру полученной стали исследовали методом на растровом электронном микроскопе РЭМ-106И.

Обсуждение результатов

Легирование оказывает влияние на получаемые характеристики прочности стали при всех способах ее упрочнения, причем в каждом способе сказываются свои особенности этого влияния. Легирование исследуемой стали определенными элементами создает предпосылку для ее упрочнения либо непосредственно, либо (главным образом) за счет дисперсионного твердения, и в то же время способствует получению новых ценных свойств.

Основной недостаток дисперсионного твердения заключается в резком понижении характеристик пластичности и увеличении склонности к хрупкому разрушению. Дисперсионное твердение может быть использовано наиболее эффективно в сочетании с другими обработками, а именно:

1. В комбинации с наклепом. Наклеп, усиливая эффект дисперсионного твердения в направлении повышения прочности, в то же время приводит к измельчению зерна феррита, что уменьшает склонность стали к хрупкому разрушению. Такая комбинированная обработка может быть использована, например, для получения высокопрочного тонколистового материала, в котором наклеп легко достигается путем холодной прокатки или подкатки.

2. В сочетании с аустенитно-мартенситным превращением, в частности, как средство

дополнительного упрочнения сорбитной основной массы, в которой феррит имеет очень мелкое зерно. Последняя может быть получена либо в результате обычной мартенситной закалки и последующего отпуска, либо в результате нормализации стали со средним или несколько пониженным содержанием углерода. В обоих случаях при отпуске одновременно реализуется и эффект дисперсионного твердения.

Общим достоинством дисперсионного твердения как средства упрочнения стали по сравнению с обычной закалкой и отпуском является меньшая зависимость механических свойств от размеров сечения обрабатываемой заготовки. Это относится особенно к тем случаям, когда скорость разложения твердого раствора (упрочняющего элемента в железе) мала. В качестве упрочняющей фазы можно использовать стойкие карбиды, позволяющие получить существенное дополнительное упрочнение при отпуске.

В полученной стали максимальное твердение наблюдается после старения при 800 °С. Исследования микроструктуры (рис. 1) подтвердили наличие дисперсных частиц. Как и ожидалось, их наибольшее скопление наблюдается по границам субзерен (рис. 1, точка 1) и зерен (рис. 1, точка 2), что связано с высокой степенью дефектности кристаллического строения данных участков сплава. В теле зерна (рис. 1, точка 3) наличие дисперсных частиц сводится к минимуму, что характерно для всех дисперсионно-твердеющих сплавов.

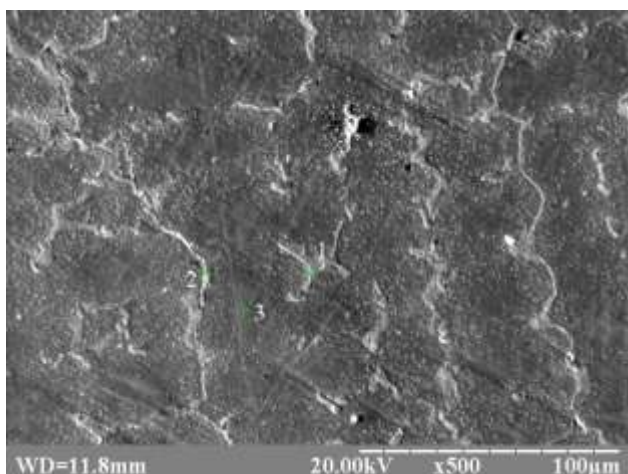


Рис. 1 – Электронная микроскопия исследуемой высоколегированной аустенитной жаропрочной стали

Элементный состав высоколегированной аустенитной жаропрочной стали определен энергодисперсионной регистрацией интенсивности линий характеристического рентгеновского излучения образца, возникающего в результате облучения микрообъема образца электронным зондом (рис. 2). Спектрограммы получены и для всех исследуемых точек, указанных на рис. 1. Анализ полученного

элементного состава представлен в виде круговых диаграмм на рис. 3.

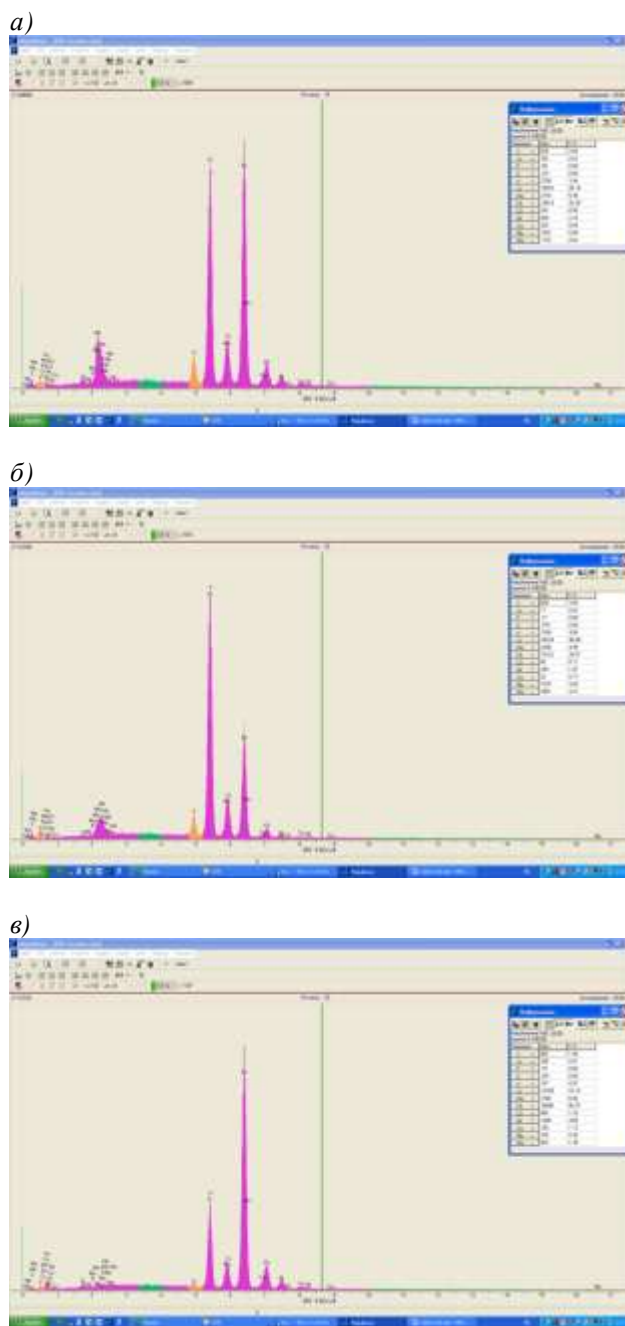


Рис. 2 – Интенсивность линий характеристического рентгеновского излучения: а) – в точке 1; б) – в точке 2; в) – в точке 3

Распределение химических элементов по границам субзерен, по границам зерен и в теле зерна в полученной стали показано на рис. 4.

С увеличением количества дисперсных частиц существенно меняется соотношение содержания железа и хрома, что связано с выделением карбидов хрома в процессе старения стали (рис. 5).

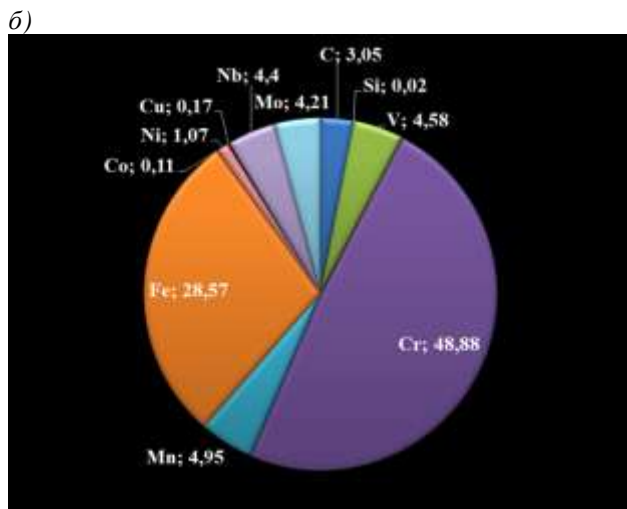
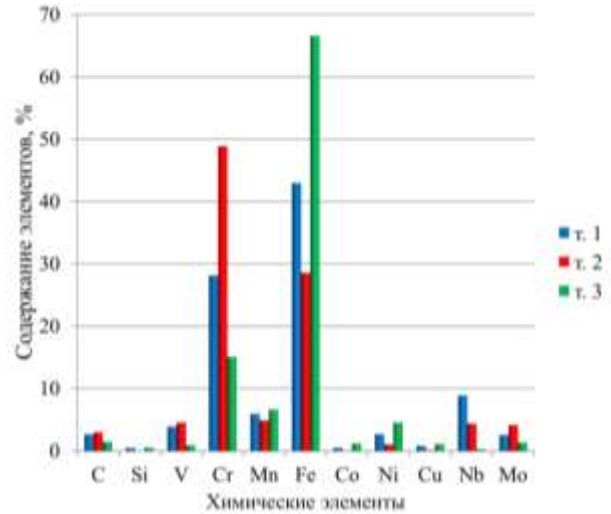
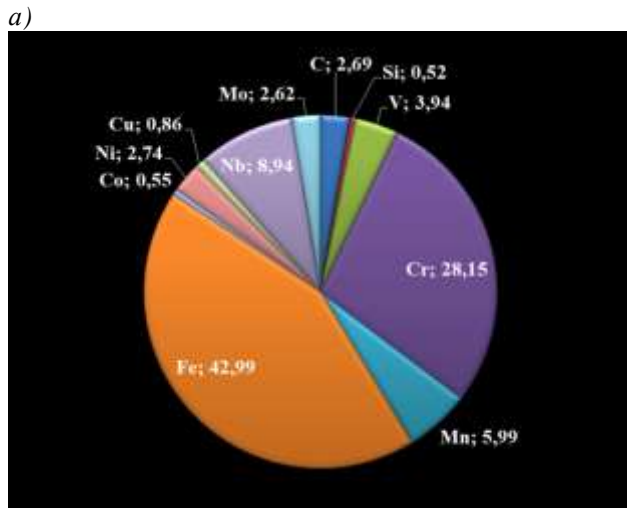


Рис. 4 – Распределение химических элементов по границам субзерен (т. 1), по границам зерен (т. 2), в теле зерна (т. 3) в полученной стали

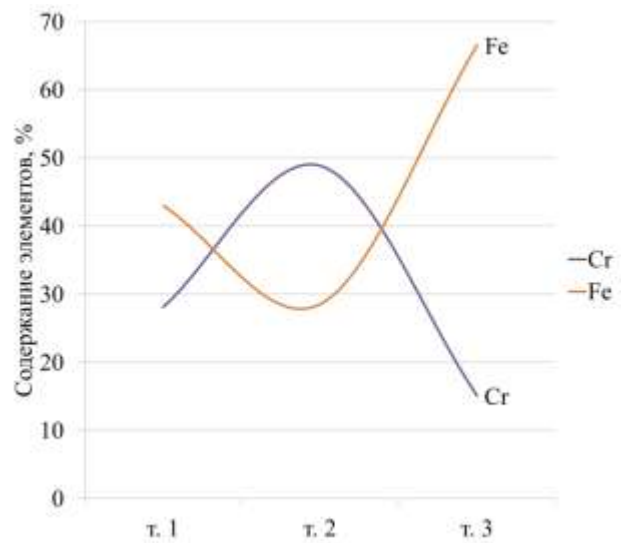


Рис. 5 – Изменение содержания железа и хрома в исследуемой стали в зависимости от их расположения

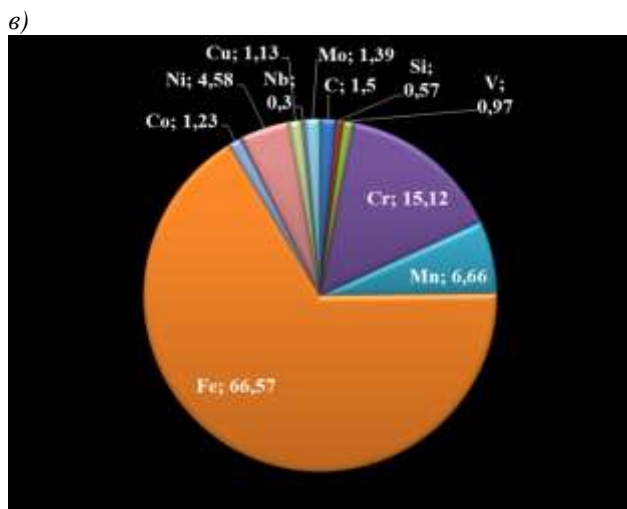


Рис. 3 – Содержание химических элементов в полученной стали, %: а) – в точке 1; б) – в точке 2; в) – в точке 3

Содержание химических элементов в исследуемой стали существенно изменяется в зависимости от их расположения. Это связано со скоплением легирующих элементов и их химических соединений в дисперсионных частицах. В теле зерна существенно преобладает железная матрица (рис. 5) и содержание таких легирующих элементов, как марганец и никель (рис. 6).

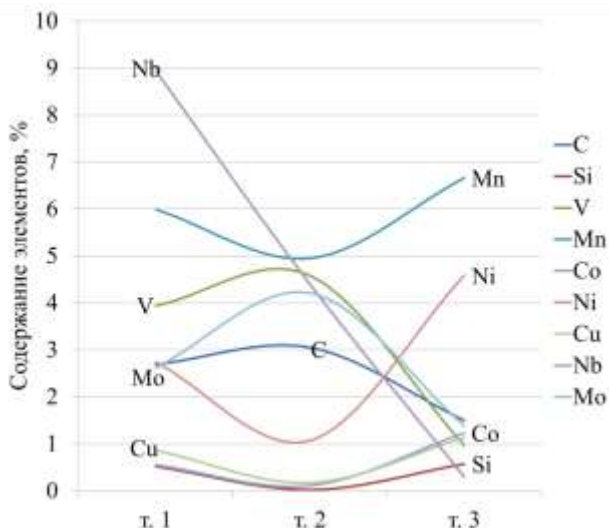


Рис. 6 – Изменение содержания химических элементов в исследуемой стали в зависимости от их расположения

Выводы

1. Исследования микроструктуры исследуемого сплава на основе железа подтвердили наличие дисперсных частиц. Наибольшее их скопление наблюдается по границам субзерен и зерен. В теле зерна наличие дисперсных частиц сводится к минимуму.

2. С увеличением количества дисперсных частиц существенно меняется соотношение содержания железа и хрома, что связано с выделением карбидов хрома в процессе старения стали.

3. Содержание химических элементов в исследуемой стали существенно изменяется в зависимости от их расположения.

4. В теле зерна существенно преобладает железная матрица и содержание таких легирующих элементов, как марганец и никель.

Список литературы

- 1 **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.
- 2 **Barbarino, S.** A review on shape memory alloys with applications to morphing aircraft / **S. Barbarino, E. I. Saavedra Flores, R. M. Ajaj, I. Dayyani, M. I. Friswell** // *Smart Mater. Struct.* – 2014. – № 23 (063001). – P. 1–19. – doi:10.1088/0964-1726/23/6/063001.
- 3 **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.
- 4 **Jani, J. M.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities / **J. M. Jani, M. Leary, A.**

- 5 **Subic, M. A. Gibson** // *Materials & Design*. – 2014. – № 56. – P. 1078–1113. – doi:10.1016/j.matdes.2013.11.084.
- 6 **Huang, S.** Optimisation of Ni–Ti shape memory alloy response time by transient heat transfer analysis / **S. Huang, Martin Leary, Tamer Attalla, K. Probst, A. Subic** // *Materials & Design*. – 2012. – № 35. – P. 655–663. – doi:10.1016/j.matdes.2011.09.043.
- 7 **Miyazaki, S.** Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys / **S. Miyazaki, H. Y. Kim, H. Hosoda** // *Mat Sci Eng a-Struct*. – 2006. – № 438. – P. 18–24. – doi:10.1016/j.msea.2006.02.054.
- 8 **Mereau, T. M.** Nitinol compression staples for bone fixation in foot surgery / **T. M. Mereau, T. C. Ford** // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2006. – № 96 (2). – P. 6–102. – doi:10.7547/0960102.
- 9 Shape Memory Alloy Shape Training Tutorial. (PDF). [Web] Retrieved on 2011-12-04: <http://www-personal.umich.edu/~btrease/share/SMA-Shape-Training-Tutorial.pdf>.
- 10 **Hartl, D. J.** Aerospace applications of shape memory alloys / **D. J. Hartl, D. C. Lagoudas** // *P I Mech Eng G-J Aer*. – 2007. – № 221 (G4). – P. 535–552. – doi:10.1243/09544100jaero211.
- 11 **Dilibal, S.** On the Volume Change in Co-Ni-Al during Pseudoelasticity / **S. Dilibal, H. Sehitoglu, R. Hamilton, H. J. Maier, Y. Chumlyakov** // *Materials Science and Engineering A*. – 2011. – № 528. – P. 2875–2881.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Akimov, O. V., Nuri Ahmed S. M.** Splavy s efektom pamyati formy. Istoriya poyavleniya i razvitiya, fizika protsesa ih unikalnykh svoystv. *Visnik Natsionalnogo tehnicznogo universitetu*, 2015, 14, 42–49.
- 2 **Barbarino, S., Saavedra Flores, E. I., Ajaj, R. M., Dayyani, I., Friswell, M. I.** A review on shape memory alloys with applications to morphing aircraft. *Smart Mater. Struct.*, 2014, 23(063001), 1–19, doi:10.1088/0964-1726/23/6/063001.
- 3 **Akimov, O. V., Nuri Ahmed, S. M.** Vliyanie termicheskoy obrabotki na svoystva novogo splava na osnove zheleza. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 6(11 (78)), 35–40, doi:10.15587/1729-4061.2015.56370.
- 4 **Jani, J. M., Leary, M., Subic, A., Gibson, M. A.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities. *Materials & Design*, 2014, 56, 1078–1113, doi:10.1016/j.matdes.2013.11.084.
- 5 **Huang, S., Martin Leary, Tamer Attalla, K. Probst, A. Subic** Optimisation of Ni–Ti shape memory alloy response time by transient heat transfer analysis. *Materials & Design*, 2012, 35, 655–663, doi: 10.1016/j.matdes.2011.09.043.
- 6 **Miyazaki, S., Kim, H. Y., Hosoda, H.** Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys. *Mat Sci Eng a-Struct*, 2006, 438, 18–24, doi:10.1016/j.msea.2006.02.054.
- 7 **Mereau, T. M., Ford, T. C.** Nitinol compression staples for bone fixation in foot surgery. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2006, 96 (2), 6–102. doi: 10.7547/0960102.
- 8 Shape Memory Alloy Shape Training Tutorial. (PDF). Retrieved on 2011-12-04: <http://www-personal.umich.edu/~btrease/share/SMA-Shape-Training-Tutorial.pdf>

- 9 **Hartl, D. J., Lagoudas, D. C.** Aerospace applications of shape memory alloys. *PI Mech Eng G-J Aer*, 2007, **221** (G4), 535–552, doi:10.1243/09544100jaero211.
- 10 **Dilibal, S., Sehitoglu, H., Hamilton, R., Maier, H. J., Chumlyakov, Y.** On the Volume Change in Co-Ni-Al during Pseudoelasticity. *Materials Science and Engineering A*, 2011, **528**, 2875–2881, doi:10.1016/j.msea.2010.12.056.

Сведения об авторах (About authors)

Ахмед Сундус Мохаммед – аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Ahmed Sundus Mohammed – PhD student, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Акимов Олег Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Oleg Akimov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Костик Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: eklitus@gmail.com.

Kateryna Kostyk – PhD of Technical Sciences, associate Professor, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: eklitus@gmail.com.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ахмед, С. М. Исследование дисперсионного твердения сплава на основе железа / **С. М. Ахмед, О. В. Акимов, Е. А. Костик** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 11-16. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.02.

Please cite this article as:

Ahmed Sundus Mohammed, Akimov, O., Kostyk, K. The study of dispersion hardening of the iron-based alloy. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 11–16, doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.02.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ахмед, С. М. Дослідження дисперсійного твердіння сплаву на основі заліза / **С. М. Ахмед, О. В. Акімов, К. О. Костик** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 11-16. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.02.

АНОТАЦІЯ Метою даної роботи є розробка нового дисперсійно-тверднучого сплаву на основі заліза. Дослідження мікроструктури досліджуваного сплаву на основі заліза підтвердили наявність дисперсних частинок. Найбільше їх скопчення спостерігається по границях субзерн і зерен. У тілі зерна наявність дисперсних частинок зводиться до мінімуму. Із збільшенням кількості дисперсних частинок істотно змінюється співвідношення вмісту заліза і хрому, що пов'язано з виділенням карбідів хрому в процесі старіння сталі. Вміст хімічних елементів у досліджуваній сталі суттєво змінюється залежно від їх розташування. У тілі зерна переважає залізна матриця і зміст таких легувальних елементів, як марганець і нікель.

Ключові слова: дисперсійне твердіння; сплав на основі заліза; старіння; структура; хімічний склад.

Поступила (received) 11.12.2016

МОДЕЛЬ ПОШИРЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ В ПЛИННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Й. Й. БІЛИНСЬКИЙ¹, М. В. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ^{2*}, В. Б. БУРДЕЙНИЙ¹

¹ Кафедра електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА

² Філія центр метрології та газорозподільних систем НАК «Нафтогаз України», Боярка, УКРАЇНА

*email: mgladyshevskiy@yahoo.com

АНотація В роботі проведено дослідження особливостей розповсюдження акустичних хвиль ультразвукового діапазону в плинному середовищі. Дослідження дало змогу розробити модель розповсюдження ультразвукових хвиль в межах ближньої зони. Детальний аналіз розповсюдження хвиль дало змогу встановити тиск ультразвукової хвилі на приймачі, залежно від швидкості потоку та частоти коливань. Таким чином, результати моделювання дозволили зробити висновок про можливість розробки метода вимірювання швидкості потоку на основі використання ближньої зони ультразвукового перетворювача.

Ключові слова: ультразвукові коливання; ближня зона; тиск звукової хвилі; швидкість потоку; частота ультразвукових коливань; швидкість поширення хвилі; плинне середовище

MODEL OF DISTRIBUTION OF ULTRASONIC WAVES IN FLOWING MEDIUM

Y. BILYNSKY^{1*}, M. GLADYSHEVSKYI^{2*}, V. BURDANYI¹

¹ Department of Electronic and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, UKRAINE

² Center for Metrology and gas distribution network NJSC "Naftogaz of Ukraine", Boyarka, UKRAINE

ABSTRACT This article shows the research done upon characteristics of acoustic waves propagation in ultrasonic range of frequencies in flowing medium. As of today, such research is motivated not so much as scientific interest as practical need. And this need explained as that ultrasonic waves is a good tool in solving wide range of technical and scientific tasks. Longitudinal and transversal waves, that are being distributed through medium as acoustic waves are the waves of small volumetric change (longitudinal waves) and waves of deformation without volume change (transversal waves). Speed of acoustic wave propagation (speed of sound) depends on if the waves are longitudinal or transversal not only on medium. Volume change that is caused by propagation of longitudinal waves is given as pressure change in a medium. This pressure change due to wave propagation in the point is defined as acoustic pressure. Picture 1 (a) shows function change along x axis. This function creates number of oscillations where x tends to increase. When $x \approx x_0 = a^2/\lambda$ it reaches its last maximum and then slowly goes down. And the area $x < x_0$ in which function $|I|$ creates oscillations is called as near zone. On Picture 3 dependency graph of function $|I|$ on flow rate and ultrasonic wave frequency is shown. From the graph can be seen that only in some relations of flow rate and frequency function $|I|$ reaches its maximum value. Based on this modulation the next one became possible which is shown on Picture 4 and represents the dependence of acoustic pressure on flow rate and frequency. Equation 6 represents a mathematical model of ultrasonic wave propagation in flowing medium, which shows how signal behaves in the near zone due to the frequency and flow rate change. The simulation results allow concluding the possibility of developing a new method for flow rate measurement based on use of near zone of ultrasonic propagation.

Keywords: ultrasonic waves; near zone; sound wave pressure; flow rate; ultrasonic wave frequency; speed of wave propagation; flowing medium

Вступ

На сьогодні, існуючі методи вимірювання витрати плинних середовищ, які наведені в роботі [1], дозволяють задовольнити переважно більшість сфер застосування. В результаті аналізу існуючих методів вимірювання витрати, саме для нафтогазової сфери було виділено ультразвуковий метод вимірювання, як найбільш актуальний на сьогоднішній день через ряд технічних та метрологічних характеристик [2]. Незважаючи на те, що існуючі ультразвукові витратоміри задовольняють майже всі вимоги промисловості, все ж таки вдалося знайти проблемну область, а саме наповнення балонів автомобілів на автомобільних газонаповнювальних станціях, що

пов'язана з використанням витратомірів малих діаметрів та не постійними режимами роботи [3]. В свою чергу, це спонукало до детального дослідження ультразвукових коливань, та їх можливостей використання на малих відстанях.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження особливостей розповсюдження акустичних хвиль ультразвукового частотного діапазону в плинному середовищі та отримання математичної моделі розповсюдження ультразвукової хвилі в плинному середовищі в межах ближньої зони.

Викладення основного матеріалу

Дослідження особливостей розповсюдження акустичних хвиль ультразвукового частотного діапазону в газах і твердих тілах мотивуються не стільки чисто науковими інтересами, скільки практичними потребами. Останнє пояснюється тим, що ультразвукові хвилі являються ефективним інструментом для рішення широкого переліку технічних і наукових задач.

Поздовжні і поперечні хвилі, що поширюються в середовищі як акустичні хвилі, є хвилями невеликих змін об'єму (поздовжні акустичні хвилі) і хвилями деформації без змін об'єму (поперечні хвилі), відповідно. Плинні середовища, за винятком в'язкопружних флюїдів, не підтримують деформації, і в результаті зсуву хвилі не поширюються в середовищі. Швидкість поширення акустичних хвиль (швидкість звуку) залежить від того, чи є хвилі поздовжні або поперечні, а не лише від середовища.[4]

Для акустичних хвиль, що поширюються в плинному середовищі, тобто поздовжніх акустичних хвиль, зміна об'єму, викликана поширенням поздовжніх хвиль, представлена як зміна тиску в середовищі. Якщо швидкість потоку рідини набагато менша, ніж швидкість звуку в середовищі, розповсюдження акустичних хвиль описується як зміна тиску P відносно статичного тиску (тиску без поширення акустичних хвиль, P_0). Зміна тиску в результаті поширення хвилі у точці визначається як акустичний [5].

У процесі перетворення механічних коливань в електричні в результаті проходження через деяке середовище в перетворювачі відбувається усереднення сигналу, прийнятого різними точками ультразвукового приймача. При роботі одного й того ж перетворювача як випромінювача так і приймача вираз для тиску на приймачі має вигляд [6]:

$$P = \frac{K}{S_a} P_0 I^2, \tag{1}$$

де S_a – площа перетворювача; K – коефіцієнт пропорційний формі та площі перетворювача; функція I для точок на осі дископодібного перетворювача радіусом a визначається як:

$$|I| = |2\sin[ka^2/(4x)]| = |2\sin[\pi a^2/(2\lambda x)]| \tag{2}$$

Отримана функція $|I|$ має максимуми при $x = a^2/[(2n - 1)\lambda]$ та мінімуми при $x = a^2/(2n\lambda)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$).

На рис. 1, (а) наведено зміну функції $|I|$ вздовж осі x . Функція створює ряд осциляцій зі збільшенням x . При $x \approx x_0 = a^2/\lambda$ вона досягає останнього максимуму (точне значення $x = x_0 - \lambda/4$) і потім монотонно зменшується відповідно до закону

$|I| = S_a/(\lambda x)$. Область $x < x_0$, в якій функція $|I|$ створює осциляції, називають ближньою зоною, а область $x > x_0$ монотонного спаду функції $|I|$ – дальньою зоною [7].

На рис. 1 (а) штриховою лінією показана залежність $|I|$ від $x\lambda/a^2$. Вважається, що за період коливань амплітуда зменшується в 5 разів. Формування максимумів і мінімумів в ближній зоні перетворювача пояснюється великою різницею відстаней від різних точок перетворювача до деякої досліджуваної точки й пов'язано з цим різницею фаз сигналів, що приходять через середовище. Згідно з правилом Френеля поверхню випромінювача розбивають на концентричні кільця (зони Гюйгенса – Френеля) з центром в проекції точки, що відповідає центру перетворювача.

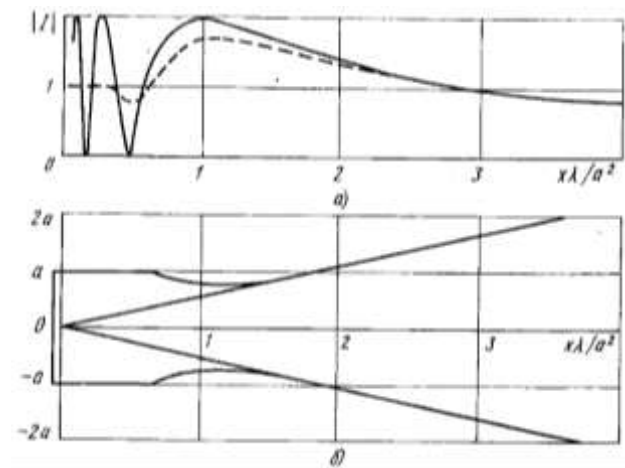


Рис. 1 – Поле на осі перетворювача (а) і його схематичне зображення (б)

Середня відстань від сусідніх кілець до точки спостереження відрізняється на $\lambda/2$, тому сигнали від сусідніх кілець приходять в протифазі. Площа S_k кожного наступного кільця збільшується зі збільшенням середньої відстані до кільця, так що завжди $S_k/r_k = \pi\lambda$, в зв'язку з чим сигнали, що випромінюються сусідніми кільцями, однакові і, якщо на перетворювачі розміщено парну кількість кілець, відбувається гасіння їх сигналів, тобто в цій точці поля спостерігають мінімум. При непарній кількості зон Гюйгенса– Френеля на поверхні перетворювача спостерігають максимум, що відповідає $2P_0$ [8].

Додавання дії сусідніх зон Гюйгенса-Френеля можна уявити так, що сигнали від половинок сусідніх кілець взаємно компенсуються, а від внутрішньої частини першої зони (в центрі випромінювача) і зовнішньої частини останньої (крайньої) зони – ні.

Випромінювання елементарними джерелами послаблює дію більш віддалених зон Гюйгенса-Френеля та повного гасіння сигналів від сусідніх кілець не відбувається. Якщо точка дії знаходиться в безпосередній близькості від перетворювача, на

ньому укладається дуже багато зон Гюйгенса-Френеля. Накопичена різниця сигналів від сусідніх кілець дорівнює збуджуючому тиску P_0 на перетворювачі.[9]

Розглянуту побудову можна виконати не тільки для точок на осі перетворювача, але і для інших точок простору. При цьому деякі кільця Гюйгенса-Френеля будуть неповними через обмежені розміри перетворювача. Однак, якщо точка знаходиться досить близько до перетворювача, впливом сигналів від периферійних неповних кілець на значення P можна знехтувати через його мале значення.

Розглянемо поширення ультразвукового сигналу в плинному середовищі як показано на рис. 2

У випадку поширення ультразвукової хвилі у плинному середовищі довжина хвилі λ залежно від густини ρ_c середовища буде змінюватися. Але оскільки плинне середовище має швидкість v_c , то швидкість поширення звуку ультразвукової хвилі буде визначатися як $v = v_c \cos \alpha + v_y$, де кут α - це кут між швидкістю поширення ультразвукової хвилі та напрямком руху плинного середовища.

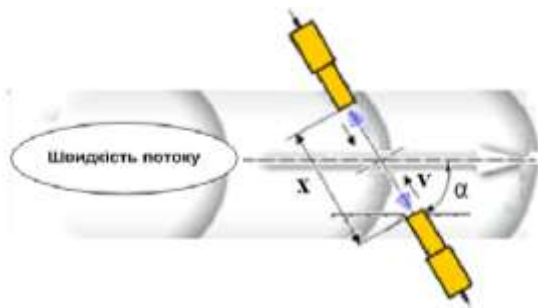


Рис. 2 – Поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі

Тоді при незмінній відстані x між сенсорами формула (2) набуде вигляду

$$|I| = |2\sin[kx]| = |2\sin[2\pi fx/v]|, \quad (3)$$

де v – швидкість поширення ультразвуку;
 f – частота ультразвукової хвилі.

Якщо ультразвукові перетворювачі знаходяться в природному газу, швидкість поширення в якому визначається як [10]

$$v_y = 18,59 \left(T \chi \frac{K}{\rho_c} \right)^{0,5}, \quad (4)$$

де χ – показник адіабати природного газу, який при тисках близьких до атмосферного визначається як $\chi = \sum \chi_i$, χ_i – показник адіабати i -тої компоненти суміші;

K – коефіцієнт стисливості газу, що визначається за методами NX19 мод. або GERG-19, які деталізовані в ГОСТ 30319.2;

ρ_c – густина природного газу за стандартних умов.

Функція I набуде вигляду [11]:

$$|I| = |2\sin[2\pi fx/(v_c \cos \alpha + 18,59 \left(T \chi \frac{K}{\rho_c} \right)^{0,5} x)]|, \quad (5)$$

Обговорення результатів

На рис 3 показано графік функції I залежно від швидкості потоку v_c та частоти f ультразвукової хвилі.

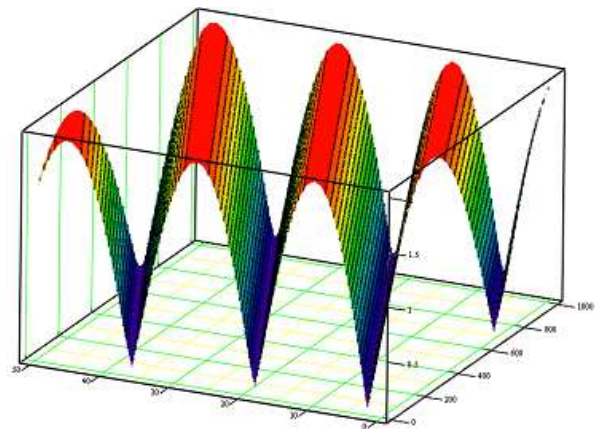


Рис. 3 – Графік функції I

З графіка видно, що тільки при певних співвідношеннях швидкості потоку і частоти функція I набуває максимального значення. Розрахунок проведений в діапазоні частот 196 – 205 кГц при зміні швидкості потоку від нуля до 30 м/с.

Тоді тиск на приймачі з урахуванням ступеня зміни σ частотної характеристики та затухання R шляхом послідовних перетворень формул (1) та (5) буде визначатися як

$$P = \frac{K}{S_a} P_0 e^{\frac{-(f-f_0)^2 - (\frac{v}{v_0})^2 R}{2\sigma^2}} \times \left[2 \sin \left[\frac{2\pi fx}{v_c \cos \alpha + 18,59 \left(T \chi \frac{K}{\rho_c} \right)^{0,5} x} \right] \right]^2, \quad (6)$$

де f_0 – основна частота.

На рис. 4 показаний графік тиску залежно від швидкості потоку v_c та частоти f ультразвукової хвилі при відомому значенні густини ρ_c , відстані між перетворювачами x та температури T .

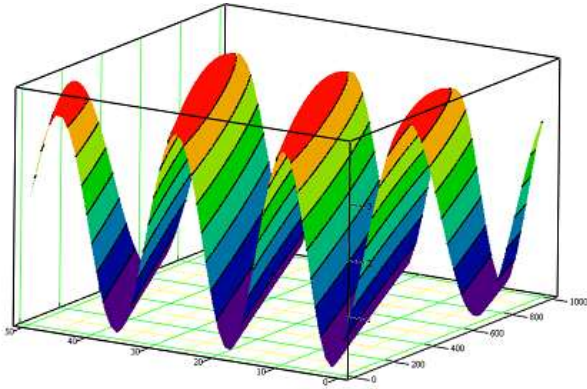


Рис. 4 – Графік статичного тиску ультразвукової хвилі

Формула (6) представляє собою математичну модель поширення ультразвукової хвилі в плинному середовищі, яка дає відповідь як веде себе сигнал в ближній зоні внаслідок зміни частоти та швидкості потоку. При цьому на величину вихідного сигналу суттєво впливає густина ρ_c плинного середовища, його температура T . Крім цього конкретно для природного газу має місце вплив показника адіабати χ та коефіцієнт стисливості газу K .

Висновки

Проведено дослідження особливостей розповсюдження акустичних хвиль ультразвукового діапазону в плинному середовищі. Розроблено математичну модель розповсюдження хвиль в плинному середовищі в межах ближньої зони. Встановлено основні параметри, які впливають на процес розповсюдження ультразвукових хвиль. Результати моделювання дозволили зробити висновок про можливість розробки метода вимірювання швидкості потоку на основі використання ближньої зони ультразвукового перетворювача.

Список літератури

1. Білинський, Й. Й. Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація [Електронний ресурс] / Й. Й. Білинський, М. О. Стасюк, М. В. Гладішевський // *Наукові праці ВНТУ*. – 2015. – № 1. – Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3970/5732>.
2. Білинський, Й. Й. Аналіз ультразвукових засобів вимірювального контролю витрати плинних середовищ / Й. Й. Білинський, М. В. Гладішевський // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2016. – №2. – С. 23–29.
3. Furio Cascetta Measuring of compressed natural gas in automotive application: A comparative analysis of mass versus volumetric metering methods / Furio Cascetta, Giuseppe Rotondo, Marilena Musto // *Flow Measurement and Instrumentation*. – 2008. – Volume 19, Issue 6. – P. 338–341. – doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2008.05.003.

4. Tijdeman, H. On the propagation of sound waves in cylindrical tubes / H. Tijdeman // *Journal of Sound and Vibration*. – 1975. – Volume 39, Issue 1. – P. 1–33. – doi: 10.1016/S0022-460X(75)80206-9.
5. Bjerring, O. J. Non-invasive measurement of pressure gradients in pulsatile flow using ultrasound / O. J. Bjerring, T. M. Sand // *IEEE International Ultrasonics Symposium*. – 2013. – P. 2022–2025. – doi: 10.1117/12.2006732
6. Gudra, T. Ultrasonic transducers with directional converters of vibration of longitudinal-longitudinal type and longitudinal-longitudinal-longitudinal type intended to work in gaseous media / T. Gudra, L. Palasz // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2013. – No 133(5), P. 3600–3600. – doi: 10.1121/1.4806670.
7. Крюков, И. И. О размере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси / И. И. Крюков // *Акустический журнал*. – 1995. – Т. 41, № 1. – С. 101–105.
8. Mensah, S. Near-field ultrasound tomography / S. Mensah, E. Franceschini // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2007. – No 121(3). – P. 1423–33.
9. Zhu, H.-M. Statistics of ultrasonic speckles reflected from a rough surface / H.-M. Zhu, Q.-H. Qin // *Archive of Applied Mechanics*. – 2002. – No 72(2). – P. 189–198. – doi: 10.1007/s00419-002-0205-1.
10. ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. – Введ. 1996-04-12. – М.: Издательство стандартов. – 1997. – 72с.
11. Blomme, E. Plane-wave analysis of the near field of light diffracted by ultrasound / E. Blomme, O. Leroy // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 1992. – No 91(3). – P. 1474–1483.

Bibliography (transliterated)

1. Bilynsky, Y. Y., Stasjuk, M. O., Hladysevs'kyj, M. V. Analiz metodiv i zasobiv kontrolju vytrat ridkych i hazopodibnych seredovysc ta ichnja klasyfikacija [Web]. *Naukovi praci VNTU*, 2015, 1, Rezym dostup: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3970/5732>.
2. Bilynsky, Y. Y., Hladysevs'kyj, M. V. Analiz ultrazvukovykh zasobiv vymirjuval'noho kontrolju vytraty plynnykh seredovysc. *Vymirjuval'na ta obcysljuval'na tehnika v tehnolohichnykh procesakh*, 2016, 2, 23–29.
3. Furio, C., Giuseppe, R., Marilena, M. Measuring of compressed natural gas in automotive application: A comparative analysis of mass versus volumetric metering methods. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2008, 19(6), 338–341, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2008.05.003.
4. Tijdeman, H. On the propagation of sound waves in cylindrical tubes. *Journal of Sound and Vibration*, 1975, 39(1), 1–33, doi: 10.1016/S0022-460X(75)80206-9.
5. Bjerring, O.J., Sand, T.M. Non-invasive measurement of pressure gradients in pulsatile flow using ultrasound, *IEEE International Ultrasonics Symposium*, 2013, 2022–2025, doi: 10.1117/12.2006732.
6. Gudra, T., Palasz, L. Ultrasonic transducers with directional converters of vibration of longitudinal-longitudinal type and longitudinal-longitudinal-longitudinal type intended to work in gaseous media. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2013, 133(5), 3600–3600, doi: 10.1121/1.4806670.
7. Krjukov, Y. Y. O razmere blyznej zony ploskych ultrazvukovykh preobrazovatelej, nachodjasychsja na odnoj osy. *Akusticeskyj zurnal*, 1995, T. 41, 1, 101–105.

8. **Mensah, S., Franceschini, E.** Near-field ultrasound tomography. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2007, **121**(3), 1423–33.
9. **Zhu, H. M., Qin, Q. H.** Statistics of ultrasonic speckles reflected from a rough surface. *Archive of Applied Mechanics*, 2002, **72**(2), 189–198, doi: 10.1007/s00419-002-0205-1.
10. **GOST 30319.2-96.** *Haz pryrodnyii. Metodyi rasceta fizyceskykh svojstv, Vved.* 1996-04-12, M.: Yzdatefstvo standartov, 1997, 72 p.
11. **Blomme, E., Leroy, O.** Plane-wave analysis of the near field of light diffracted by ultrasound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1992, **91**(3), 1474–1483.

Відомості про авторів (About authors)

Білінський Йосип Йосипович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри електроніки та наносистем; м. Вінниця, Україна; e-mail: yosyp-bilynsky@ya.ru

Bilynsky Yosyp – Doctor of Technical Sciences, Professor, chairperson of electronics and nanosystem, Vinnytsia National Technical University; Vinnytsia, Ukraine; e-mail: yosyp-bilynsky@ya.ru

Гладишевський Микола Володимирович – головний фахівець філії Центр метрології та газорозподільних систем НАК «Нафтогаз України», м. Боярка, Україна; e-mail: mgladyshevskiy@yahoo.com

Gladyshevskiy Mykola – Lead specialist of Center for Metrology and gas distribution network NJSC “Naftogaz of Ukraine”; Boyarka, Ukraine; mgladyshevskiy@yahoo.com

Бурдейний Валентин Борисович – магістрант кафедри електроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет; м. Вінниця, Україна.

Burdany Valentyn – Master’s degree student, Vinnytsia National Technical University; Vinnytsia, Ukraine.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Білінський, Й. Й. Модель поширення ультразвукових хвиль в плинному середовищі / **Й. Й. Білінський, М. В. Гладишевський, В. Б. Бурдейний** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 17-21. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.03.

Please cite this article as:

Bilynsky, Y., Gladyshevskiy, M., Burdany, V. Model of distribution of ultrasonic waves in flowing medium. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 17–21, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.03.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Билинский, И. И. Модель распространения ультразвуковых волн в изменяющейся среде / **И. И. Билинский, Н. В. Гладишевский, В. Б. Бурдейный** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 17-21. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.03.

АННОТАЦИЯ В работе проведено исследование особенностей распространения акустических волн ультразвукового диапазона в текучей среде. Исследование позволило разработать модель распространения ультразвуковых волн в пределах ближней зоны. Детальный анализ распространения волн дало возможность установить давление ультразвуковой волны на приемнике, в зависимости от скорости потока и частоты колебаний. Таким образом, результаты моделирования позволили сделать вывод о возможности разработки метода измерения скорости потока на основе использования ближней зоны ультразвукового преобразователя.

Ключевые слова: ультразвуковые колебания; ближняя зона; давление звуковой волны; скорость потока; частота ультразвуковых колебаний; скорость распространения волны; текучая среда.

Надійшла (received) 13.12.2016

УДК 539.3:517.988.38:519.6:519.8

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.04

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА, АДАПТИРОВАННЫЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОСТЕННЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М. А. БОНДАРЕНКО

*Кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА
email: marina.bondarenko@tmm-sapr.org*

АННОТАЦИЯ Учитывая особенности формы поверхностей отклика характеристик напряженного состояния тонкостенных машиностроительных конструкций в случае их нелинейного поведения, разработан подход к решению задачи оптимизации. Он состоит в глобальной аппроксимации рассматриваемой функции квадратичной формой, последующем уменьшении приращений независимых переменных и движении от минимума квадратичной формы, построенной на предыдущем шаге, к минимуму вновь построенной аппроксимации. Недостатком предложенного подхода является то, что найденный оптимум может оказаться локальным экстремумом, если минимизируемая функция имеет полихолмистый характер. Тем не менее, он может быть рекомендован для решения практических задач. Разработанный алгоритм был опробован на ряде тестовых задач и продемонстрировал хорошую сходимость.

Ключевые слова: машиностроительная конструкция; нелинейное поведение; оптимизация; поверхность отклика; глобальная аппроксимация; квадратичная форма

OPTIMIZATION METHODS USING RESPONSE SURFACES ADAPTED TO THE TASKS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THIN-WALLED MACHINE STRUCTURES DESIGN PARAMETERS

M. BONDARENKO

*Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE
email: marina.bondarenko@tmm-sapr.org*

ABSTRACT Response surfaces of being evaluated stress state characteristics of thin-walled structures in the case of nonlinear behavior in many cases are characterized by smooth, gentle slope and presence of a plurality of faintly expressed local extrema. This constitute the main difficulty during optimization. An approach to solving the optimization problem that takes into account these peculiarities of these functions shape is developed. It is in the global approximation of the function by quadratic form founding the Hessian matrix using finite difference method for large increments of the independent variables, equal to the intervals of their variation, the subsequent reducing of the independent variables increments and the movement from the minimum of the quadratic form constructed at the previous step, to the minimum of newly constructed approximation. The disadvantage of this approach is that the founded optimum can be a local extremum in the case when minimized function has poli-hilly character. Nevertheless, it can be recommended for solving practical problems because it may be irrational to seek global optimum of function if the first founded optimum is little different of it. Also, it is not worthwhile to seek a global optimum in the case of improving existing structure, but not the design of new one due to the fact that in this case, the optimum located near the nominal values of variable design parameters is of more interest than the remote optimum. The algorithm was tested on a series of classical test problems and it showed good convergence. By improving this approach, it was proposed to "freeze" the Hessian matrix at several steps of the iterative process. For some of test functions considered this correction has allowed to reduce the number of computational iterations, but with a reduction in accuracy, and for some functions it showed its inapplicability. Thus, in practice the proposed algorithm with using the Hessian matrix update correction should take into account the specificity of the response function in each case.

Keywords: machine engineering design; nonlinear behavior; optimization; response surface; a global approximation; quadratic form

Введение

Поверхности отклика оцениваемых характеристик напряженного состояния тонкостенных конструкций в случае их нелинейного поведения во многих случаях характеризуются гладкостью, пологостью и наличием множества неярко выраженных локальных экстремумов (рис. 1). Эта

особенность данных функций составляет определяющую трудность при оптимизации.

В то же время, процесс оптимизации, нацеленный на решение конкретных практических задач, отличается тем, что для практических нужд важно найти пусть не самое лучшее, но достаточно удачное решение. Именно этот критерий, диктуемый реалиями проектных исследований предлагается

использовать в работе с целью модификации общих подходов создаваемых моделей и применяемых методов.

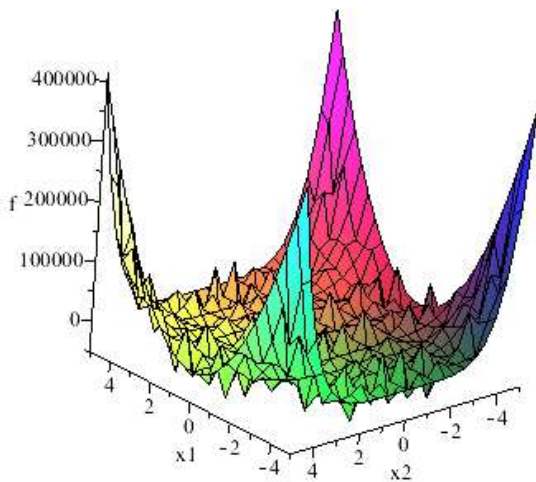


Рис. 1 – Пример, демонстрирующий особенности функций отклика оцениваемых характеристик нелинейных систем

Анализ состояния вопроса

Классические методы оптимизации, примененные к этим функциям, имеют низкую эффективность: работают долго и не всегда дают удовлетворительный результат.

В частности, для минимизации функций отклика рассматриваемого типа были задействованы метод нулевого порядка – метод покоординатного спуска – и метод первого порядка – метод покоординатного спуска в комбинации с методом парабол [1, 2].

В методе покоординатного спуска направление минимизации определяется последовательными вычислениями значений функции и сводятся к построению траектории спуска $\{x_k\}$, вдоль которой целевая функция убывает: $f(x_{k+1}) < f(x_k)$ [3]. Согласно данному методу производится раздельная оптимизация по параметрам функции: один из параметров считается изменяемым, а остальные фиксируются при некоторых значениях. Далее изменяемым становится следующий параметр, а предыдущий фиксируется в значении, полученном на предыдущем шаге. Процесс продолжается до окончания перебора всех параметров.

Суть второго из задействованных методов в том, что на каждом шаге покоординатного спуска в текущей точке исходная функция локально аппроксимируется параболоидом. Таким образом, добиваемся возрастания скорости сходимости метода. Условием экстремума в данном случае является равенство нулю первой производной аппроксимирующей функции по всем параметрам. Далее найденное решение подставляется в исходную

функцию, и если она возросла, размер области аппроксимации уменьшается, например, делится пополам.

В результате применения данных методов наблюдается длительный процесс хождения по оврагам функции.

Метод решения

Таким образом, в качестве альтернативы предлагается аппроксимировать минимизируемую функцию глобально квадратичной формой

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_i x_i + c, \text{ вычислив матрицу Гессе } (\alpha_{ij}) \text{ при помощи метода конечных разностей [4, 5] по}$$

большим приращениям независимых переменных, равным интервалам их варьирования. Известно, что использование численного метода для нахождения производных вносит погрешность в решение. Но, учитывая, что разрабатываемый подход нацелен на решение практических задач, где принцип взаимосвязи переменной отклика и управляющей переменной не известен, т. е. функция отклика не задана аналитически, его применение является оправданным. Данное описание исходной функции менее точное по сравнению с локальной аппроксимацией. Но главным достоинством предложенного метода является то, что «оптимум» будет найден в любом случае. Далее выполняется деление шагов по независимым переменным пополам и цикл повторяется, пока величина $\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ будет оставаться больше заданной погрешности.

Также следует отметить, что найденный в результате задействования данного алгоритма оптимум функции может оказаться локальным экстремумом. Но, учитывая особенности форм поверхностей отклика оцениваемых характеристик тонкостенных конструкций в случае их нелинейного поведения, может оказаться нерациональным искать глобальный оптимум функции, если первый найденный немногим от него отличается.

Также не является целесообразным искать глобальный оптимум в случае совершенствования существующей конструкции, а не проектирования новой, ввиду того, что в данном случае оптимум, находящийся в окрестности номинальных значений варьируемых конструктивных параметров, представляет больший интерес, нежели удаленный. Дело в том, что традиционные методы направлены, как правило, на поиск некоторого минимального (максимального) значения в предположении существования такового как четко и резко выделенного. В то же время при решении ряда практических задач получаемые поверхности отклика имеют, как отмечалось выше, полихолмистый характер, причем разница между значениями в соседних минимумах (максимумах) незначительна.

Кроме того, могут встречаться овраги с дном вдоль сложной траектории. Также встречаются изломы и скачки на поверхности отклика.

Таким образом, возникают затруднения при применении методов минимизации разных порядков (нулевого, первого и т. д.). Более того, применение того или иного конкретного метода эффективно только для поверхности отклика того или иного конкретного вида. В связи с этим предлагается применение комплекса методов, эффективных каждый для своего типа поверхностей отклика.

Решение тестовых задач

Предложенный алгоритм был опробован на ряде тестовых задач [7, 8]:

1. Задача минимизации функции вида:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n x_i^4. \tag{1}$$

Известно, что минимум данной функции находится в точке (0, 0, 0). График функции в случае двух переменных представлен на рис. 2 при изменении значений переменных от -5 до +5. Траектория спуска при задействовании для минимизации предложенного алгоритма приведена на рис. 3.

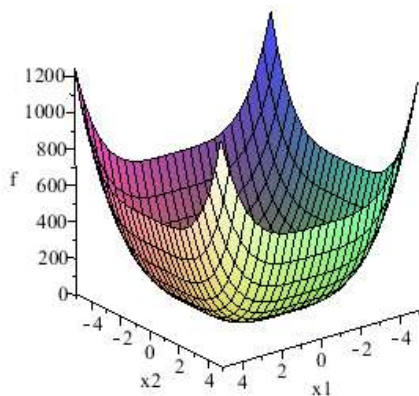


Рис. 2 – Тестовая функция для оценки работоспособности алгоритма минимизации

Таким образом, при заданной точности $\epsilon = 0.0001$, приняв за исходную точку (3.33, -3.33, 246.91), решение задачи минимизации (точка (2.04·10⁻⁵, 2.04·10⁻⁵, 3.46·10⁻¹⁹)) при помощи предложенного алгоритма было получено за 16 шагов.

2. Задача минимизации функции Розенброка, рис. 4 [9], имеет вид:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{n-1} (1 - x_i)^2 + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2, \tag{2}$$

$$x_i \in [-5.12, 5.12].$$

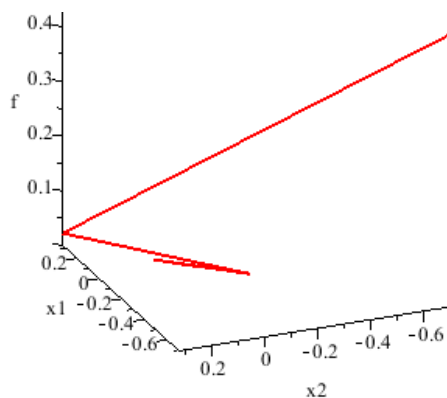


Рис. 3 – Значения функции и ее параметров на разных шагах приближения к минимуму

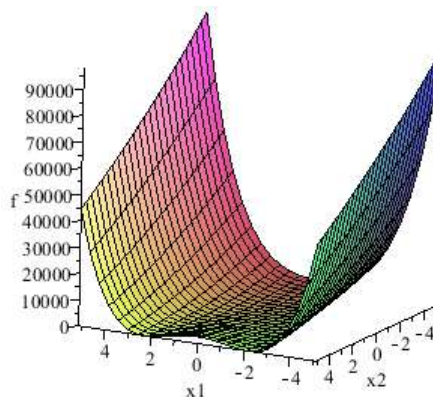


Рис. 4 – График функции Розенброка

Она является классической задачей оптимизации для апробации методов. В случае двух измерений функция создает небольшое плато вокруг низкого холма, с большими крыльями по обеим сторонам. Точка минимума (1, 1, 0) находится на одной стороне холма. С этими особенностями формы функции Розенброка связана трудность поиска ее минимума. При заданной точности $\epsilon = 10^{-5}$ и нулевого приближения (-2.33, -2, 5553.08), решение задачи минимизации (точка (0.99, 0.99, 2.34·10⁻¹¹)) при задействовании предложенного алгоритма было получено за 16 шагов. Траектория движения к минимуму приведена на рис. 5.

3. Задача минимизации функции Биля [2], рис. 6:

$$f(x_1, \dots, x_n) = (1.5 - x_1(1 - x_2))^2 + (2.25 - x_1(1 - x_2^2))^2 + (2.625 - x_1(1 - x_2^3))^2, \tag{3}$$

которая рассматривалась на интервалах варьирования независимых переменных $x_1 \in [-4, 4]$, $x_2 \in [-5, 5]$. Минимум данной функции находится в точке (3, 0.5, 0) Данную функцию также можно найти среди

классических тестовых задач. Она имеет узкую закругленную впадину, приближающуюся к прямой $x_2 = 1$.

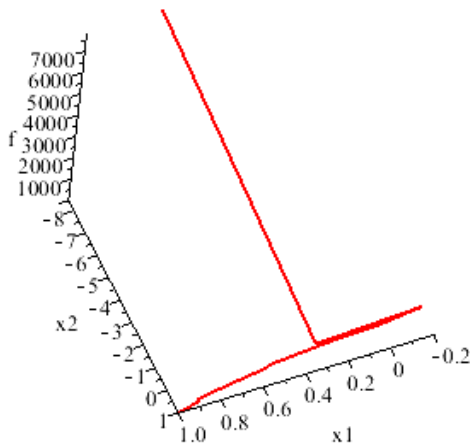


Рис. 5 – Траектория поиска решения

Она имеет множество локальных оптимумов, которые располагаются близко друг к другу, поэтому между ними легко «прыгать» по мере удаления от глобального оптимума (точка (420.97, 420.97, 837.97)). Также следует отметить, что данную функцию рекомендуется рассматривать в больших диапазонах значений, чем рассмотренные ранее.

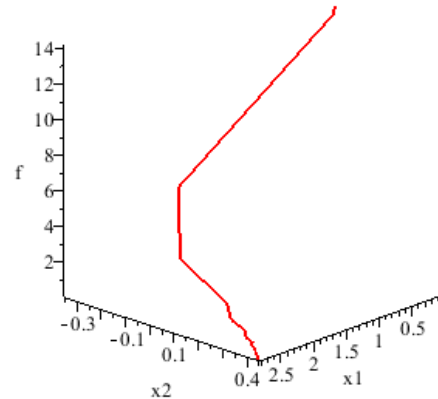


Рис. 7 – Траектория движения к минимуму

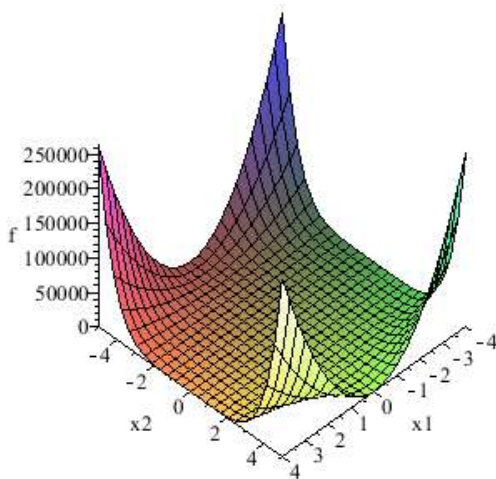


Рис. 6 – График функции Били

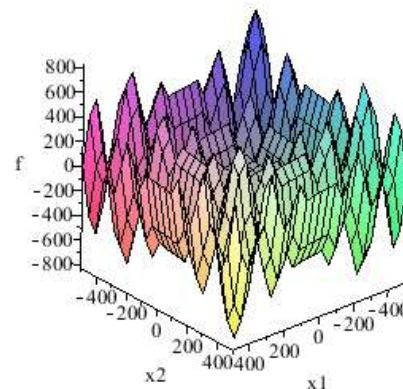


Рис. 8 – График функции Швевеля

Исходными данными для решения поставленной задачи оптимизации были точность искомого решения $\varepsilon = 10^{-8}$ и точка начала поиска с координатами (0, 0, 14.2). Решение задачи минимизации при задействовании предложенного алгоритма было получено за 33 шага, причем решение с точностью $\varepsilon = 10^{-5}$ было найдено за 25 шагов, и разница между решениями наблюдается начиная с пятой цифры после запятой, ввиду чего она, как правило, является несущественной в интересующем нас случае оптимизации машиностроительных конструкций. Полученное решение – точка (2.82, 0.45, $6.37 \cdot 10^{-3}$). Траектория движения к минимуму приведена на рис. 7.

4. Минимизация функции Швевеля [10], рис. 8:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n -x_i \cdot \sin(\sqrt{|x_i|}); \quad x_i \in [-500, 500]. \quad (4)$$

При заданной точности $\varepsilon = 10^{-5}$ из исходной точки (500, 500, 361.18) глобальный минимум, точка (420.97, 420.97, -837.97), при задействовании предложенного алгоритма была найдена за 9 шагов. Траектория поиска минимума приведена на рис. 9.

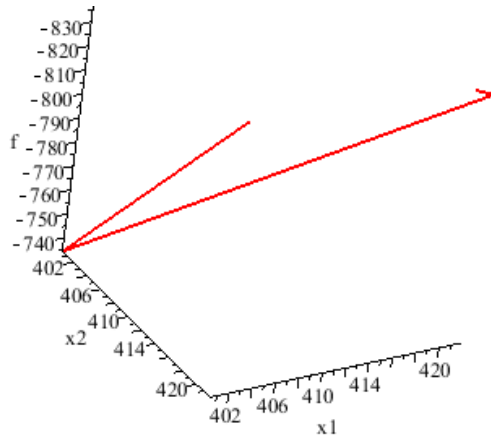


Рис.9 – Траектория движения к минимуму

Применение разработанного подхода при решении практических задач

Чтобы смоделировать задачу оптимизации, которая может возникнуть на практике, возьмем за основу, например, функцию Билия (3). Добавим к ней некоторую константу (в данном случае – 100000) для смещения функции по оси Of , а также – высокочастотный шум с распределением: $1000 \cdot \sin(9.42 \cdot x_1) \cdot \sin(31.40 \cdot x_1) \cdot \sin(34.54 \cdot x_2)$. Получаем новую функцию вида (рис. 10):

$$f(x_1, \dots, x_n) = (1.5 - x_1(1 - x_2))^2 + (2.25 - x_1(1 - x_2^2))^2 + (2.625 - x_1(1 - x_2^3))^2 + 100000 + 1000 \cdot \sin(9.42 \cdot x_1) \cdot \sin(31.40 \cdot x_1) \times \sin(34.54 \cdot x_2). \quad (5)$$

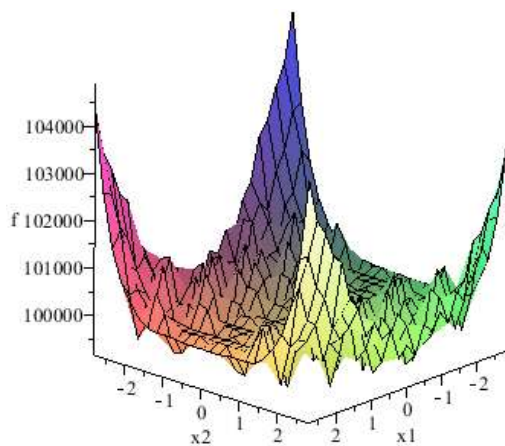


Рис.10 – Модель практической задачи

Траектория движения к минимуму при задействовании предложенного подхода для нахождения оптимальных параметров приведена на рис. 11.

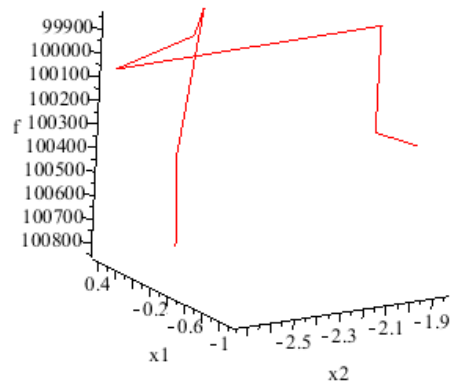
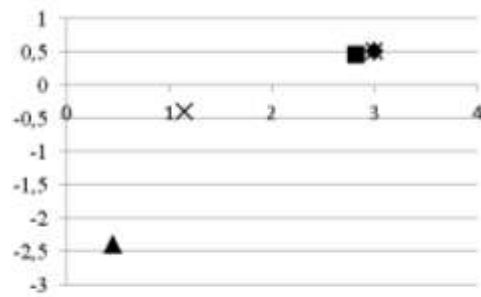


Рис. 11 – Траектория движения к минимуму

Далее сравним полученное сочетание параметров с координатами истинного минимума функции Билия (с учетом подъема ее по оси Of), с решением, полученным для предложенной функции с помощью разработанного подхода, а также – с решениями, найденными встроенной функцией минимизации в Maple (рис. 12).



- ✕ Истинный минимум функции Билия
- Минимум функции Билия, найденный при помощи разработанного подхода
- ◆ Минимум функции Билия, найденный встроенной функцией минимизации в Maple
- ▲ Минимум функции с шумом, найденный при помощи разработанного подхода
- ✕ Минимум функции с шумом, найденный встроенной функцией минимизации в Maple

Рис.12 – Координаты x_1, x_2 (см. рис. 11) точек минимума функций, найденные при задействовании различных методов

Значения функций при подстановке в них решений, приведенные к безразмерной величине, представлены на рис. 13.

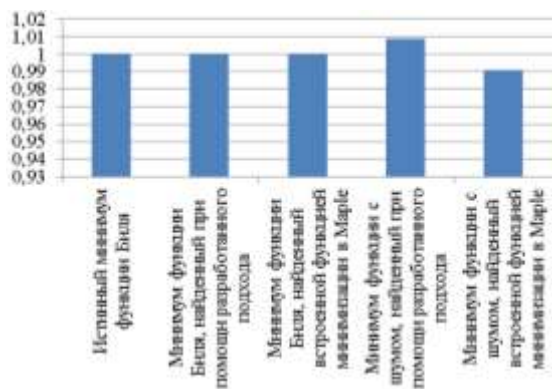


Рис. 13 – Найденные минимальные значения функций, приведенные к безразмерной величине

Таким образом, несмотря на значительное отличие точек локализации минимумов, полученных различными методами, сама минимизируемая функция определяется достаточно точно. В то же время, вычислительные затраты для решения ряда практических задач оптимизации по предложенному в работе методу существенно ниже. Это дает основание для вывода о достаточной его эффективности и применимости для решения некоторых задач.

Таблица 1 – Эффективность предложенного алгоритма при обновлении матрицы Гессе на каждой второй итерации в ходе поиска минимума

Функция	Минимум функции	Пересчет матрицы Гессе на каждой итерации		Пересчет матрицы Гессе на каждой второй итерации	
		Найденный минимум	Количество итераций	Найденный минимум	Количество итераций
$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n x_i^4$	(0, 0, 0)	($2.04 \cdot 10^{-5}$, $2.04 \cdot 10^{-5}$, $3.46 \cdot 10^{-19}$)	16	($9.28 \cdot 10^{-5}$, $9.28 \cdot 10^{-5}$, $1.48 \cdot 10^{-16}$)	14
Функция Розенброка	(1, 1, 0)	(0.99, 0.99, $2.34 \cdot 10^{-11}$)	16	(66942.71, $-1.31 \cdot 10^{-8}$, $2.13 \cdot 10^{21}$)	12
Функция Били	(3, 0.5, 0)	(2.82, 0.45, $6.37 \cdot 10^{-3}$)	25	(2.81, 0.45, $7.25 \cdot 10^{-3}$)	27
Функция Швевеля	(420.97, 420.97, -837.97)	(420.97, 420.97, -837.97)	7	(65.55, 65.55, -127.27)	13

Выводы

Таким образом, предложен подход к решению задач анализа и синтеза конструктивных параметров тонкостенных машиностроительных конструкций в случае их нелинейного поведения, учитывающий особенности формы поверхностей отклика характеристик напряженного состояния. Исследования по оценке работоспособности разработанного алгоритма на примере тестовых задач оптимизации позволили сделать вывод о его сходимости и точности. Результаты исследований являются обоснованием применимости данного алгоритма для ряда практических задач.

Список литературы

- 1 **Nocedal, J.** Numerical Optimization. – 2nd ed. / **J. Nocedal, S. Wright.** – New York: Springer-Verlag. – 2006. – 664 p. – doi: 10.1007/978-0-387-40065-5.
- 2 **Химмельблау, Д.** Прикладное нелинейное программирование. Пер. с англ. / **Д. Химмельблау** – М.: Мир. – 1975. – 536 с.
- 3 **Васильев, Ф. П.** Методы оптимизации / **Ф. П. Васильев** – М.: «Факториал Пресс». – 2002. – 824 с.
- 4 **Ильин, В. П.** Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений / **В. П. Ильин** – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики. – 2000. – 345 с.

- 5 **Mazumder, S.** Numerical Methods for Partial Differential Equations: Finite Difference and Finite Volume Methods / **S. Mazumder** / *Academic Press*. – 2015. – 484 p.
- 6 **Rassias, T.** Optimization in Science and Engineering: In Honor of the 60th Birthday of Panos M. Pardalos / **T. Rassias, C. A. Floudas, S. Butenko**. – *New York: Springer*, 2014. – 610 p. – doi: 10.1007/978-1-4939-0808-0.
- 7 **Jamil, M.** A literature survey of benchmark functions for global optimization problems / **M. Jamil, X-Sh Yang** // *Int. Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation* – 2013. – Vol. 4, No. 2. – P. 150–194. – doi: 10.1504/IJMMNO.2013.055204.
- 8 **Molga, M.** Test Functions for Optimization Needs / **Marcin Molga, Czeslaw Smutnicki**. – 2005. – [Web] <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>.
- 9 **Rosenbrock, H. H.** An automatic method for finding the greatest or least value of a function. / **H. H. Rosenbrock** // *The Computer Journal*. – 1960. – No 3 (3). – P. 175–184. – doi: 10.1093/comjnl/3.3.175.
- 10 **Schweifel, H. P.** Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie / **Hans-Paul Schweifel**. – Birkhauser. – 1977. – 370 p. – doi:10.1002/zamm.19800600516.
- 2 **Himmelblau, D.** Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye. Per. s angl. *Moscow: Mir*, 1975, 536 p.
- 3 **Vasilev, F. P.** Metodyi optimizatsii. *Moscow: «Faktorial Press»*, 2002, 824 p.
- 4 **Ilin, V. P.** Metodyi konechnykh raznostey i konechnykh ob'emov dlya ellipticheskikh uravneniy. *Novosibirsk: Izd-vo In-ta matematiki*, 2000, 345 p.
- 5 **Mazumder, S.** Numerical Methods for Partial Differential Equations: Finite Difference and Finite Volume Methods. *Academic Press*, 2015, 484 p.
- 6 **Rassias, T., Floudas, C. A., Butenko, S.** Optimization in Science and Engineering: In Honor of the 60th Birthday of Panos M. Pardalos. *New York: Springer*, 2014, 610 p., doi: 10.1007/978-1-4939-0808-0.
- 7 **Jamil, M., Yang, X. Sh.** A literature survey of benchmark functions for global optimization problems. *Int. Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*. 2013, 4(2), 150–194, doi: 10.1504/IJMMNO.2013.055204.
- 8 **Molga, M., Czeslaw Smutnicki** Test Functions for Optimization Needs, 2005, [Web] <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>.
- 9 **Rosenbrock, H. H.** An automatic method for finding the greatest or least value of a function. *The Computer Journal*, 1960, 3 (3), 175–184, doi: 10.1093/comjnl/3.3.175.
- 10 **Schweifel, H. P.** Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie. *Birkhauser*, 1977, 370 p., doi: 10.1002/zamm.19800600516.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Nocedal, J., Wright, S.** Numerical Optimization. 2nd ed. *New York: Springer-Verlag*, 2006, 664 p., doi:10.1007/978-0-387-40065-5.

Сведения об авторах (About authors)

Бондаренко Марина Александровна – аспирант каф. «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина; e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Bondarenko Maryna – postgraduate student at the Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: marina.bondarenko@tmm-sapr.org.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Бондаренко, М. А. Методы оптимизации с применением поверхностей отклика, адаптированные к решению задач анализа и синтеза конструктивных параметров тонкостенных машиностроительных конструкций / **М. А. Бондаренко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 22–28. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.04.

Please cite this article as:

Bondarenko, M. Optimization methods using response surfaces adapted to the tasks of analysis and synthesis of thin-walled machine structures design parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), 22–28, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.04.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Бондаренко, М. О. Методи оптимізації із застосуванням поверхонь відгуку, адаптовані до розв'язання задач аналізу та синтезу конструктивних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій / **М. О. Бондаренко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 22–28. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.04.

АНОТАЦІЯ З огляду на особливості форми поверхонь відгуку характеристик напруженого стану тонкостінних машинобудівних конструкцій у разі їх нелінійної поведінки, розроблений підхід до розв'язання задачі оптимізації. Він полягає в глобальній апроксимації даної функції квадратичною формою, подальшому зменшенні прирощень незалежних змінних і русі від мінімуму квадратичної форми, побудованої на попередньому кроці, до мінімуму нової апроксимації. Недоліком запропонованого підходу є те, що знайдений оптимум може виявитися локальним екстремумом, якщо функція, що мінімізується, має полі-горбистий характер. Проте, він може бути рекомендований для розв'язання практичних задач. Розроблений алгоритм був випробуваний на ряді класичних тестових задач і продемонстрував хорошу збіжність.

Ключові слова: машинобудівна конструкція; нелінійна поведінка; оптимізація; поверхня відгуку; глобальна апроксимація; квадратична форма

Поступила (received) 03.11.2016

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО СУДНА ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЛЕДОВОГО КЛАССА

В. В. ГОЛИКОВ, О. Н. МАЗУР, О. А. ОНИЩЕНКО

Национальный университет "Одесская морская академия", Одесса, УКРАИНА
e-mail: volodymyr.golikov@fms.onma.edu.ua, rio_onma@mail.ru, olegoni@mail.ru

АННОТАЦИЯ Приведено уточнение формулировок "многоцелевое судно" и "судно двойного назначения". На основе исторического экскурса доказана актуальность проектирования и последующего применения в территориальных водах Украины многоцелевых судов двойного назначения ледового класса. Сформулированы цель и задачи проектирования, предложена методика проектирования многоцелевых судов ледового класса. Приведены основные результаты - теоретический чертеж, общие виды судна, главные размерения, характеристики, возможности преодоления ледовых препятствий. Осуществлено сравнение основных расчетных параметров спроектированного судна с существующими судами-аналогами.

Ключевые слова: многоцелевое судно; двойное назначение; ледовый класс; проектирование

DESIGN PECULIARITIES OF ICE-CLASS MULTI-PURPOSE DOUBLE-DUTY SHIP

V. GOLIKOV, O. MAZUR, O. ONISHCHENKO

National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, UKRAINE
e-mail: volodymyr.golikov@fms.onma.edu.ua, rio_onma@mail.ru, olegoni@mail.ru

ABSTRACT. Given a wording elaboration "multi-purpose ship" and "double-duty ship". Based on the historical journey proved a design relevance and following use in Ukraine's territorial waters of ice-class multi-purpose double-duty ships. Appraised known conceptual solutions of multi-purpose ships design. Approved that structure and content of common ship design task depends on a ship assignment, its infrastructure, feasibility study, dedicated recourses, design stages and basic data completeness. Provided known decisions of civil ships use in naval forces. Specified a range of use and common role multi-purpose double-duty ship. Stated a design goal and offered design technique of ice-class multi-purpose ships. Shown that a common task of ice-class multi-purpose ship design has: a) elaboration of performance specifications (conceptions); b) scheme of hull line drawing; c) characteristic synthesis of buoyancy and ship initial stability; d) appraisal of propulsion characteristics; e) appraisal of accepted design concepts. Brought a sample calculations and common results of ice-class multi-purpose ship design - line drawing, ship main views, main dimensions, characteristics, possible negotiations ice resistance, developed preliminary choice of ship powerplants. Accomplished a comparison of designed vessel main design conditions with existed analogue vessels.

Key words: multi-purpose ship; double-duty; ice-class; design

Введение

В настоящее время крайне востребованными являются многофункциональные (многоцелевые) суда [1- 4], и особенно, в связи с известными внешнеполитическими проблемами, суда двойного назначения. Многоцелевое судно, это судно, специальным образом приспособленное для выполнения ряда технологических функций, обычно выполняемых несколькими узкоспециализированными судами. Такие суда создаются с целью универсализации применения в различных климатических условиях и обстановке (социальной, политической, техногенной и проч.), для более гибкой и экономичной эксплуатации, для решения разнообразных и нестандартных задач, при недостатке времени на проведение спецопераций и иных усложняющих применение узкоспециализированных судов обстоятельствах. Типичными примерами многоцелевых судов гражданского флота служат суда, обеспечивающие работу морских нефтепромыслов, несущие на борту грузоподъемные и ремонтно-спасательные средства, предметы снабжения буровых

установок и средства для выполнения работ под водой, оборудование пожаротушения, стройматериалы, могущие перевозить экипаж, выполнять специальные задачи поиска, спасения, выполнять функции различного назначения для оффшорного флота и т. д.

Под понятием "товар двойного назначения (применения)" подразумевается продукция, изделия, оборудование или технологии, которые могут применяться кроме гражданских (мирных) целей в том числе и для целей военных. В различные исторические эпохи, при необходимости, в состав военно-морских сил различных морских держав включались гражданские суда. Такие суда использовались не только по прямому назначению, но и в качестве, например, военных транспортов, либо, после более серьезного переоборудования, превращались в боевые корабли. И, по сути, становились многоцелевыми судами (кораблями) двойного назначения (МСДН).

Понятно, что многофункциональность и универсальность для судна является неким компромиссным решением – любое специализированное судно всегда лучше справится с узкоспециальной задачей.

Но применение многофункциональных суден позволяет существенно снизить затраты на их эксплуатацию при непредсказуемом возникновении разнообразных гражданских и специальных задач. В условиях непредсказуемости появления задач различной степени сложности, особенно требующих быстрого решения, многофункциональное судно является наиболее приспособленным, более эффективным. Иными словами, в нужном месте и в нужное время для решения поставленной задачи необходимо иметь либо несколько узкоспециализированных суден, либо одно – многоцелевое. Понятно, что и проектирование, и строительство, и эксплуатация нескольких узкоспециализированных суден является существенно более дорогим мероприятием, чем строительство и эксплуатация одного, но многоцелевого. Кроме того, время постройки одного, пусть даже и более сложного судна, в условиях ограниченности материальных ресурсов, является существенно меньшим, чем строительство нескольких суден.

Концептуальными решениями проектирования многофункциональных суден занимается ряд известных морских инженеров и специалистов – Егоров Г. В., Ильницкий И. А., Тонюк В. И., Автутов Н. В., *Rizzuto E., Downes J., Radon M.* и другие [2-4, 6]. Многие ведущие морские державы стараются иметь в своем военно-морском флоте (ВМФ) МСДН. Однако все морские инженеры, конструкторы и исследователи утверждают, что на сегодняшний день не существует единой методики проектирования многоцелевых суден, и особенно – двойного назначения. Обычно такое проектирование носит резко индивидуальный, творческий характер и сложно поддается алгоритмизации, такое проектирование сравнивается с искусством, объединенным с глубокими специальными знаниями и, по сути, является "противоречивым проектированием" [7].

Отметим, что современный облик ВМФ ведущих держав стал приобретать после II Мировой войны – вместе с концом этой войны наступил и конец крупных морских битв. Благодаря современным технологиям, в том числе компьютерным и информационным, бурному развитию мирового рынка, даже небольшие государства смогли обзавестись эффективными и самыми современными военно-морскими силами (ВМС). Например, построенные с использованием технологии "Stealth" фрегаты с усиленным вооружением, класса "Lafayette", приобрели, по шесть единиц, Тайвань и Республика Сингапур, три – Саудовская Аравия. Сейчас различные авианосцы состоят на вооружении девяти государств, однако строительство и содержание таких кораблей требует громадных ресурсов. И, если проанализировать решаемые крупными военными узкоспециализированными судами и авианосцами задачи, то несложно уяснить, что боевое применение таких тяжелых кораблей сводится, в основном, к устрашению предполагаемого противника.

Таким образом, по мере непрерывной глобализации – процесса всемирной экономической, политической, культурной, религиозной интеграции и унификации, характер современной морской войны существенно изменяется. Сейчас требуется высокая гибкость выполнения боевых и антитеррористических задач, крайне высокой становится роль информационных технологий, разведки, обработки информации, поиска, спасения и т. д. Учитывая всегда имеющуюся ограниченность материальных ресурсов, морские державы вынуждены не только идти в ногу с научно-техническим прогрессом, решать задачи долгосрочного планирования, оптимизировать состав флота, но и определять, какие суда понадобятся им в ближайшей перспективе, как совмещать функции суден для выполнения мирных и боевых задач с минимальными затратами.

Тенденции развития гражданского флота показывают, что многие морские державы начинают отдавать предпочтение небольшим многоцелевым судам различного функционального назначения и с различными тактико-техническими характеристиками (ТТХ). Часто это небольшие МСДН, несущие самолет с вертикальным взлетом и посадкой (коротким взлетом и вертикальной посадкой), боевые вертолеты, беспилотные летательные аппараты, различные специализированные и вспомогательные средства и системы, осуществлять задачи ледовой проводки, снабжения, пожаротушения, эвакуации и т. д.

Согласно известной концепции "Максимум боеспособности и возможностей в пересчете на один доллар" созданы множество кораблей ВМФ США. Например, корабль береговой обороны "Independence" компании "General Dynamics Corporation" (патрулирование, оперативное реагирование, демонстрация силы в прибрежных водах); подводные лодки, недорогие в постройке и способные успешно противодействовать даже лучшим противолодочным судам, самолетам и вертолетам; сторожевые корабли, способные выполнять различные задания в составе флота или поодиночке. По большому счету это все многоцелевые суда, способные перевозить снаряжение, боеприпасы, продовольствие и войска, оказывать боевую поддержку и решать, например, гуманитарные операции.

Часто от боевых кораблей ожидают многого, но далеко не все дорогие в постройке и эксплуатации суда действительно отвечают возрастающим требованиям. Так, атомные подводные лодки с крылатыми ракетами оказались уязвимыми для современного противолодочного оружия и высокочувствительных систем обнаружения, а малошумящие субмарины с электродвижением оказались способными уходить от лучших систем слежения (в учениях НАТО 2005-2007 годов, шведская, очень простая подводная лодка "Gotlandklass" успешно уходила от перехвата, хотя ВМФ США применял самые современные средства и методы противолодочной борьбы). Например, в большинстве ВМФ десантные корабли используются

не только для перевозки войск и их поддержки, но и для оказания гуманитарной помощи. Хотя большие десантные корабли и несут на борту самолеты-истребители и вертолеты, но по сути эти суда – специализированные многоцелевые платформы (корабли класса "USS Wasp", LHA-R), позволяющими выполнять сугубо мирные задачи.

Современные ВМФ превращаются во флоты, в большинстве своем состоящие из недорогих многоцелевых кораблей, оборудованных новейшей электроникой и вооружением, допускающие дальнейшую модернизацию. Такие небольшие многоцелевые авианосцы, корабли типа эскадренных миноносцев (эсминец, фрегат, корвет), универсальные гладкопалубные десантные суда, способны не только, например, участвовать в различных антитеррористических операциях, но и оказывать гуманитарную помощь, высаживать десант, выполнять другие задачи.

По прогнозам военных специалистов, самым крупным боевым кораблем будущего будет эсминец, а авианосцы станут существенно меньше современных, поскольку особой необходимости в огромных кораблях такого класса нет. Считается, что со временем в состав большего количества флотов будет входить один небольшой авианосец, а основным кораблем станет многоцелевой сторожевик, так как требующие вмешательства военные конфликты часто возникают в прибрежных регионах. Кроме того, такой многоцелевой корабль пригоден для использования в спасательных операциях в районах природных или техногенных катастроф.

С точки зрения гражданского применения МСДН нужно отметить, что отличительной особенностью грузооборота портов Украины является его зависимость от сезона года. Замерзаемость мелководных морей, лиманов и устьев рек сводит этот показатель к минимуму. В связи с этим "Транспортной стратегией Украины на период до 2020 года" предусмотрено создание эффективного служебно-вспомогательного, технического и спасательного флота. Анализ публикаций связанных с многолетним прогнозированием судостроения, осуществленным Морским инженерным бюро (МИБ, <http://meb.com.ua>), показал, что отечественному флоту необходимо отдавать приоритет морским сухогрузным судам с более высоким стандартом прочности, с мощной СЭУ и улучшенными мореходными обводами, меньшим коэффициентом общей полноты и "морскими" соотношениями главных размерений в сравнении с судами река-море. К отличительным особенностям перспективных многоцелевых судов река-море относится наличие у них различных классов "коастеров" (каботаж) и ледовой категории [5, 8, 9].

Класс судов смешанного река-море плавания требует обновления с учетом изменившихся условий их эксплуатации [10]. Практикой востребована "линейка" судов технического и портофлота нового поколения, созданная на основе применения новых концептуальных подходов к процессам проектирования,

создания, технической эксплуатации и менеджмента [4, 5, 9, 10]. Специалистами МИБ предложено, для минимизации расходов на проектирование, в каждом типе таких судов делать вариации по девайту в зависимости от поставленных задач. Для целей поиска и спасания необходимо строительство многоцелевых спасательных судов с СЭУ повышенной мощности [11, 12], совершенными обводами корпуса с хорошими ледовыми качествами для эксплуатации в сплошном и битом льду. Ранее [13, 14] были сформулированы общие концептуальные соображения по реновации, конверсии или постройке МСДН для функционирования в Азовском и Черном морях.

Таким образом, поскольку: а) ареной морских сражений становится побережье и роли различных классов боевых кораблей резко изменились; б) часто универсальность корабля, способность его решать разнообразные, порой непредсказуемые, задачи, имеет главенствующее значение; в) имеется острая необходимость применения универсальных, многофункциональных, судов ледового класса для решения множества задач гражданского флота, то *актуальность* создания таких многоцелевых судов двойного назначения, с учетом климатических особенностей Украины, является очень высокой.

Цель работы

В связи с имеющимся острым запросом практики, для применения в территориальных водах Украины и продолжения перспективных исследований по совершенствованию технической эксплуатации МСДН, *актуальной* является поставленная задача проектирования и последующего создания высокоэффективного многоцелевого судна ледового класса на основе использования принципов современного конструирования, новых средств судовой техники и морских технологий.

Целью публикации является представление разработанной методики проектирования, а также основных результатов проектирования многоцелевого судна двойного назначения ледового класса – судна, не имеющего аналогов в Украине, крайне востребованного и ВМС Украины, и ее гражданским флотом.

Объектом исследования являются процессы проектирования судна, *предметом* исследования является многоцелевое судно ледового класса двойного назначения.

Изложение основного материала

Структура и содержание общей задачи проектирования судна [4, 5, 7, 8] зависит от целевого назначения судна, его технологических возможностей, технико-экономического обоснования и выделенных ресурсов, стадий проектирования, а также от полноты исходных данных. Для эффективного решения общей задачи проектирования судна необходимо установить определенные зависимости между:

а) водоизмещением, б) мощностью СЭУ, в) вместимостью, г) главными размерениями и их соотношениями, д) безразмерными проектировочными коэффициентами, характеризующими форму обводов корпуса. Также необходимо определить предельные значения независимых переменных, выявить взаимосвязь основных элементов судна с принятыми критериями оптимизации.

Проектирование и математическое моделирование судна строят на основании аналитического аппарата [4, 5], дополнительно включающего аппроксимационные функции, с помощью которых определяют различного рода коэффициенты и параметры (утилизации, сопротивления воды, пропульсивного комплекса [15] и т. д.), характеристики площадей, объемов, мощностей, проводят экспертные оценки [16].

Аналитические зависимости для определения ряда показателей для различных судов на отдельных стадиях предварительного проектирования различны. В тех случаях, когда структура аналитической зависимости для судов разных типов является универсальной, численное значение коэффициентов пропорциональности может быть разным, что часто характерно и для зависимостей, выведенных для однотипных судов различных модификаций. Такие коэффициенты носят нормативный характер и подлежат систематическому уточнению, в связи с чем строгое математическое описание процесса проектирования судна невозможно и в каждом конкретном случае требуется уточнение математической модели и проекта [17-19]. Иными словами, известный "принцип подобия" в этих ситуациях неприменим.

Для судна критерий оптимизации представляется в функции многокомпонентных параметров, т. е. составлению математической модели должен предшествовать выбор параметров. Перечень исходных параметров $P_{ij}(X)$ устанавливается в каждом конкретном случае. Переменные x_i компонента X выбирают из числа искомых параметров таким: а) чтобы была сохранена зависимость переменных; б) чтобы их количество было минимальным.

Смысловое содержание компонента X можно раскрыть на примере проектирования многоцелевого грузового судна. При решении общей задачи проектирования такого судна определяют, при известных условиях плавания, чистую грузоподъемность или дедвейт DW , скорость v или мощность главных двигателей N_e , главные размерения судна (L, B, H, T) и коэффициенты полноты α, β, δ . При решении задачи приходится варьировать значениями грузоподъемности (дедвейта), скорости и вместимости W_c , добываясь требуемого результата с учетом обеспечения необходимой прочности корпуса и навигационных качеств. При полном использовании габаритов судового хода грузоподъемность определится с учетом его характеристик. Необходимо, также, установить связь независимых переменных с исходными данными (с учетом ограничений и пределов их изменения), с главными размерениями и безразмерными характеристиками

формы корпуса, затем раскрыть взаимосвязи между основными параметрами и свойствами судна, а также между параметрами и принятыми критериями оптимизации.

Диапазон изменения водоизмещения назначается на основании опыта проектирования в пределах кратности возможного изменения грузоподъемности. При ограниченных габаритах судового хода верхний предел изменения водоизмещения необходимо определять из предельных размеров судна, максимально возможного для данного типа судна коэффициента полноты и минимального коэффициента утилизации водоизмещения. Отметим, что ошибочность назначенного диапазона изменения сразу обнаружится в начале расчета, так как обнаружится устойчивая большая разница между грузоподъемностью, грузоместимостью и основными расчетными характеристиками. Эту ошибку несложно устранить путем итерационной корректировки принятых начальных значений.

Предельные значения относительной скорости и коэффициента общей полноты назначают с помощью систематизированных данных серийных модельных испытаний суден.

При назначении пределов изменения отношения B/T учитывается, кроме того, опыт проектирования в части обеспечения требований к остойчивости и качке судна.

При выборе диапазонов изменения отношения L/H целесообразно пользоваться правилами классификационных обществ, формулирующими, с учетом этого соотношения, требования к конструкции и прочности судов.

В общую задачу проектирования МСДН входят: а) разработка технико-эксплуатационных требований к проекту (концепция) судна; б) построение теоретического чертежа корпуса; в) синтез характеристик плавучести и начальной остойчивости судна; г) оценка характеристик его ходкости; д) предварительная оценка полученных проектных решений.

Понятно, что в рамках одной статьи все поставленные задачи отобразить крайне сложно, однако кратко пояснить основные принципы и последовательность предложенной методики проектирования МСДН можно. При разработке концепции МСДН использованы принципы и методы экспертных оценок [16], которыми учитывалась необходимость ледовой проводки каравана судов в открытом море, каналах и акваториях портов, осуществления поисковых, спасательных, буксировочных, пожарных и иных специальных операций в забровочной акватории.

Учитывая важность всесезонного использования путей Азовского и Черного морей и нестабильность погодных условий, резко ухудшающих ледопроечность в зимний период, одним из главных требований к МСДН стала его способность к преодолению сплошных ледовых перемычек до 1,5 м. Для этого применена специальная технология преодоления

"тяжелых" льдов [20, 21], основанная на создании особой геометрии корпуса судна, сформированной в виде сложной поверхности двойкой кривизны, ориентированной относительно пространственных координат.

Теоретический чертёж МСДН (рис. 1) построен по смоделированным линиям сечения поверхности корпуса плоскостями, параллельными главным плоскостям судна [4, 5, 7].

На основе оптимизации главных компонент рассчитаны основные размерения МСДН по: длине между перпендикулярами $L = 67,7$ м; ширине $B = 18,2$ м; высоте борта $H = 6,4$ м; конструктивной осадке $T = 3,5$ м. По масштабу Бонжана определены: весовое водоизмерение $D = 2935$ т; объемное водоизмещение $V = 2864$ м³; координаты центра величины $C\{X_c = 0,53$ м; $Z_c = 1,912$ м}; площадь ватерлинии $S = 1057$ м²; абсцисса центра тяжести площади ватерлинии $X_g = -1,9$ м; поперечный и продольный моменты инерции площади ватерлинии $I_x = 24086$ и $I_{yf} = 332582$ м²·м². Также: метацентрические радиусы – поперечный $r = 8,41$ м и продольный $R = 115,2$ м; аппликата поперечного метacentра $Z_{m0} = 10,3$ м; смоченная поверхность $S = 1241$ м².

Общий вид спроектированного судна приведен на рис. 2.

Введем функционалы оценок: $F_1 = L/B$ – ходкости и поворотливости; $F_2 = L/H$ – общей прочности; $F_3 = B/T$ – остойчивости, ходкости и поворотливости; $F_4 = H/T$ – непотопляемости и остойчивости.

Одновременно с синтезом характеристик геометрии корпуса, плавучести и начальной остойчивости МСДН осуществлен сравнительный анализ (табл. 1) функционалов F_i форм корпусов ближайших по функциональным возможностям суден-аналогов: ледокола "Капитан Белоусов" ($L = 77,5$ м; $B = 18,7$ м; $H = 9,5$ м; $T = 6,2$ м; $D = 4500$ т; $V = 4390$ м³) и оффшорного многоцелевого судна снабжения "Arcticaboarg" ($L = 60,6$ м; $B = 16,4$ м; $H = 4,4$ м; $T = 2,9$ м; $D = 2015$ т; $V = 1966$ м³).

Коэффициенты полноты сечений и общего объема проекта МСДН, в сравнении с общепринятыми для ледоколов, несколько отличаются и составляют: общей полноты $\delta = 0,664$ (0,45...0,59); полноты ватерлинии $\alpha = 0,858$ (0,69...0,75) и полноты мидельшпангоута $\beta = 0,903$ (0,73...0,88).

Максимальные значения величины остойчивости формы (пантокрены) при посадке проекта МСДН без крена дифферента достигает 6,3 м при статическом крене 60°.

Превышение значений $F_2 = L/H$ и $F_4 = H/T$ у МСДН, при сравнении с нормативными, связано с априори заданными заниженными значениями высоты борта и осадки.

Определение минимально-неизбежной буксировочной мощности проекта судна на тихой воде осуществлено с использованием классической методики Ю. А. Будницкого.

Таблица 1 – Значения функционалов F_i (соотношений главных размерений корпусов) суден-аналогов и нормативных значений

Название судна	Соотношения и характер их влияния			
	F_1	F_2	F_3	F_4
"Капитан Белоусов"	4,1	8,2	2,0	1,5
"Arcticaboarg"	3,7	13,8	3,7	1,5
Проект МСДН	3,7	10,6	2,8	1,8
Нормативное значение	3,5...4,8	6,6...9,2	2,4...3,2	1,3...1,5

Расчетная минимально-необходимая мощность СЭУ МСДН на глубокой и тихой воде, при скорости 16 узлов и с учетом эксплуатационного фактора $k = 1,2$, составляет 2122 кВт при оценке буксировочного сопротивления в 258 кН.

Ледовое сопротивление МСДН в крупнобитых льдах определено по формуле:

$$R_l = (C_k + 4,134 V_l^{1,3})h^{1,2}, \quad (1)$$

где $C_k = 55$ – справочный коэффициент; принятая скорость во льдах $V_l = 8,0$ узлов; толщина сплошного льда $h = 1,5$ м; ледовое сопротивление $R_{l(1,5)} \approx 190$ кН.

В обычных эксплуатационных условиях, согласно (1) при $V_l = 8,0$ узлов и $h = 0,5$ м, ледовое сопротивление составляет $R_{l(0,5)} \approx 51$ кН.

Ледовое сопротивление МСДН в сплошных льдах определено по формуле:

$$R_l = 5,79 \{1 + 0,4 B h^{1,33} [(L/B)^{1,5} - 1]\}. \quad (2)$$

Из (2) получим:

$$R_{l(1,5)} \approx 448,0 \text{ кН и } R_{l(0,5)} \approx 108,0 \text{ кН.}$$

Суммарное расчётное значение сопротивления льда и воды движению МСДН рассчитано при скорости судна во льдах $V_l = 8$ узлов.

В сплошных льдах:

$$R_{c(0,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(0,5)} = 51,0 + 49,0 = 100 \text{ кН;}$$

$$R_{c(1,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(1,5)} = 51,0 + 190,0 = 241 \text{ кН.}$$

В крупнобитых льдах:

$$R_{c(0,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(0,5)} = 51,0 + 108,0 = 159 \text{ кН;}$$

$$R_{c(1,5)} = R_{\delta(8)} + R_{l(1,5)} = 51,0 + 448,0 = 499,0 \text{ кН.}$$

Далее определяются расчетные значения мощности одной винто-рулевой поворотной колонки, при их общем количестве на судне $z = 2$, значении КПД гребного винта колонки $\eta = 0,70$ и КПД передачи $\eta = 0,94$. Для различных суммарных значений ΣR сопротивлений льда и воды движению МСДН при скорости во льдах $V_l = 8$ узлов, мощность колонки рассчитана по выражению:

$$N_{k(i)} = \frac{\Sigma R \cdot V_l}{0,514 \cdot z \cdot \eta \cdot \eta_n}, \text{ кВт.} \quad (3)$$

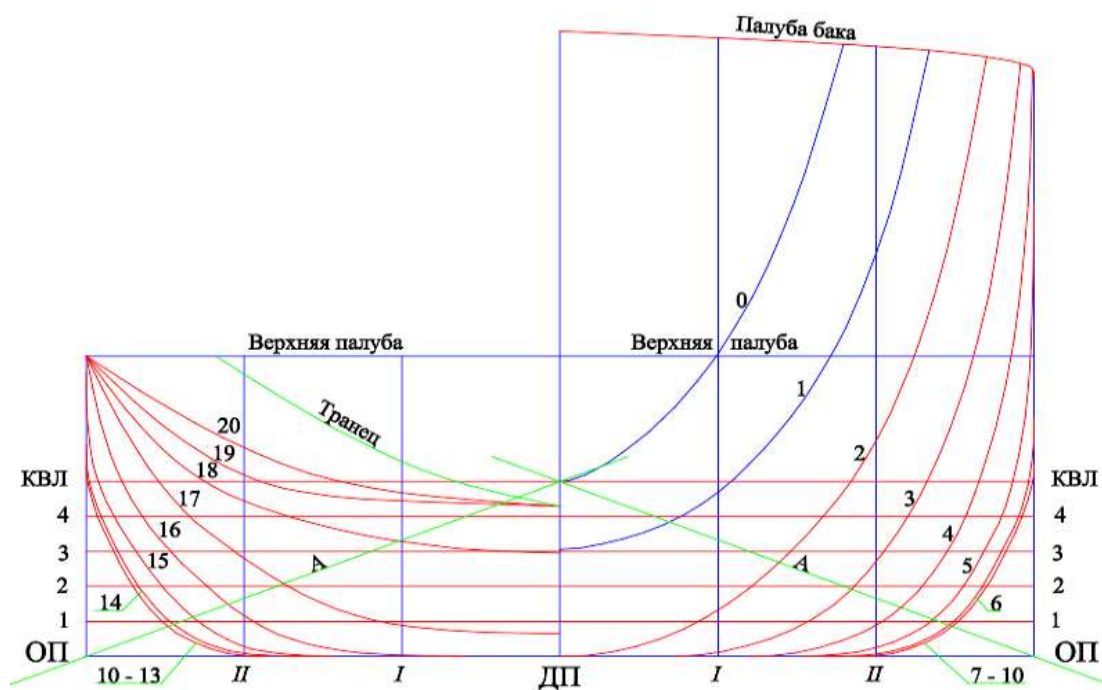
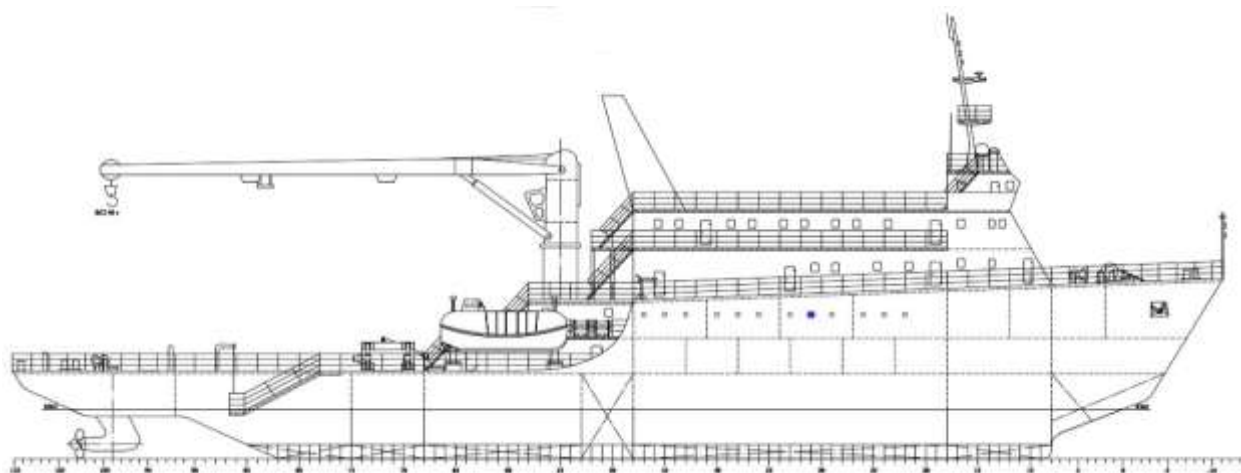
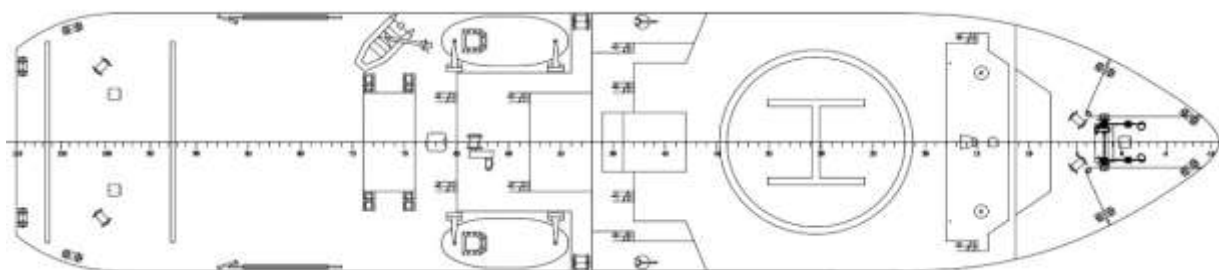


Рис. 1 – Фрагмент теоретического чертежа корпуса судна (вид сбоку)



а)



б)

Рис. 2 – Общий вид проекта МСДН ледового класса: а) вид сбоку; б) вид сверху

Полученные значения мощности следующие.

В сплошных льдах:

$$N_{к(0,5)} = 1183 \text{ кВт};$$

$$N_{к(1,5)} = 2850 \text{ кВт}.$$

В крупнобитых льдах:

$$N_{к(0,5)} = 1881 \text{ кВт};$$

$$N_{к(1,5)} = 5902 \text{ кВт}.$$

Из предварительного анализа предложений поставок материалов и оборудования финской компании *ABB* для проектируемого судна возможно применение высокоэффективных гидропульсивных движительных систем на основе устройств "Азипод" серий *CO 980* (1300...2300 кВт) или *CO 1250* (2200...4200 кВт), которые в настоящее время рекомендовано устанавливать на ледокольные суда.

Например, на проектируемое МСДН предполагается установка систем "Азипод" серии *CO 1250* для обеспечения движения при скорости 8,0 узлов в сплошных льдах толщиной до 1,5 м, так как условие $N_e = 4200 \text{ кВт} > N_{к(1,5)} = 2850 \text{ кВт}$ выполняется.

Обсуждение результатов

Анализ существующего состояния военного и гражданского флотов Украины, анализ состава и стратегических направлений развития флотов ведущих морских держав, общемировые тенденции применения многофункциональных и универсальных судов показал необходимость проектирования и создания многоцелевого судна ледового класса, способного обеспечивать комплексное решение разнообразных и актуальных задач гражданского и военного флотов Украины. Можно утверждать, что реализация проекта МСДН в Украине вполне осуществима, в том числе и на основе конверсии или реновации [14], так как имеется необходимый научно-технический потенциал и производственные мощности (Одесса, Николаев, Херсон).

Выводы

1. На основе требуемых технико-эксплуатационных и тактико-технических характеристик предложен концептуальный проект судна. Представлена методика проектирования МСДН ледового класса и приведены все ее основные этапы. С использованием оптимизации главных компонент рассчитаны основные размерения, синтезированы чертежи корпуса, палуб, помещений и других конструктивных элементов МСДН. Синтезированы характеристики плавучести и начальной остойчивости судна, предварительно выбрана СЭУ, оценены характеристики ходкости и проведено сравнение с известными судами-аналогами.

2. С целью уточнения ожидаемых ТТХ судна, дальнейшие исследования и верификацию, как предложенной методики расчета, так и концепции построения МСДН, необходимо проводить в комплексе с математическим и физическим (натурным) модели-

рованием [15], осуществить системную оценку необходимых для детализированного проектирования и построения судна ресурсов [16].

Список литературы:

1. **Егоров, Г. В.** Черноморский регион : какие нужны новые суда? / **Г. В. Егоров** // *Матер. VI междунауч.-техн. конф. "Инновации в судостроении и океанотехнике"*. – Николаев: НУК. – 2015. – С. 6-8.
2. **Егоров, Г. В.** О многофункциональности в ледоколах и ледоколах-спасателей нового поколения / **Г. В. Егоров, И. А. Ильницкий, Н. В. Автугов** // *Матер. VII междунауч.-техн. конф. "Инновации в судостроении и океанотехнике"*. – Николаев: НУК. – 2016. – С. 44-45.
3. **Егоров, Г. В.** Двенадцать многоцелевых сухогрузных судов дедвейтом 5500 тонн проекта 005RSD03 типа "Россиянин" / **Г. В. Егоров, В. И. Тонюк** // *Судостроение*. – 2015. – № 1. – С. 9-17.
4. **Rizzuto, E.** Design Principles and Criteria / **E. Rizzuto, J. Downes, M. Radon** [et al.] // *Report of Committee IV. 1. Proc. of 19-th ISSC-2015*. – Cascais (Portugal). – 2015. – Vol. 1. – P. 415-458.
5. **Collette, M.** Design Methods / **M. Collette, R. Bronsart, Y. Chen** [et. al] // *Report of Committee IV. 2. Proc. of 19-th ISSC-2015*. – Cascais (Portugal). – 2015. – Vol. 1. – P. 459-518.
6. **Егоров, Г. В.** Многоцелевые сухогрузные суда "Волго-Дон макс" класса с пониженным надводным габаритом / **Г. В. Егоров, Н. В. Автугов, Р. Д. Багаутдинов** // *Судостроение и судоремонт*. – 2012. – № 48-49. – С. 20-35.
7. **Khramushin, V. N.** Stormy seakeeping history (antiquity and our days) / **V. N. Khramushin, S. V. Antonenko, A. A. Komaritsyn** [et al.] // *Sakhalin Branch of Russian Geographical Society*. – 2010. – 288 p.
8. **Голиков, В. В.** Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море / **В. В. Голиков, П. А. Костенко, А. А. Лысый** [и др.] // *Матер. научн.-техн. конф. "Энергетика судна: эксплуатация и ремонт"*. – Одесса : ОНМА-Издавнформ. – 2011. – С. 64-67.
9. **Егоров, Г. В.** Анализ состояния и обоснование необходимости строительства судов технического флота / **Г. В. Егоров, Н. В. Автугов, Д. В. Черныхов** // *Матер. науч.-метод. конф. "Морський флот: управління, економіка безпека"*. – Одеса: ОНМА-Видавнформ. – 2010. – С. 60-62.
10. **Егоров, Г. В.** Обоснование необходимости обновления торгового флота / **Г. В. Егоров, Н. А. Ильинский** // *Матер. науч.-метод. конф. "Морський флот: управління, економіка безпека"*. – Одеса: ОНМА-Видавнформ. – 2010. – С. 62-64.
11. **Будашко, В. В.** Концепция моделирования и построения электроэнергетической установки современного судна / **В. В. Будашко** // *Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок: зб. праць наук. семінару НАН України*. – Одеса: Наука і техніка. – 2015. – С. 109-116.
12. **Голиков, В. В.** Определение ледопродоходности судов для плавания в неарктических морях / **В. В. Голиков, П. А. Костенко, О. Н. Мазур** [и др.] // *Судовые энергетические установки*. – 2014. – № 33. – С. 183-190.
13. **Голиков, В. В.** Многоцелевое судно для ледовой проводки судов в Азовском море / **В. В. Голиков, О. Н. Мазур** // *Матер. науч.-метод. конф. "Забезпечення*

- без-аварійного плавання суден*". – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 69-73.
14. **Климанова, О. Н.** Реновация и конверсия судов : состояние проблемы, процедуры и перспективы / **О. Н. Климанова, В. М. Бондарь** // *Судовождение*. – 2004. – № 8. – С. 43-54.
 15. **Будашко, В. В.** Физическое моделирование многофункционального пропульсивного комплекса / **В. В. Будашко, О. А. Онищенко, Е. А. Юшков** // *Збірник наукових праць Військової академії* (м. Одеса). – 2014. – № 2. – С. 88-92.
 16. **Mazur, O.** Decision support system in assessing technical design and tender purchases // **O. Mazur, O. Onishchenko** // *Збірник наукових праць Військової академії*. – Одеса. – 2016. – № 1(5). – С. 91-99.
 17. **Yu, Y. Y.** A new method for ship inner shell optimization based on parametric technique / **Yan-Yun Yu, Yan Lin, Ming Chen** [et. al.] // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. – 2015. – Vol. 7, Is. 1. – P. 142-156. – doi: 10.1515/ijnaoe-2015-0011.
 18. **Prebeg, P.** Application of a surrogate modeling to the ship structural design / **Pero Prebeg, Vedran Zanic, Bozo Vazic** // *Ocean Engineering*. – 2014. – Vol. 84, Is. 1. – P. 259-272. – doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.03.032.
 19. **Yu, Y. Y.** New method for ship finite element method preprocessing based on 3D parametric technique / **Y. Y. Yu, Y. Lin, Z. S. Ji** // *Journal of Marine Science & Technology*. – 2009. – Vol. 3 (14). – P. 398-407. – doi: 10.1007/s00773-009-0058-1.
 20. **Lee, J. M.** Determination of global ice loads on the ship using the measured full-scale motion data / **Jae-Man Lee, Chun-Ju Lee, Young-Shik Kim** [et. al.] // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. – 2016. – Vol. 8, Is. 4. – P. 301-422. – doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.03.006.
 21. **Ko, D.** Time domain simulation for icebreaking and turning capability of bow-first icebreaking models in level ice / **D. Ko, K. D. Park, K. Ahn** // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. – 2016. – Vol. 8, Is. 3. – P. 228-234. – doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.02.004.
- Bibliography (transliterated):**
1. **Egorov, G. V.** Chernomorskij region: kakie nuzhny novye suda? *Mater. VI mezhd. nauchn.-tehn. konf. "Innovacii v sudostroenii i okeanotehnike"*. Nikolaev: NUK, 2015, 6-8.
 2. **Egorov, G. V., Il'nickij, I. A., Avtutov, N. V.** O mnogo-funktionalnosti v ledokolah i ledokolah-spasatelej novogo pokolenija. *Mater. VII mezhd. nauchn.-tehn. konf. "Innovacii v sudostroenii i okeanotehnike"*. Nikolaev: NUK, 2016, 44-45.
 3. **Egorov, G. V., Tonjuk, V. I.** Dvenadcat' mnogocelevyh suhogruzyh sudov dedejtom 5500 tonn proekta 005RSD03 tipa "Rossijanin". *Sudostroenie*. 2015, 1, 9-17.
 4. **Rizzuto, E., Downes, J., Radon, M.** [et. al.] Design Principles and Criteria. *Report of Committee IV. 1. Proc. of 19-th ISSC-2015*. Cascais (Portugal), 2015, 1, 415-458.
 5. **Collette, M., Bronsart, R., Chen, Y.** [et. al.] Design Methods. *Report of Committee IV. 2. Proc. of 19-th ISSC-2015*. Cascais (Portugal), 2015, 1, 459-518.
 6. **Egorov, G. V., Avtutov, N. V., Bagautdinov, R. D.** Mnogocelevyje suhogruzyje suda "Volgo-Don maks" klassa s ponizhennym nadvodnym gabaritom. *Sudostroenie i sudoremont*. 2012, 48-49, 20-35.
 7. **Khramushin, V. N., Antonenko, S. V., Komaritsyn, A. A.** [et al.] Stormy seakeeping history (antiquity and our days). *Sakhalin Branch of Russian Geographical Society*, 2010, 288 p.
 8. **Golikov, V. V., Kostenko, P. A., Lysyj, A. A.** [i dr.] Konceptija konstrukcii ledokola dlja raboty v Azovskom more. *Mater. nauchn.-tehn. konf. "Energetika sudna: ekspluatacija i remont"*. Odessa: ONMA-Vidatinform, 2011, 64-67.
 9. **Egorov, G. V., Avtuhov, N. V., Chernyhov, D. V.** Analiz sostojanija i obosnovanie neobhodimosti stroitel'stva sudov tehničeskogo flota. *Mater. nauk.-metod. konf. "Mors'kij flot: upravlinnja, ekonomika bezpeka"*. Odessa: ONMA-Izdatinform, 2010, 60-62.
 10. **Egorov, G. V., Il'inskij, N. A.** Obosnovanie neobhodimosti obnovlenija portovogo flota. *Mater. nauk.-metod. konf. "Mors'kij flot: upravlinnja, ekonomika, bezpeka"*. Odessa: ONMA-Vidav inform, 2010, 62-64.
 11. **Budashko, V. V.** Konceptija modelirovanija i postroenija jelektrojenergetičeskij ustanovki sovremenogo sudna. *Optimal'ne upravlinnja ta ekspluatacija elektroprivodiv special'nih ustanovok: zb. prac' nauk. seminaru NAN Ukraini*. Odessa: Nauka i tehnika, 2015, 109-116.
 12. **Golikov, V. V., Kostenko, P. A., Mazur, O. N.** [i dr.] Opredelenie ledoprohodimosti sudov dlja plavanija v nearkticheskikh morjah. *Sudovye jenergetičeskie ustanovki*. 2014, 33, 183-190.
 13. **Golikov, V. V., Mazur, O. N.** Mnogocelevoe sudno dlja ledovoj provodki sudov v Azovskom more. *Mater. nauk. metod. konf. "Zabezpečennja bezavarijnogo plavannja suden"*. Odessa: ONMA, 2011, 69-73.
 14. **Klimanova, O. N., Bondar', V. M.** Renovacija i konversija sudov : sostojanie problemy, procedury i perspektivy. *Sudovozhdenie*. 2004, 8, 43-54.
 15. **Budashko, V. V., Onishhenko, O. A., Jushkov, E. A.** Fizičeskoe modelirovanie mnogofunkci-onal'nogo propul'sivnogo. *Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovoї akademii* (m. Odessa). 2014, 2, 88-92.
 16. **Mazur, O., Onishchenko, O.** Decision support system in assessing technical design and tender purchases. *Zbirnik naukovih prats' Vijs'kovoї akademii*. Odessa. 2016, 1(5), 91-99.
 17. **Yu, Y. Y., Lin, Y., Chen, M.** [et al.] A new method for ship inner shell optimization based on parametric technique. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2015, 7(1), 142-156, doi: 10.1515/ijnaoe-2015-0011.
 18. **Prebeg, P., Zanic, V., Vazic, B.** Application of a surrogate modeling to the ship structural design. *Ocean Engineering*, 2014, 84(1), 259-272, doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.03.032.
 19. **Yu, Y. Y., Lin, Y., Ji, Z. S.** New method for ship finite element method preprocessing based on 3D parametric technique. *Journal of Marine Science & Technology*, 2009, 3(14), 398-407, doi: 10.1007/s00773-009-0058-1.
 20. **Lee, Jae-Man, Chun-Ju Lee, Young-Shik Kim** [et. al.] Determination of global ice loads on the ship using the measured full-scale motion data. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2016, 8(4), 301-311, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.03.006.
 21. **Ko, D., Park, K. D., Ahn, K.** Time domain simulation for icebreaking and turning capability of bow-first icebreaking models in level ice. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2016, 8(3), 228-234, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.02.004.

Сведения об авторах (About authors)

Голиков Владимир Владимирович – к.т.н., с.н.с., профессор, директор антикризисного центра научно-учебно-технического комплекса "Безопасность судоплавания"; Одесса, Украина; e-mail: volodymyr.golikov@fms.onma.edu.ua

Vladimir Golikov – Ph.D., senior staff scientist, professor, Director of Crisis Management Centre scientific, training and technical complex "Navigation Safety"; Odessa, Ukraine; e-mail: volodymyr.golikov@fms.onma.edu.ua

Мазур Оксана Николаевна – аспирант, Национальный университет "Одесская морская академия"; Одесса, Украина; e-mail: rio_onma@mail.ru

Oksana Mazur – graduate student, National University "Odessa Maritime Academy"; Odessa, Ukraine; e-mail: rio_onma@mail.ru

Онищенко Олег Анатольевич – д.т.н., профессор кафедры технической эксплуатации флота, Национальный Университет "Одесская морская академия"; Одесса, Украина; e-mail: olegoni@mail.ru

Oleg Onishchenko – Doctor of Technical Science, Professor, Technical fleet operation department National University "Odessa Maritime Academy"; Odessa, Ukraine; e-mail: olegoni@mail.ru

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Голиков, В. В. Особенности проектирования многоцелевого судна двойного назначения ледового класса / **В. В. Голиков, О. Н. Мазур, О. А. Онищенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 29-37. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.05

Please cite this article as:

Golikov, V., Mazur, O., Onishchenko, O. Design peculiarities of ice-class multi-purpose double-duty ship. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 29–37, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.05.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Голіков, В. В. Особливості проектування багатопільового судна подвійного призначення льодового класу / **В. В. Голіков, О. Н. Мазур, О. А. Онищенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 29-37. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.05.

АНОТАЦІЯ. Наведено уточнення формулювань "багатопільове судно" і "судно подвійного призначення". На основі історичного екскурсу доведена актуальність проектування і подальшого застосування в територіальних водах України багатопільових суден подвійного призначення льодового класу. Сформульовано мету і завдання проектування, запропонована методика проектування багатопільових суден льодового класу. Наведені основні результати - теоретичні креслення, загальні види судна, головні розміри, характеристики, можливості подолання льодових перешкод. Здійснено порівняння основних розрахункових параметрів спроектованого судна з існуючими судами-аналогами.

Ключові слова: багатопільове судно; подвійне призначення; льодовий клас; проектування.

Поступила (received) 09.12.2016

УДК 621.763-233.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.06

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ГВИНТОВОЇ ПОВЕРХНІ РОЗ'ЄМНОГО З'ЄДНАННЯ В ДЕТАЛЯХ З АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

А. Ю. ДОВГОПОЛОВ^{1*}, С. С. НЕКРАСОВ²

¹ Кафедра «Технологія машинобудування верстатів та інструменти», Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

² Кафедра опору матеріалів та машинознавства, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА

*email: d_a_y_@ukr.net

АНОТАЦІЯ З метою дослідження можливості утворення якісно нового роз'ємного з'єднання для деталей з армованих композиційних матеріалів, була розроблена, на основі раніше відомого методу технологія виготовлення подібного роз'ємного з'єднання [4]. З урахуванням всіх рекомендацій для даного типу матеріалів [1] створена геометрія інструменту, та визначені умови обробки підібране обладнання та приладдя для реалізації приведеної технології обробки.

Ключові слова: армовані композиційні матеріали (АКМ); роз'ємне з'єднання; кругла різьба; технологія виготовлення; фрезерування.

TECHNOLOGY OF PROCESSING OF A SCREW SURFACE OF A DETACHABLE JOINT IN DETAILS FROM THE REINFORCED COMPOSITE MATERIALS

A. DOVGOPOLOV^{1*}, S. NEKRASOV²

¹ Department of Mechanical Engineering Technology machines and tools, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

² Department of Resistance materials and mashinoznavstva, Sumy State University, Sumy, UKRAINE

ABSTRACT With a research objective of a possibility of creation of qualitatively new detachable joint for details from the reinforced composite materials, the manufacturing techniques of a similar detachable joint were developed on the basis of earlier known method [4]. Taking into account all recommendations for this type of materials [1] the tool geometry is created, and processing conditions are defined the equipment and accessories to realization of the given technology of processing is picked up. The recommended geometrical parameters of the cutting tool for processing of the reinforced composite materials the following: front corner $\gamma = 20-30^\circ$, rear corner $\alpha = 10-15^\circ$, point corner $\beta = 50-60^\circ$. The mode is realized on multiple-purpose the equipment, without use of the additional equipment and devices. Taking into account all recommendations it was also succeeded to develop new technology for a detachable joint in the reinforced composite materials. The purpose of work was development of manufacturing techniques of the offered detachable joint for the details made of the reinforced composite materials. Methods of the decision is an adaptation of earlier known mode to our conditions of processing, it very well turned out. As a result of the done work everything very well managed to be reached all objectives.

Keywords: reinforced composite materials; plug contact; round thread; manufacturing technology; milling.

Вступ

Сучасні підприємства виготовляють продукцію цивільного і спеціального призначення для авіаційної і ракетно-космічної галузі. Розвиток цієї наукомісткої техніки нерозривно пов'язаний з розробкою нових конструктивних рішень, прогресивних технологій, вдосконаленням існуючих або створенням нових матеріалів. Серед нових матеріалів останнім часом велика увага приділяється армованим композиційним матеріалам (АКМ), що володіють унікальними властивостями. Найпоширенішими АКМ вважаються вуглепластик та склопластик, завдяки своїм високим показникам міцності, порівняно невисокою ціною матеріалу та досить невеликою масою.

Останнім часом, вуглепластик та склопластик, почали широко використовувати для виготовлення корпусних деталей. Але проблема з'єднань які можна застосувати до даних матеріалів, досі залишається на першому місці. Найбільш застосовуваними для з'єднання АКМ, залишаються два типа з'єднань:

заклепкове, та клейове, рис. 1. Ці два методи з'єднання деталей мають суттєві недоліки. Перше це те, що клейові та заклепкові з'єднання можна застосувати до невеликого числа деталей, а основне це те що не можливо багаторазово розібрати з'єднання без його руйнування.

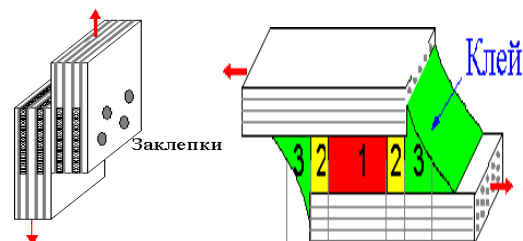


Рис. 1 – Заклепкове та клейове з'єднання АКМ

Оскільки, проблема створення та виготовлення працездатного та якісного роз'ємного з'єднання для АКМ досить актуальна і має досить велике народногосподарське значення було запропоновано

для вирішення даної проблеми новий тип роз'ємного з'єднання, та саму технологію виготовлення даного з'єднання.

Мета роботи

Розробка технології виготовлення запропонованого роз'ємного з'єднання для деталей виготовлених з армованих композиційних матеріалів.

Викладення основного матеріалу

Дослідженню основних з'єднань для деталей з армованих композиційних матеріалів присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. В роботі Карпова Я. С. запропоновані, нові способи з'єднання композиційних матеріалів (КМ) базуються на комбінації безперервного з'єднувального елемента (клей, будь який інший з'єднувальний матеріал) з дискретними кріпильними елементами (штифти, шайби, ребра) [6]. В аналітичному огляді [2], міститься досить детальний опис з'єднань з безперервним з'єднувальним шаром (наприклад, клейових).

Роботи Воробья В. В., Карпова Я. С., та Сироткина О. С. присвячені дослідженню механічних з'єднань (заклепкових, болтових та ін.) з композиційних матеріалів [7-9]. Baker A. A. та Niu M. C. досить детально, описали, в своїх роботах, розробку основних типів з'єднань для деталей літальних апаратів [3, 10].

В своїх роботах пов'язаних з механічною обробкою сучасних композиційних матеріалів Duraao L. M., Матвиенко В. А. встановили, що даний процес є вельми емким та дорогим, та вимагає застосування нового інструменту та обладнання [5, 11]. У своїй роботі присвяченій дослідженню з'єднань високонавантажених деталей з композиційних матеріалів, ґрунтуючись на запропонованих способах з'єднань деталей з КМ, Карпов Я. С. стверджує, що традиційні види з'єднань, які активно застосовуються для металевих конструкцій, малоефективні для композитів [6]. Zemann Richard у своїй роботі присвяченій дослідженню міцності різьбових з'єднань, досить детально дослідив міцність різьбового з'єднання виготовленого в армованому вуглепластику [12].

Армовані композиційні матеріали досить дорогі, дуже складні в ремонті та в з'єднанні між собою, але незважаючи на всі ці ознаки, їх досить активно впроваджують у військову техніку, машинобудування, спорт і медицину. Задача отримання якісного та працездатного роз'ємного з'єднання в АКМ є актуальною задачею.

Механічна обробка композиційних матеріалів значно відрізняється від обробки металів. Крім того, композиційні матеріали також різняться між собою за своїми властивостями і повинні оброблятися з урахуванням індивідуальних особливостей.

Відмінності властивостей, що впливають на оброблюваність, всередині групи композитів набагато більш значні, ніж, наприклад, між металами. Це, в свою чергу, створює певні труднощі як перед тими, хто хоче виконати обробку композиційного матеріалу. Найчастіше початок виготовлення виробів з цих матеріалів вимагає повного переосмислення методів обробки, переліку використовуваного інструменту, способу закріплення заготовки, а, в деяких випадках, навіть застосування спеціалізованого обладнання і оснастки [1].

В процесі механічної обробки різанням АКМ ріжуча кромка викликає відшаровування волокон. Саме тому, ріжуча кромка при різанні АКМ повинна бути максимально гострою [14], щоб запобігти виникненню тертя між інструментом та заготовкою.

На рис. 2 представлено свердло від компанії Sandvik геометрія свердла 85 РТ сплав CD10 дуже гостро заточене що дозволяє досягати великої якості при обробці отворів [13].



Рис. 2 – Свердло від компанії Sandvik для обробки АКМ [13]

Імовірність зношення інструменту повинна бути мінімальною, оскільки будь-які зміни геометричної форми ріжучої кромки приведуть до миттєвого зростання температур в зоні різання і критичного зносу кромки. Геометрію інструменту потрібно підбирати так щоб забезпечити легке навантажене різання з виникненням мінімальних сил різання [15]. Геометричні параметри різального інструменту що рекомендуються для обробки армованих композиційних матеріалів, мають наступні межі варіювання: передній кут: $\gamma = 20-30^\circ$, задній кут: $\alpha = 10-15^\circ$, кут загострення: $\beta = 50-60^\circ$ [15].

Що стосується самої конфігурації роз'ємного з'єднання в АКМ то тут повинно бути наступне, оскільки армовані композиційні матеріали не досить добре витримують навантаження на розтяг та стискання, порівняно з деякими металами, а на зсув взагалі погано себе зарекомендували [3], то потрібна зовсім інша геометрія профілю роз'ємного з'єднання, щоб уникнути поганих показників міцності, та не допустити виникнення гострих концентраторів напруг в роз'ємному з'єднанні.

Саме щоб уникнути негативних факторів представлених вище, і показана наступна концепція роз'ємного з'єднання для армованих композиційних матеріалів. Запропоновано використати круглу різьбу – так як вона краще з усіх типів різьб працює на

зріз, характеризується досить великою стійкістю, та підвищеним опором динамічним навантаженням, за рахунок відсутності гострих концентраторів напруг [16]. Основні параметри різьби такі як крок різі p та глибина профілю різі t а також зовнішній D та внутрішній D_1 діаметри різьби представлені на рис. 3.

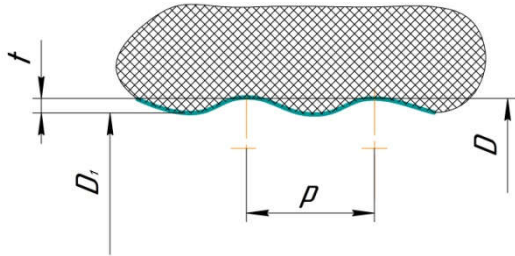


Рис. 3 – Параметри різьби

За основу технології виготовлення таких поверхонь, був взятий раніше розроблений спосіб обробки круглих різьб, оскільки лише в цьому методі геометрія інструмента не впливає на формування профілю різьби [4]. А армовані композити, в нашому випадку склопластик краще обробляти гостро заточеним різцем. Перевагою такого способу також є те що, обробка різьбової поверхні відбувається за один прохід що зменшує час обробки, а отже і час контакту ріжучої кромки з АКМ також зменшується, що позитивно впливає на сам процес різання та не допускає миттєвого зростання температур та зносу ріжучої кромки.

Схема фрезерування круглої різьби в склопластиковому армованому матеріалі представлена на рис. 4. Склопластиковий армований матеріал 1 обробляється однозубою фрезою 2, закріпленою в розточувальному пристрої 3, який закріплюється в цанговій оправці 4 фрезерного верстака з ЧПК моделі 6P13Ф3.

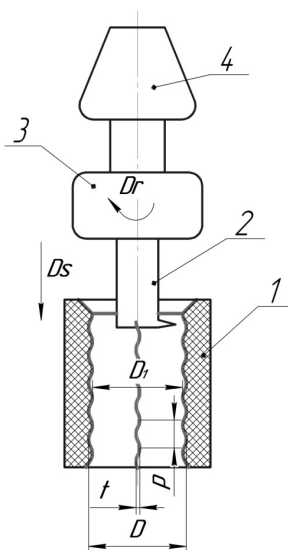


Рис. 4 – Схема фрезерування круглої різьби в АКМ

Спрощена кінематика процесу фрезерування різьби а АКМ виглядає наступним чином, різальному інструменту надають прямолінійний рух уздовж осі заготовки, як ріжучий інструмент використовують однозубу фрезу з гострим кутом заточування, а діаметр $d_{фр}$, рівний сумі внутрішнього діаметра D_1 різьби, та глибині профілю різьби t , встановлюють за рахунок розточувального пристрою, при цьому фрези надають обертання щодо власної осі і додатково повідомляють коловий рух фрези навколо осі заготовки, що узгоджений з прямолінійним рухом фрези таким чином, що за один коловий рух, фрези повідомляють прямолінійний рух уздовж осі заготовки, величина якого дорівнює кроку p різьби, причому діаметр колового руху дорівнює глибині профілю різьби t , крім того вісь заготовки розташовують паралельно по відношенню до осі обертання фрези.

Величина діаметра $d_{фр}$, фрези для обробки круглої різьби визначається за формулою:

$$d_{фр} = D_1 + t, \text{ мм} \quad (1)$$

де D_1 – внутрішній діаметр різьби, мм; t – глибина профілю різьби, мм.

Обробка круглої різьби виконується з однієї установки заготовки 1 внутрішній діаметр можна не виконувати, фаску також не потрібно виконувати. Для даного способу не обов'язковим є також виконання канавки для виходу фрези 2.

Висновки

У результаті проведеного експериментального дослідження, була встановлена можливість виготовлення якісно нового роз'ємного з'єднання для деталей з армованих композиційних матеріалів. На основі раніше відомого способу обробки [4] була розроблена технологія виготовлення представленого з'єднання.

З урахуванням усіх конструктивних особливостей матеріалу, та геометрії самого з'єднання, та взявши до уваги всі рекомендації для механічної обробки даного типу матеріалів: підібрана геометрія інструменту, обладнання та приладдя для реалізації приведеної технології обробки та визначені умови обробки.

Список літератури

- 1 Рих Кристер Новый виток развития обработки композитов / Кристер Рих // METALWORKING WORLD. Деловой и технический журнал от SANDVIK COROMANT. – 2010. – № 1. – С.12–13.
- 2 Артюхин, Ю. П. Напряжения в клеевых соединениях / Ю. П. Артюхин // Исследования по теории пластин и оболочек. – Киев: Изд-во Киев. гос. ун-та, 1973. – Вып. 10. – С. 3–27.
- 3 Baker, A. A. Composite Materials for Aircraft Structures / A. A. Baker // Eurospan. – 2004. – 400 p.

- 4 Пат. UA 103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби / С. С. Некрасов, Д. В. Криворучко, А. О. Нешта МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - No a201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. No 21.
- 5 Duraó, L. M. Machining of hybrid composites: Ph.D. dissertation / L. M. Duraó. - Porto. - 2005. - 242 p.
- 6 Карпов, Я. С. Соединения высоконагруженных деталей из композиционных материалов. Сообщ. 1. Конструктивно-технологические решения и оценка их работоспособности / Я. С. Карпов // *Пробл. прочности*. - 2006. - № 3. - С. 23-33.
- 7 Воробей, В. В. Соединения конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О. С. Сироткин. - Л.: Машиностроение. - 1985. - 168 с.
- 8 Карпов, Я. С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов / Я. С. Карпов. - Х.: *Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т»*. - 2006. - 359 с.
- 9 Сироткин, О. С. Технология и механика соединений / О. С. Сироткин, В. Б. Литвинов, В. И. Гришин. - М.: Арктика. - 2000. - 314 с.
- 10 Niu, M. C. Composite Airframe structures / M. C. Niu. - Hong Kong: *Connilit Press Ltd.* - 1992. - 686 p.
- 11 Матвиенко, В. А. Анализ современного уровня и перспектив конструктивно-технологического совершенствования соединений полимерных композиционных материалов / В. А. Матвиенко // *Материалы совецания* - М.: НИАТ. - 1986. - С. 3-12.
- 12 Richard Zemann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / Zemann Richard // *Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße 152, 1030 Vienna, AUSTRIA*.
- 13 <http://www.sandvik.coromant.com/ru/products/composite-solutions>, сайт заводу виробника.
- 14 Рычков, Д. А. Разработка технологии подготовки режущего инструмента для обработки слоистых композиционных материалов / Д. А. Рычков, В. А. Скрипняк, А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов // *Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. Материаловедение*. - 2014. - № 2 (63). С. 6-13.
- 15 Рычков, Д. А. Формирование режущей кромки фрезерного инструмента для обработки слоистых композиционных материалов, армированных стеклянными волокнами / Д. А. Рычков, В. А. Скрипняк, А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов // *Системы. Методы. Технологии*. - 2014. - № 2(22). - С. 42-46.
- 16 Некрасов, С. С. Способы обработки круглой резьбы / С. С. Некрасов, Д. В. Криворучко, А. А. Нешта // *Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка*. - 2013. - № 4. - С. 86-88.
- 2 Artyuhin, Y. P Stresses in adhesive joints. *Investigations in the theory of plates and shells*. Kyiv: Publishing house Kiev. state. University Press, 1973, 10, 3-27.
- 3 Baker, A. A. Composite Materials for Aircraft Structures. *Eurospan*, 2004, 400 p.
- 4 Pat. UA 103734. Method of processing a circular inner thread / S. S. Nekrasov, D. V. Kryvoruchko, A. O. Neshta IPC B23C 3/32 (2006.01), B23B 1/00. - No a201214037 appl. 12/10/2012; 11.11.2013, Bull. No 21.
- 5 Duraó, L. M. Machining of hybrid composites: *Ph.D. dissertation*. Porto, 2005. - 242 p.
- 6 Karpov, Y. S Compounds highly loaded parts made of composite materials. *Messaging*. 1. Konstruktivno technological solutions and evaluation of their performance. *Probl. strength*. 2006, 3, 23 - 33.
- 7 Vorobey, V. V., Sirotkin, O. Construction joints in composite materials. *Leningrad: Engineering*, 1985, 168 p.
- 8 Karpov, Y. S. Links parts and assemblies made of composite materials. *Kharkiv: Nat. aerokosm. Univ "Kharkiv. aviation. Inst "*, 2006, 359 p.
- 9 Sirotkin, O. S., Litvinov, V. B., Grishin, V. Technology and mechanical connections. *Moskov: Arctic*, 2000, 314 p.
- 10 Niu, M. C. Composite Airframe structures. *Hong Kong: Connilit Press Ltd.*, 1992, 686 p.
- 11 Matvienko, V. A. Analysis of the current level and prospects of structural and technological improvement of the compounds of polymer composites. *Matepialy meeting* *Moskov: HIAT*, 1986, 3 - 12.
- 12 Richard Zemann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer. *Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße, Vienna, AUSTRIA*, 152, 1030
- 13 <http://www.sandvik.coromant.com/ru/products/composite-solutions>, site of the manufacturer.
- 14 Rychkov, D. A., Skripnyak, V. A., Yanyushkin, A. S., Lobanov, D. V. Razrabotka tehnologii podgotovki rezhushchego instrumenta dlya obrabotki sloistyyh kompozitsionnyh materialov [Development of technology of preparation of cutting tools for machining laminated composite materials]. *Tehnologiya. Oborudovanie. Instrumenty. Materialovedenie [Processing of metals. Technology. Equipment. Instruments. Materials Science]*, 2014, 2(63), 6-13.
- 15 Rychkov, D. A., Skripnyak, V. A., Yanyushkin, A. S., Lobanov, D. V. Formirovanie rezhushchey kromki frezernogo instrumenta dlya obrabotki sloistyyh kompozitsionnyh materialov, armirovannyh steklyannyimi voloknami [Formation of cutting edge milling tool for machining laminated composite materials reinforced with glass fibers]. *Sistemyi. Metodyi. Tehnologii. [Systems. Methods. Technologies]*, 2014, 2(22), 42-46.
- 16 Nekrasov, S. S., Krivoruchko, D. V., Neshta, A. A. Sposoby obrabotki krugloy rezbyi [Methods of processing round thread]. *Oborudovanie i instrument dlya professionalov: Metalloobrabotka. [Equipment and tools for professionals Metalloobrabotka]*, 2013, 4, 86-88.

Bibliography (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Довгополов Андрій Юрійович – аспірант, Сумський державний університет, аспірант кафедри «Технологія машинобудування верстати та інструменти», м. Суми, Україна; e-mail: d_a_y_@ukr.net

Andriy Dovgopolo – postgraduate, Sumy State University, postgraduate Department of Mechanical Engineering Technology machines and tools, Sumy, Ukraine; e-mail: d_a_y_@ukr.net.

Некрасов Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент Сумський державний університет, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, м. Суми, Україна; e-mail: nekrasovss@gmail.com.

Sergiy Nekrasov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Resistance materials and mashinoznnavstva, Sumy Ukraine; e-mail: nekrasovss@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Довгополов, А. Ю. Технологія обробки гвинтової поверхні роз'ємного з'єднання в деталях з армованих композиційних матеріалів / **А. Ю. Довгополов, С. С. Некрасов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 38-42. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.06.

Please cite this article as:

Dovgorolov, A., Nekrasov, S. Technology of processing of a screw surface of a detachable joint in details from the reinforced composite materials. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 38–42, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.06.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Довгополов, А. Ю. Технология обработки винтовой поверхности разъемного соединения в деталях из армированных композиционных материалов / **А. Ю. Довгополов, С. С. Некрасов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 38-42. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.06.

АННОТАЦІЯ С целью исследования возможности создания качественно нового разъемного соединения для деталей из армированных композиционных материалов, была разработана на основе ранее известного метода технология изготовления подобного разъемного соединения [4]. С учетом всех рекомендаций для данного типа материалов [1] создана геометрия инструмента, и определены условия обробки подобранно оборудование и принадлежности для реализации приведенной технологии обработки.

Ключевые слова: армированные композиционные материалы (АКМ); разъемное соединение; круглая резьба; технология изготовления; фрезерование.

Надійшла (received) 5.12.2016

УДК 669.162.23:536.21

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07

ВПЛИВ ЧАСТКИ КОКСОВОГО ГАЗУ В ПАЛИВІ НА НЕОБХІДНИЙ РІВЕНЬ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ ГОРІННЯ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЇХ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ

О. М. ЗАЄЦЬ

Кафедра Теплотехніки та енергоефективних технологій, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
email: helena.lz487@gmail.com

АНОТАЦІЯ Запропоновано перед проектуванням системи утилізації теплоти димових газів доменних повітрянагрівачів з теплового балансу згоряння палива встановити взаємозалежність необхідної температури підігріву повітря горіння повітрянагрівачів та температуру підігріву повітря і доменного газу, збагаченого коксовим, одночасно від частки коксового газу в паливі. Розглянуто два температурних періоди: літній та зимній. Вставлено частку коксового газу, яку можна досягти внаслідок підігріву компонентів горіння доменних повітрянагрівачів за рахунок системи утилізації теплоти димових газів повітрянагрівачів.

Ключові слова: повітря горіння; коксовий газ; доменний газ; утилізація теплоти; тепловий баланс; доменні повітрянагрівачі

INFLUENCE OF THE COKE GAS SHARE IN THE FUEL ON THE REQUIRED LEVEL OF HEATING OF BLAST STOVES COMBUSTION AIR USING THEIR FLUE GASE HEAT

О. ZAIETS

Department of heat engineering and energy efficiency technologies, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT To meet the increasing demand for energy saving, a heat exchanger must be applied in the hot blast generating system to recover the flue gas sensible heat for the purpose of fuel gas and air preheating. The final temperatures and fuel composition are included in the number of initial data for calculation of heat exchanger. It is very useful to determine interrelation of the coke gas share in the fuel with gas and air preheat temperatures before calculation - this is the purpose of the paper. Such determination was made using the fuel combustion heat balance equation. In this case the initial data were: the blast furnace gas composition, the coke oven gas composition, the desired temperature under the dome of the hot blast stove, ambient temperatures for winter and summer conditions in the Ukraine. Part of the coke oven gas in the fuel was varied from 0 to 16%. Two cases of preheating were investigated: preheating of the combustion air only, preheating of combustion air and fuel at the same time. Each case was reviewed in the winter and summer conditions. As a result, a number of data were obtained. Out of this number optimal variants were selected. It was concluded that combustion air preheating provides reducing of coke gas share in the fuel to 9-12%, and simultaneous preheating of combustion air and fuel provides reducing of coke gas share in the fuel to 7-9%. Such measures lead to substantial savings of expensive coke gas and can be achieved using a recuperative heat exchanger, because temperature of preheating varies from 178°C to 224°C. These results will serve as data for further calculation of heat exchanger. At the same time further elimination of the coke oven gas is impossible as the temperature under the hot blast stove dome will not be achieved.

Keywords: combustion air; coke oven gas; blast furnace gas; waste heat recovery; heat balance.

Вступ

Металургійна галузь – це базова галузь економіки України. Підприємства чорної металургії становлять 88% від металургійного комплексу, який в свою чергу забезпечує понад 20% валового продукту країни. При цьому металургійна галузь характеризується високою енергоємністю, яка пояснюється неефективним споживанням паливно-енергетичних ресурсів. Так енергоємність при виробництві чавуну на вітчизняних підприємствах на 30 % вища, ніж у провідних іноземних виробників [1].

При виробництві чавуну доменний газ, що виробляється доменними печами, використовується повітрянагрівачами для нагріву доменного дуття. При цьому теплота згоряння доменного газу не здатна

забезпечити необхідну температуру під куполом повітрянагрівачів (1300-1450°C). Для досягнення такої температури необхідно доменний газ збагачувати високовартісними висококалорійними добавками: природним чи коксовим газом. При цьому теплота димових газів доменних повітрянагрівачів зазвичай не використовується [2].

Для використання теплоти димових газів можуть створюватися системи утилізації, що використовуються для підігріву компонентів горіння доменних повітрянагрівачів за рахунок теплоти їх димових газів. При проектуванні таких систем треба уявляти необхідні рівні підігріву компонентів горіння, що пов'язані з часткою висококалорійної добавки в паливній суміші.

Формулювання цілей статті

На прикладі регенеративного повітря-нагрівача з виносною камерою згорання, для заданого складу палива, треба оцінити вплив частки коксу на необхідні температури підігріву компонентів горіння.

Викладення основного матеріалу

За межами нашої країни тепловий потенціал димових газів доменних повітрянагрівачів використовується з 70-80х років [3-5] і по сьогодні [6-11]. Перші системи утилізації теплоти димових газів в Україні були спроектовані науковцями Національної металургійної академії України (НМетАУ) [12]. Вплив початкових параметрів компонентів горіння (температури, тиску, вологості) на теплоту згорання палива та рівні їх підігріву досліджено в [13].

В рамках наведених розрахунків в першу чергу задані сухі маси газів були перераховані на вологі – табл. 1-4

Далі були отримані показники складу суміші палива при частці коксу 0-16 % (табл. 5).

За допомогою методики, наведеної в джерелі [14], був виконаний розрахунок матеріального балансу горіння палива (табл. 6). Окрім значень теплоти згорання (Q_n^p) та теоретичної (L_0) і реальної витрати повітря (L_d), був визначений склад димових газів: об'єми продуктів згорання – V_{CO_2} , V_{H_2O} , V_{N_2} , V_{O_2} ; їх частки – r_{CO_2} , r_{H_2O} , r_{N_2} , r_{O_2} . Ці значення є цінними для подальших розрахунків, а саме – визначення режимних параметрів димових газів (температури та витрати), а також для проектування та розрахунку системи утилізації теплоти.

Використовуючи відоме значення проектної температури під куполом (1350 °C), була знайдена калориметрична температура (1530 °C) [2 С.121].

Необхідні температури підігріву повітря визначались з теплового балансу горіння палива (1) [13].

$$V_d \cdot c_{D0}^{t_{кал}} \cdot t_{кал} = Q_n^p + Q_{ф.п.} + Q_{ф.пов} - q_{х.н.}, \quad (1)$$

де V_d – дійсний об'єм продуктів згорання, м³/м³.

$c_{D0}^{t_{кал}}$ – середня об'ємна теплоємність продуктів згорання в інтервалі температур 0- $t_{кал}$, кДж/(м³·град);

Q_n^p – теплота згорання вологого газу, кДж/м³;

$Q_{ф.п.} = c_{0Г}^{t_G} \cdot t_G$ – фізична теплота палива, кДж/м³;

Таблиця 1 – Склад сухого доменного газу

Склад газу за об'ємом, %						Вологість газу
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	W ^c , г/м ³
21	23	3	53	0	0	50

Таблиця 2 – Склад сухого коксового газу

Склад газу за об'ємом, %							Вологість газу
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	C _m H _n	W ^c , г/м ³
2,6	7,1	58,4	3,2	1	24,8	2,9	50

Таблиця 3 – Склад вологого доменного газу

Склад газу за об'ємом, %						
CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	H ₂ O
19,8	21,6	2,8	49,9	0	0	5,9

Таблиця 4 – Склад вологого коксового газу

Склад газу за об'ємом, %							
CO ₂	C	H	N	O ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
	O	2	2		4	n	O
2,4	6,7	5,5	3	0,9	23,4	2,7	5,9

Таблиця 5 – Склад паливної суміші

Вміст кокс. газу, %	Склад газу за об'ємом, %							
	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
0	19,8	21,6	2,8	49,9	0	0	0	5,9
1	19,63	21,45	3,32	49,43	0,01	0,23	0,03	5,9
2	19,45	21,3	3,84	48,96	0,02	0,47	0,05	5,9
3	19,28	21,15	4,37	48,49	0,03	0,7	0,08	5,9
4	19,1	21	4,89	48,02	0,04	0,94	0,11	5,9
5	18,93	20,86	5,41	47,55	0,05	1,17	0,14	5,9
6	18,76	20,71	5,93	47,09	0,05	1,4	0,16	5,9
7	18,58	20,56	6,45	46,62	0,06	1,64	0,19	5,9
8	18,41	20,41	6,98	46,15	0,07	1,87	0,22	5,9
9	18,23	20,26	7,5	45,68	0,08	2,11	0,24	5,9
10	18,06	20,11	8,02	45,21	0,09	2,34	0,27	5,9
11	17,89	19,96	8,54	44,74	0,1	2,57	0,3	5,9
12	17,71	19,81	9,06	44,27	0,11	2,81	0,32	5,9
13	17,54	19,66	9,59	43,8	0,12	3,04	0,35	5,9
14	17,36	19,51	10,11	43,33	0,13	3,28	0,38	5,9
15	17,19	19,36	10,63	42,87	0,14	3,51	0,41	5,9
16	17,02	19,22	11,15	42,4	0,14	3,74	0,43	5,9

Таблиця 6 – Результати розрахунку матеріального балансу палива при частці коксу 0-16%:

Вміст коксу, %	Період	$Q_p^p, \text{МДж/м}^3$	$L_0, \text{м}^3/\text{м}^3$	$L_{II}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{CO}_2}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2\text{O}}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{N}_2}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{O}_2}, \text{м}^3/\text{м}^3$	$V_{\text{H}_2}, \text{м}^3/\text{м}^3$	F_{CO_2}	$F_{\text{H}_2\text{O}}$	F_{N_2}	F_{O_2}
0	Хол.	3,05	0,584	0,631	0,414	0,091	0,998	0,01	1,512	0,274	0,06	0,66	0,006
	Тепл.		0,593	0,64		0,1	1,005	0,01	1,528	0,271	0,066	0,657	0,007
1	Хол.	3,19	0,619	0,669	0,414	0,102	1,023	0,01	1,548	0,267	0,066	0,66	0,007
	Тепл.		0,628	0,678		0,111	1,03	0,011	1,566	0,264	0,071	0,658	0,007
2	Хол.	3,33	0,654	0,706	0,413	0,112	1,048	0,011	1,584	0,261	0,071	0,661	0,007
	Тепл.		0,663	0,716		0,123	1,055	0,011	1,602	0,258	0,076	0,659	0,007
3	Хол.	3,47	0,689	0,744	0,413	0,123	1,073	0,012	1,62	0,255	0,076	0,662	0,007
	Тепл.		0,698	0,754		0,134	1,081	0,012	1,639	0,252	0,082	0,659	0,007
4	Хол.	3,61	0,724	0,781	0,413	0,134	1,098	0,012	1,656	0,249	0,081	0,663	0,007
	Тепл.		0,734	0,792		0,145	1,106	0,012	1,676	0,246	0,086	0,66	0,007
5	Хол.	3,75	0,758	0,819	0,412	0,144	1,123	0,013	1,692	0,244	0,085	0,664	0,008
	Тепл.		0,769	0,831		0,156	1,132	0,013	1,713	0,241	0,091	0,661	0,008
6	Хол.	3,89	0,793	0,857	0,412	0,155	1,148	0,013	1,728	0,238	0,09	0,664	0,008
	Тепл.		0,804	0,869		0,167	1,157	0,014	1,75	0,235	0,096	0,661	0,008
7	Хол.	4,03	0,828	0,894	0,412	0,166	1,173	0,014	1,764	0,233	0,094	0,665	0,008
	Тепл.		0,84	0,907		0,179	1,183	0,014	1,787	0,23	0,1	0,662	0,008
8	Хол.	4,17	0,863	0,932	0,411	0,176	1,198	0,014	1,8	0,229	0,098	0,665	0,008
	Тепл.		0,875	0,945		0,19	1,208	0,015	1,824	0,225	0,104	0,662	0,008
9	Хол.	4,31	0,897	0,969	0,411	0,187	1,223	0,015	1,835	0,224	0,102	0,666	0,008
	Тепл.		0,91	0,983		0,201	1,233	0,015	1,861	0,221	0,108	0,663	0,008
10	Хол.	4,45	0,932	1,007	0,411	0,198	1,248	0,016	1,871	0,219	0,106	0,667	0,008
	Тепл.		0,945	1,021		0,212	1,259	0,016	1,897	0,216	0,112	0,663	0,008
11	Хол.	4,59	0,967	1,044	0,41	0,208	1,273	0,016	1,907	0,215	0,109	0,667	0,009
	Тепл.		0,981	1,059		0,224	1,284	0,016	1,934	0,212	0,116	0,664	0,009
12	Хол.	4,73	1,002	1,082	0,41	0,219	1,298	0,017	1,943	0,211	0,113	0,668	0,009
	Тепл.		1,016	1,097		0,235	1,31	0,017	1,971	0,208	0,119	0,664	0,009
13	Хол.	4,87	1,037	1,12	0,409	0,23	1,323	0,017	1,979	0,207	0,116	0,668	0,009
	Тепл.		1,051	1,135		0,246	1,335	0,018	2,008	0,204	0,122	0,665	0,009
14	Хол.	5,01	1,071	1,157	0,409	0,24	1,348	0,018	2,015	0,203	0,119	0,669	0,009
	Тепл.		1,087	1,174		0,257	1,36	0,018	2,045	0,2	0,126	0,665	0,009
15	Хол.	5,15	1,106	1,195	0,409	0,251	1,373	0,019	2,051	0,199	0,122	0,669	0,009
	Тепл.		1,122	1,212		0,268	1,386	0,019	2,082	0,196	0,129	0,666	0,009
16	Хол.	5,29	1,141	1,232	0,408	0,262	1,398	0,019	2,087	0,196	0,125	0,67	0,009
	Тепл.		1,157	1,25		0,28	1,411	0,019	2,119	0,193	0,132	0,666	0,009

$Q_{ф.пов.} = L_d \cdot c_{0ПОВ}^{t_{пов}} \cdot t_{пов}$ – фізична теплота повітря, кДж/м³;
 $t_{Г}, t_{ПОВ}$ – температури підігріву палива і повітря, °С;
 $c_{0Г}^{t_{Г}}, c_{0ПОВ}^{t_{пов}}$ – середні об'ємні теплоємності палива в інтервалі температур 0– $t_{Г}$ і повітря горіння в інтервалі температур 0– $t_{пов}$, кДж/(м³·град);
 $q_{х.н.}$ – питома теплота хімічного недопалу палива, кДж/м³.

Було виконано ряд розрахунків: коли підігрівається лише повітря (холодний і теплий період), коли підігрівається і повітря, і доменний газ (холодний і теплий період); процентний вміст коксу задавали від 0 до 16 %.

Значенням хімічного недопалу знехтували. Максимальна температура підігріву доменного газу склала 170°С, оскільки вона обмежується стійкістю гумового ущільнювача дроселя, що регулює витрату димового газу [13 С.217].

Початкова температура палива становила 50 °С, повітря 3°С і 33°С для зимнього і літнього періодів відповідно [2 С. 358]

Обговорення результатів

З результатів розрахунків видно, що для забезпечення необхідної калориметричної, а значить і проектної температури, під куполом повітрянагрівача необхідно спалювати паливо з часткою коксу 16% (табл. 7).

Підігрів повітря горіння може призвести до скорочення цього параметру до 9-12%, а одночасний підігрів і повітря, і палива – до 7-9%. При цьому необхідна температура підігріву повітря коливатиметься в межах 178-224°С.

Виключити коксовий газ із паливної суміші повністю за рахунок підігріву компонентів горіння з використанням лише теплоти димових газів неможливо, оскільки в цьому разі температура підігріву повітря повинна сягати 780-953°С.

Таблиця 7 – Визначення необхідних температур підігріву повітря

Вміст кокс. газу,%	Період	$t_{пов}, °C$	
		підігрів лише повітря	підігрів повітря і палива
0	Хол.	953	780
	Тепл.	987	812
1	Хол.	843	685
	Тепл.	868	720
2	Хол.	761	595
	Тепл.	794	633

Продовження табл. 7.

3	Хол.	675	513
	Тепл.	711	552
4	Хол.	595	438
	Тепл.	632	479
5	Хол.	520	369
	Тепл.	559	411
6	Хол.	452	306
	Тепл.	492	349
7	Хол.	388	247
	Тепл.	430	292
8	Хол.	329	193
	Тепл.	372	239
9	Хол.	274	142
	Тепл.	319	189
10	Хол.	224	95
	Тепл.	269	143
11	Хол.	176	51
	Тепл.	222	100
12	Хол.	132	9,7
	Тепл.	178	60
13	Хол.	90	-
	Тепл.	138	22
14	Хол.	50	-
	Тепл.	99	-
15	Хол.	12	-
	Тепл.	62	-
16	Хол.	-	-
	Тепл.	27,7	-

Наступними кроками має стати оцінка теплового потенціалу димових газів блоку повітрянагрівачів, для чого необхідно визначити зміни їх температури і витрати з плином часу, а також виконати вибір і розрахунок теплоутилізаційного оснащення.

Висновок

Із отриманих даних видно, що відмовитись від додавання висококалорійних добавок при заданому складі палива проблематично, але за рахунок підігріву компонентів горіння значно скоротити їх частку в паливі цілком можливо. Розрахунок утилізаційного оснащення має відбуватись з урахуванням отриманих даних.

Список літератури

1. **Майборода, О. Є.** Шляхи підвищення конкурентноспроможності металургійної галузі / **О. Є. Майборода** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013 – №67 (1040) – С. 46-52.
2. **Грес, Л. П.** Высокоэффективный нагрев доменного дутья: Монография / **Грес Л. П.** – Днепропетровск: Пороги. – 2008. – 492 с.
3. **Pat. JPS52091711 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00. Recovery of waste heat in hot stove of blast furnace /

- Nakagawa Koichiro, Moridera Hiromitsu**; appl. Nippon Steel Corporation; 1977-08-02.
- Pat. JPS55125210 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00, F27D17/00. Method and apparatus of recovering waste heat of hot stove / **Hatsutori Masayuki; Shibamoto Shingo; Ootake Kazufumi; Fukamachi Kunio**; appl. Nippon Steel Corporation; 1980-09-26.
 - A Simulation Program For Energy Saving in Hot Stove System / **Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.** // «*Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*» – Vol. 26(1986). – №10. – 920 p. – doi: 10.2355/isijinternational1966.26.920.
 - Vatanakul, M.** Waste Heat Utilization to Increase Energy Efficiency in the Metals Industry / **M. Vatanakul E. Cruz, K. McKenna, R. Hynes, J. Sarvinis, J. Swanepoel** // *Energize*. – Aug. 2011 – P. 72-76. – doi: 10.1002/9781118061886.ch1.
 - Bisio, G.** First-and second-Law Analyses of Energy Recoveries in Blast-furnace Regenerators / **G. Bisio** // *Energy*. – 2012. – Vol. 21, Issue 2 – P. 147-155. – doi: 10.1016/0360-5442(95)00103-4.
 - Pei-Hsun Lin** Efficiency Improvement of the Hot Blast Generating System by Waste Heat Recovery / **Pai-Hsiang Wang, Hui-Tien Chen, Wei-Lun Chung** // *Energy and Sustainability. WIT PRESS* Southampton, Boston. – 2012. – P. 113-121. – doi: 10.2495/ESUS070121.
 - Nicolás Pardo** Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO₂ Emissions in the European Iron & Steel industry / **Nicolás Pardo, José Antonio Moya** // *Energy*. – 2013. – Vol. 54. – P. 113 – 128. – doi: 10.1016/j.energy.2013.03.015.
 - Smith, M.** Blast Furnace Ironmaking: View on Future Developments / **M. Smith** // *Ironmaking and steelmaking*. – 2015. – Vol. 42. – Issue 10. – P. 734-742. – doi: 10.1179/0301923315Z.000000000422.
 - Nagaraja Rao K.** Design and Analysis of Waste Heat Recovery System to Improve the Performance of Blast Furnace / **K. Nagaraja Rao, Chandrashekar Hiregoudar & M. Jeethendrac** // *International Journal for Ignited Minds (IJMINDS)*. – 2016. – Vol. 03. – Issue 03. – [Web] http://www.ijiminds.com/allarticles/article_100_0.pdf
 - Грес, Л. П.** Повышение энергоэффективности нагрева доменного дутья на эксплуатируемых доменных печах путем установки системы теплообменников для нагрева компонентов горения и модернизации воздухонагревателей / **Л. П. Грес, Е. А. Каракаш, С. А. Карпенко, С. В. Колдомасов** // *Металл и литье Украины*. – 2014. – №5-6. – С. 43-47.
 - Грес, Л. П.** Теплообменники доменных печей / **Л. П. Грес, А. Е. Каракаш, А. Е. Миленина** / под общ. ред. Л. П. Греса. – Д.: Пороги. – 2012. – 491 с.
 - Аверин, С. И.** Расчеты нагревательных печей: учебное пособие / **С. И. Аверин** [и др.]; ред. **Н. Ю. Тайц**. – 2-е изд., испр. и доп. – К. : Техніка. – 1969. – С. 5-17.
 - Gres, L. P.** Vysokojeffektivnyj nagrev domennogo dut'tja: Monografija [Highly efficient blast air preheating: Monograph]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2008, 492 p.
 - Pat. JPS52091711 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00. Recovery of waste heat in hot stove of blast furnace / **Nakagawa Koichiro, Moridera Hiromitsu**; appl. Nippon Steel Corporation; 1977-08-02.
 - Pat. JPS55125210 (A)**, Japan, IPC C21B9/14, C21B9/00, F27D17/00. Method and apparatus of recovering waste heat of hot stove / **Hatsutori Masayuki; Shibamoto Shingo; Ootake Kazufumi; Fukamachi Kunio**; appl. Nippon Steel Corporation; 1980-09-26.
 - Asada Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd** A Simulation Program For Energy Saving in Hot Stove System. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 1986, 26(10), 920, doi:10.2355/isijinternational1966.26.920.
 - Vatanakul, M., Cruz, E., McKenna, K., Hynes, R., Sarvinis, J., Swanepoel, J.** Waste Heat Utilization to Increase Energy Efficiency in the Metals Industry, *Energize*, 2011, 72-76, doi: 10.1002/9781118061886.ch1.
 - Bisio, G.** First-and second-Law Analyses of Energy Recoveries in Blast-furnace Regenerators. *Energy*, 2012, 21(2), 147-155, doi: 10.1016/0360-5442(95)00103-4.
 - Pei-Hsun Lin, Hui-Tien Chen, Wei-Lun Chung** Efficiency Improvement of the Hot Blast Generating System by Waste Heat Recovery. *Energy and Sustainability. WIT PRESS* Southampton, Boston. 2012, 113-121, doi: 10.2495/ESUS070121.
 - Nicolás Pardo, José Antonio Moya** Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO₂ Emissions in the European Iron & Steel industry. *Energy*. 2013, 54, 113 – 128, doi: 10.1016/j.energy.2013.03.015.
 - Smith, M.** Blast Furnace Ironmaking: View on Future Developments. *Ironmaking and steelmaking*. 2015, 42(10), 734-742, doi: 10.1179/0301923315Z.000000000422.
 - K Nagaraja Rao, Chandrashekar Hiregoudar & M. Jeethendrac** Design and Analysis of Waste Heat Recovery System to Improve the Performance of Blast Furnace. *International Journal for Ignited Minds (IJMINDS)*. 2016, 03(03), [Web] http://www.ijiminds.com/allarticles/article_100_0.pdf
 - Gres, L. P., Karakash, E. A., Karpenko, S. A., Koldomasov, S. V.** Povyshenie energoeffektivnosti nagreva domennogo dut'tja na jekspluatiruemyh domennyh pechah putem ustanovki sistemy teploobmennikov dlja nagreva komponentov gorenija i modernizacii vozduhonagreva-telej [Energy efficiency improving of hot blast air preheating at exploited blast furnaces by setting a system of heat exchangers for preheating of the combustion components and the modernization of air heaters]. *Metall i lit'e Ukrainy [Metal and casting of Ukraine]*, 2014, 5-6, 43-47.
 - Gres, L. P., Karakash, A. E., Milenina, A. E.** Teploobmenniki domennyh pechej [Heat exchangers of blast furnaces]. pod obshh. red. L. P. Gresa. Dnipropetrovsk: Porogi, 2012, 491 p.
 - Averin, S. I.** Raschety nagrevatel'nyh pechej : uchebnoe posobie [Calculations of heat-treating furnaces: tex edition] red. **N. Ju. Tajc**. – 2-е изд., испр. i dop. Kyiv: Tehnika [technique], 1969, 540 p.

Bibliography (transliterated)

- Majboroda, O. E.** Shljahi pidvishhennja konkurentno-spromozhnosti metalurgijnoi galuzi [Ways of the steel industry competitiveness improvement]. *Visnik NTU «HPI» [Bulletin of NTU "KhPI"]*, 2013, 67 (1040), 46-52.

Відомості про авторів (About authors)

Засць Олена Миколаївна – аспірант кафедри Теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: helena.lz487@gmail.com

Olena Zaiets – postgraduate student of Department of heat engineering and energy efficiency technologies, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: helena.lz487@gmail.com

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Засць, О. М. Вплив частки коксового газу в паливі на необхідний рівень підігріву повітря горіння доменних повітрянагрівачів при використанні їх теплоти димових газів / **О. М. Засць** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 43-48. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

Please cite this article as:

Zaiets, O. Influence of the coke gas share in the fuel on the required level of heating of blast stoves combustion air using their flue gas heat. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), 43–48, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Заец, Е. Н. Влияние доли коксового газа в топливе на необходимый уровень подогрева воздуха горения доменных воздухонагревателей при использовании их теплоты дымовых газов / **Е. Н. Заец** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 43-48. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.07.

АННОТАЦИЯ Предложено перед проектированием системы утилизации теплоты дымовых газов доменных воздухонагревателей из теплового баланса сгорания топлива установить взаимозависимость необходимой температуры подогрева воздуха горения воздухонагревателей, и температуры подогрева воздуха и доменного газа, обогащенного коксовым, одновременно от доли коксового газа в топливе. Рассмотрены два температурных периода: летний и зимний. Установлена доля коксового газа, которую можно достичь в результате подогрева компонентов горения доменных воздухонагревателей за счет системы утилизации теплоты дымовых газов воздухонагревателей.

Ключевые слова: воздух горения; коксовый газ; доменный газ; утилизация теплоты; тепловой баланс.

Надійшла (received) 03.11.2016

УДК 621.789

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.08

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛИ

ИДАН АЛАА ФАДИЛ И, О. В. АКИМОВ, Е. А. КОСТИК*

Кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА
*email: eklitus@gmail.com

АННОТАЦИЯ Целью данной работы является разработка скоростной технологии упрочнения деталей для обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхностного слоя стали 38Х2МЮА. Интенсифицирован процесс азотирования за счет предварительной лазерной обработки поверхности стальных изделий. Изучено влияние предварительной лазерной обработки стали на изменение глубины упрочненного слоя. Получены закономерности изменения толщины упрочненного слоя в зависимости от скорости передвижения лазерного луча для поверхностных слоев стали 38Х2МЮА обработанных только лазером и комбинированной технологией упрочнения. Изучено влияние предварительной лазерной обработки стали на изменения значений поверхностной твердости. Установлено, что увеличение скорости передвижения лазерного луча резко снижает поверхностную твердость стали.

Ключевые слова: комбинированная обработка; лазерная обработка; азотирование; толщина упрочненного слоя; поверхностная микротвердость.

THE INNOVATIVE TECHNOLOGY OF HIGH-SPEED NITRIDING STEEL

IDAN ALAA FADHIL I, O. AKIMOV, K. KOSTYK*

Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Currently, the development of new resource-saving and economically expedient technologies of combined hardening of steel parts with a significant reduction in the duration of the treatment is an important and urgent task. The aim of this work is to develop high-speed technologies of hardening of details to ensure high operational properties of the surface layer of steel. Intensified nitriding process due to the advanced laser surface treatment of steel products. The test material is high quality structural alloy steel 38Cr2MoAl. The laser treatment of steel was carried out on the installation "Latus-31," according to the following modes: radiation power is 1.0–0.1 kW, diameter of area of focusing of the beam is 5 mm, the moving speed of the laser beam of 0.5–1.5 m/min. Nitriding was carried out in the environment of finely dispersed nitrogen-containing substances with activators at a temperature of 530–560 °C for 2–3 hours. The influence of laser pre-treatment of steel to change the depth of the hardened layer. The obtained regularities of the thickness of the hardened layer depending on the change of the movement speed of the laser beam to the surface layers of steel 38Cr2MoAl treated only with laser technology and combined hardening. It is established that the nitriding after laser treatment increases the thickness of the hardened layer of 1.05–1.59 times, which has a positive effect on the performance properties of detalizaciya the impact of prior laser treatment of steel to change the values of the surface hardness. The increase of the speed of movement of the laser beam dramatically reduces the surface hardness of the steel. XRD analysis of the investigated steel in the surface layer confirmed the presence of nitrides.

Keywords: combined treatment; laser treatment; nitriding; thickness of the hardened layer; surface microhardness

Введение

Применение ресурсосберегающих технологий для повышения эксплуатационного срока службы стальных деталей является наиболее перспективным решением увеличения долговечности деталей машин. Проблема отказа механизмов машин преимущественно связана с поверхностным разрушением, а именно с износом [1], ее можно решить с помощью разработки новых технологий поверхностного упрочнения деталей, легко поддающихся изнашиванию. Одним из актуальных направлений является создание деталей из недорогой основы с применением упрочняющей технологии поверхностного слоя. Существует целый ряд технологий, направленных на упрочнение поверхности детали, а именно: химико-термическая обработка, напыление, наплавка и т. д.

Большой интерес представляют комбинированные обработки, обеспечивающие повышение твердости и прочности поверхностного слоя [2]. Все существующие технологии можно разделить на следующие группы: нанесение покрытий; диффузионные покрытия; упрочнение поверхностного слоя за счет изменения структуры.

Распространенным видом упрочнения поверхности стали является азотирование, однако это довольно длительный и дорогостоящий процесс. В настоящее время большой интерес представляют технологии интенсификации процессов азотирования, обеспечивающие значительное сокращение времени насыщения сталей азотом.

Разработка новых ресурсосберегающих и экономически целесообразных технологий комбинированного упрочнения стальных деталей со

значительным сокращением длительности обработки является важной и актуальной задачей.

Анализ литературных данных

Анализ вопроса повышения срока службы деталей машин показывает, что достаточно эффективными способами поверхностного упрочнения сталей являются азотирование и лазерное упрочнение поверхности.

Лазерная обработка в сравнении с традиционными методами термической обработки материалов имеет целый ряд преимуществ [3]. При традиционной термической обработке необходим последующий отпуск, что снимает внутренние напряжения, однако наряду с этим снижает твердость обработанного слоя. При этом твердость составляет, как правило, 48–52 HRC. Лазерная же обработка не требует дополнительных операций отпуска. При этом твердость упрочненной лазерным лучом зоны поверхности составляет более 58–62 HRC [4]. Такая твердость закаленного слоя достигается за счет мартенситного превращения, оптимального сочетания насыщенности твердых растворов углеродом и легирующими элементами с их неоднородностью, повышения плотности дефектов кристаллического строения [5]. Наибольший интерес лазерной обработки стали для дальнейшего ускорения процесса азотирования представляет значительное измельчение зерна, что приводит к ускорению процессов диффузии азота вглубь металла.

Существует множество технологий азотирования, но наибольший интерес представляют инновационные технологии, обеспечивающие необходимую глубину диффузионного слоя за короткий промежуток времени процесса насыщения [6-10].

Известные комбинированные технологии лазерной обработки и азотирования, такие как "Способ низкотемпературного азотирования стальных деталей" (Патент RU 2415964), "Способ получения износостойких дискретных азотированных слоев" (Патент UA 25412), "Способ комбинированной лазерно-химико-термической обработки материалов" (Патент UA 19551) имеют ряд не решенных вопросов, а именно не обеспечивают достаточную глубину упрочненного слоя или поверхностную твердость, являются сложными в использовании, трудоемкими, энергозатратными, и длительными процессами (до 20 часов). Поэтому актуальным является создание инновационной технологии скоростного азотирования.

Цель работы

Целью данной работы является разработка скоростной технологии упрочнения деталей для обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхностного слоя стали.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- интенсифицировать процесс азотирования за счет предварительной лазерной обработки поверхности стальных изделий;
- изучить влияние предварительной лазерной обработки стали на изменение глубины упрочненного слоя;
- изучить влияние предварительной лазерной обработки стали на изменения значений поверхностной твердости.

Материал и методика исследования

Материалом для исследования является конструкционная легированная сталь 38Х2МЮА.

Лазерную обработку стали осуществляли на установке «ЛАТУС-31», согласно следующих режимов: мощность излучения - $1,0 \pm 0,1$ кВт, диаметр участка фокусировки луча - 5 мм, скорость перемещения лазерного луча - 0,5-1,5 м/мин.

Азотирование проводили в среде мелкодисперсного азотосодержащего вещества с активаторами при температуре 530–560 °С в течение 2–3 часов. Процесс азотирования проходил в закрытой атмосфере в виде герметичного контейнера в камерной печи без сложного специального оборудования, без применения защитных атмосфер.

Было исследовано влияние предварительной лазерной обработки и конечного азотирования на структуру, толщину, фазовый состав, микротвердость поверхностных слоев образцов стали 38Х2МЮА методами металлографического анализа с использованием металлографического микроскопа МИМ-7 с цифровой приставкой, ДРОН-3, ПМТ-3.

Обсуждение результатов

Поставленная задача интенсификации процесса азотирования решалась тем, что проводили предварительную лазерную обработку поверхности стальных изделий с мощностью лазерного излучения $1,0 \pm 0,1$ кВт, скоростью передвижения лазерного луча 0,5-1,5 м/мин и последующим азотированием при температуре 530–560 °С в течение 2–3 часов. При этом температура поверхностного слоя при лазерной обработке для стали должна превышать A_{C3} (температуру конца превращения феррита в аустенит), но не быть выше температуры плавления. Процесс азотирования проводили в закрытой атмосфере в виде герметичного контейнера в камерной печи без сложного специального оборудования, без применения защитных атмосфер и без применения такого вредного для здоровья газа, как аммиака.

Установлено, что предварительная лазерная обработка не меняет геометрические размеры изделия и качество его поверхности.

Интенсификация процесса химико-термической обработки достигается увеличением дефектности кристаллического строения материала.

Анализ полученных результатов показал, что интенсификация процесса азотирования лазерной обработкой поверхности стали позволяет получить азотированный слой большей толщины (до 0,65 мм) и большей микротвердости (до 12,5 ГПа) по сравнению с чисто азотированными участками (без предварительной лазерной обработки), на которых толщина диффузионного слоя не превышала 0,2 мм, а микротвердость – 10,8 ГПа (рис. 1 и 2 соответственно). Это объясняется облегчением диффузии атомов азота и повышением его растворимости, вследствие образования более дефектной структуры металла после лазерного облучения (повышение плотности дислокаций, дробления зерен и увеличение протяженности их границ, получения ультрадисперсных разориентированных зерен).

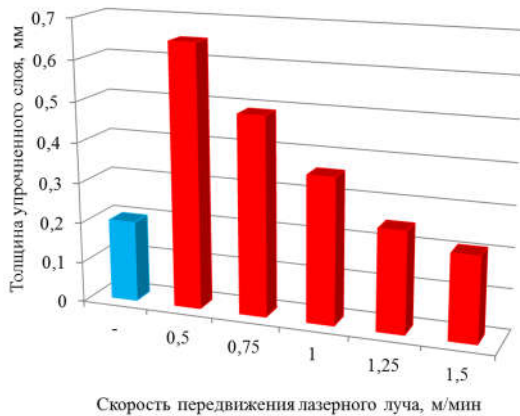


Рис. 1 – Влияние предварительной лазерной обработки стали на толщину упрочненного слоя в сравнении с толщиной азотированного слоя, полученного после азотирования без лазерной обработки (первый столбец голубого цвета)

Установлено, что на формирование упрочненного слоя и поверхностную твердость оказывает значительное влияние скорость передвижения лазерного луча, что позволяет варьировать и контролировать получаемые выходные данные. Получены закономерности толщины упрочненного слоя в зависимости от изменения скорости передвижения лазерного луча для поверхностных слоев стали 38Х2МЮА, обработанных только лазером и комбинированной технологией упрочнения (обработка лазером и последующее азотирование). Увеличение скорости передвижения лазерного луча способствует уменьшения толщины упрочненного слоя (рис. 3). Из полученных зависимостей видно, что азотирование после лазерной обработки увеличивает толщину упрочненного слоя в

1,05–1,59 раза, что оказывает положительное влияние на эксплуатационные свойства детали.

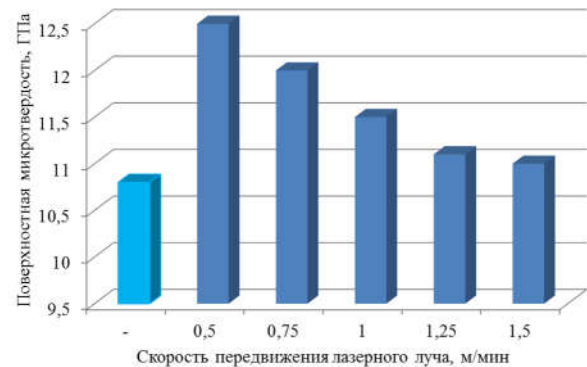


Рис. 2 – Влияние предварительной лазерной обработки на поверхностную микротвердость стали 38Х2МЮА в сравнении с поверхностной микротвердостью стали азотированной без лазерной обработки (первый столбец голубого цвета)

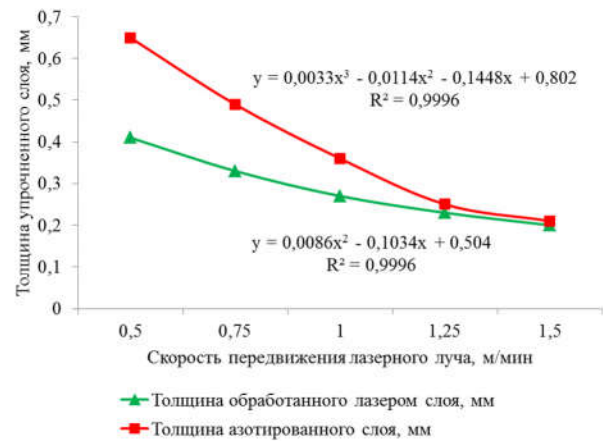


Рис. 3 – Закономерности изменения толщины упрочненного слоя в зависимости от скорости передвижения лазерного луча для поверхностных слоев стали 38Х2МЮА обработанных только лазером и комбинированной технологией упрочнения (обработка лазером и последующее азотирование)

Исследования поверхностной микротвердости показали, что она также, как и толщина упрочненного слоя, зависит от скорости передвижения лазерного луча. Из полученной зависимости (рис. 4) видно, что с увеличением скорости передвижения лазерного луча поверхностная микротвердость стали 38Х2МЮА резко снижается до значения скорости 1,25 м/мин, а затем меняется незначительно. Увеличение скорости передвижения лазерного луча от 0,5 до 1,5 м/мин понижает поверхностную микротвердость исследованной стали в 0,88 раза.

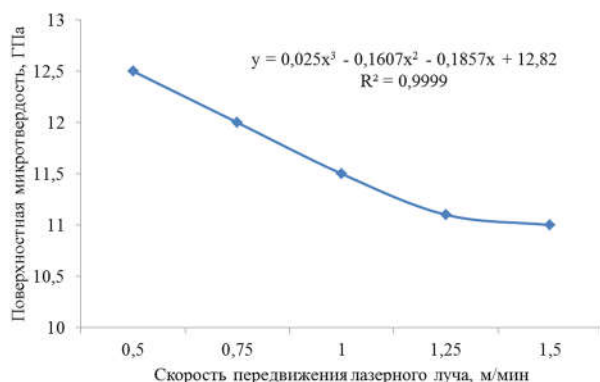


Рис. 4 – Закономерность изменения поверхностной микротвердости стали 38X2MЮА в зависимости от скорости передвижения лазерного луча

Рентгеноструктурный фазовый анализ исследуемой стали в поверхностном слое выявил наличие нитридов ζ -Fe₂N, ε -Fe₃N-Fe₂N, γ' -Fe₄N, Fe₃N и α -Fe.

Выводы

1. Интенсифицирован процесс азотирования за счет предварительной лазерной обработки поверхности стальных изделий.

2. Изучено влияние предварительной лазерной обработки стали на изменение глубины упрочненного слоя. Получены закономерности толщины упрочненного слоя в зависимости от изменения скорости передвижения лазерного луча для поверхностных слоев стали 38X2MЮА, обработанных только лазером и комбинированной технологией упрочнения.

3. Изучено влияние предварительной лазерной обработки стали на изменения значений поверхностной твердости. Установлено, что увеличение скорости передвижения лазерного луча резко снижает поверхностную твердость стали.

Список литературы

- Hahn, D. W. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), part II: review of instrumental and methodological approaches to material analysis and applications to different fields / D. W. Hahn, N. Omenetto // *Applied spectroscopy*. – 2012. – V. 66. – №. 4. – P. 347-419. – doi: 10.1366/11-06574.
- Shimizu, M. Mechanism of heat-modification inside a glass after irradiation with high-repetition rate femtosecond laser pulses / M. Shimizu, M. Sakakura, M. Ohnishi, Y. Shimotsuma, T. Nakaya, K. Miura, K. Hirao // *Journal of Applied Physics*. – 2010. – V. 108. – №. 7. – P. 073533. – doi: 10.1063/1.3483238.
- Lobankova, O. V. Influence of laser radiation on structure and properties of steel / O. V. Lobankova, I. Y. Zykov, A. G. Melnikov, S. B. Turanov // *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering: Proceedings of the*

- international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering, Incheon, South Korea, May 29-31, 2015. – CRC Press. – 2016. – 75 p.
- Kenar, H. Femtosecond laser treatment of 316L improves its surface nanoroughness and carbon content and promotes osseointegration: An in vitro evaluation / H. Kenar, E. Akman, E. Kacar, A. Demir, H. Park, H. Abdul-Khaliq, E. Karaoz // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2013. – V. 108. – P. 305-312. – doi:10.1016/j.colsurfb.2013.02.039.
- Okamuro, K. Laser fluence dependence of periodic grating structures formed on metal surfaces under femtosecond laser pulse irradiation / K. Okamuro, M. Hashida, Y. Miyasaka, Y. Ikuta, S. Tokita, S. Sakabe // *Physical Review B*. – 2010. – V. 82. – №. 16. – P. 165417. – doi: 10.1103/PhysRevB.82.165417.
- Mahmoudi, B. Laser surface hardening of AISI 420 stainless steel treated by pulsed Nd: YAG laser / B. Mahmoudi, M. J. Torkamany, A. S. R. Aghdam, J. Sabbaghzade // *Materials & Design*. – 2010. – V. 31. – №. 5. – P. 2553-2560. – doi:10.1016/j.matdes.2009.11.034.
- Yang, J. Experimental investigation and 3D finite element prediction of the heat affected zone during laser assisted machining of Ti6Al4V alloy / J. Yang, S. Sun, M. Brandt, W. Yan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2010. – V. 210. – №. 15. – P. 2215-2222. – doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.007.
- 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.
- Assunção, E. Comparative study of laser welding in tailor blanks for the automotive industry / E. Assunção, L. Quintino, R. Miranda // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2010. – V. 49. – №. 1-4. – P. 123-131. – doi: 10.1007/s00170-009-2385-0.
- 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.

Bibliography (transliterated)

- Hahn, D. W., & Omenetto, N. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), part II: review of instrumental and methodological approaches to material analysis and applications to different fields. *Applied spectroscopy*, 2012, **66**(4), 347-419, doi: 10.1366/11-06574.
- Shimizu, M., Sakakura, M., Ohnishi, M., Shimotsuma, Y., Nakaya, T., Miura, K., & Hirao, K. Mechanism of heat-modification inside a glass after irradiation with high-repetition rate femtosecond laser pulses. *Journal of Applied Physics*, 2010, **108**(7), 073533, doi: 10.1063/1.3483238.
- Lobankova, O. V., Zykov, I. Y., Melnikov, A. G., & Turanov, S. B. Influence of laser radiation on structure and properties of steel. In *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering: Proceedings of the international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering, Incheon, South Korea, May 29-31, 2015*. CRC Press, 2016, 75 p.
- Kenar, H., Akman, E., Kacar, E., Demir, A., Park, H., Abdul-Khaliq, H., Karaoz, E. Femtosecond laser treatment of 316L improves its surface nanoroughness and carbon content and promotes osseointegration: An in vitro

- evaluation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2013, **108**, 305-312, doi:10.1016/j.colsurfb.2013.02.039.
5. **Okumuro, K., Hashida, M., Miyasaka, Y., Ikuta, Y., Tokita, S., & Sakabe, S.** Laser fluence dependence of periodic grating structures formed on metal surfaces under femtosecond laser pulse irradiation. *Physical Review B*, 2010, **82**(16), 165417, doi: 10.1103/PhysRevB.82.165417.
 6. **Mahmoudi, B., Torkamany, M. J., Aghdam, A. S. R., & Sabbaghzade, J.** Laser surface hardening of AISI 420 stainless steel treated by pulsed Nd: YAG laser. *Materials & Design*, 2010, **31**(5), 2553-2560, doi: 10.1016/j.matdes.2009.11.034.
 7. **Yang, J., Sun, S., Brandt, M., & Yan, W.** Experimental investigation and 3D finite element prediction of the heat affected zone during laser assisted machining of Ti6Al4V alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, **210**(15), 2215-2222, doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.007.
 8. **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, **2**(5 (80)), 69-73, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65455.
 9. **Assunção, E., Quintino, L., & Miranda, R.** Comparative study of laser welding in tailor blanks for the automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, **49**(1-4), 123-131, doi: 10.1007/s00170-009-2385-0.
 10. **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, **2**(5 (80)), 45-49, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65454.

Сведения об авторах (About authors)

Идан Алаа Фадил И – аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Idan Alaa Fadhil I – PhD student, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Акимов Олег Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Oleg Akimov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

Костик Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: eklitus@yandex.ru.

Kateryna Kostyk – PhD of Technical Sciences, associate Professor, Department of Foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: eklitus@yandex.ru.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Идан, А. Ф. И. Инновационная технология скоростного азотирования стали / **А. Ф. И. Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 49-53. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.08.

Please cite this article as:

Idan Alaa Fadhil I., Akimov, O., Kostyk, K. The innovative technology of high-speed nitriding steel. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 49–53, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.08.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Идан, А. Ф. И. Інноваційна технологія швидкісного азотування сталі / **А. Ф. Ідан, О. В. Акімов, К. О. Костик** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 49-53. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.08.

АНОТАЦІЯ Метою даної роботи є розробка швидкісної технології зміцнення деталей для забезпечення високих експлуатаційних властивостей поверхневого шару сталі 38Х2МЮА. Інтенсифіковано процес азотування за рахунок попередньої лазерної обробки поверхні сталевих виробів. Вивчено вплив попередньої лазерної обробки сталі на зміну глибини зміцненого шару. Отримані закономірності зміни товщини зміцненого шару залежно від швидкості пересування лазерного променя для поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА оброблених тільки лазером і комбінованою технологією зміцнення. Вивчено вплив попередньої лазерної обробки сталі на зміни значень поверхневої твердості. Встановлено, що збільшення швидкості пересування лазерного променя різко знижує поверхневу твердість сталі.

Ключові слова: комбінована обробка; лазерна обробка; азотування; товщина зміцненого шару; поверхнева мікротвердість.

Поступила (received) 02.12.2016

УДК 621.785.53

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.09

ПОВЕРХНЕВЕ ДВОШАРОВЕ ЗМІЦНЕННЯ СТАЛІ ПРИ ПОСЛІДОВНОМУ НАСИЧЕННІ ВУГЛЕЦЕМ ТА БОРОМ В ПОРОШКОВИХ МАКРО- ТА НАНОДИСПЕРСНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

К. О. КОСТИК

Кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА
email: eklitus@gmail.com

АНОТАЦІЯ Метою роботи є зміцнення поверхневих шарів сталей методами ХТО в порошкових макро- та нанодисперсних середовищах. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання: розробити методи ХТО у нових порошкових середовищах; встановити оптимальні режими; розрахувати ефективні коефіцієнти дифузії насичувальних елементів в сталях. В роботі використані оптична та електронна мікроскопія; вимірювання мікротвердості, обробка результатів статистичними методами. Поверхнє двошарове зміцнення сталі 38Х2МЮА при послідовну насиченні атомарним вуглецем (при цементації) та атомарним бором (при пічному боруванні) при різних температурах, дозволило сформувати боридний шар з перехідною зоною. Отримана перехідна зона дозволяє підвищити експлуатаційні властивості деталей машин та інструменту за рахунок зменшення мікротвердості дифузійного шару. Обрано оптимальний режим комплексної ХТО, який включає цементацію при 950 °С протягом 2 годин, борування при 950 °С протягом 2 годин для отримання найбільшої поверхневої твердості 22 ГПа з максимальним загальним дифузійним шаром 1,4 мм. Отримано математичні моделі формування дифузійних шарів та зміну коефіцієнту дифузії бору після комплексного насичення атомарним вуглецем та бором, які дозволяють прогнозувати необхідні властивості поверхневих шарів легваної сталі від температури ХТО.
Ключові слова: хіміко-термічна обробка; легвана сталь; глибина дифузійного шару; мікротвердість поверхні; дифузія

DOUBLE-LAYERED SURFACE HARDENING OF STEEL IN SUCCESSIVE SATURATION OF CARBON AND BORON IN POWDERED MACRO AND NANOSCALE ENVIRONMENTS

К. КОСТУК

Department of Foundry, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This work is focused on two urgent tasks: to pick up saturating composition, which significantly accelerates the processes chemical heat treatment; to develop technology without using special equipment. Addressing these issues will provide the necessary product quality and significantly reduce the energy consumption of modern Ukraine. The aim is the strengthening of surface layers of steels by the methods of chemical heat treatment in the powder macro - and nanoscale environments. To achieve the goal it is necessary to solve following tasks: to develop methods chemical heat treatment new powder environments; to determine optimum modes; to calculate the effective diffusion coefficients saturating elements in steels. We used optical and electron microscopy, microhardness measurements, processing the results by statistical methods. Two-layer surface strengthening of steel 38Cr2MoAl the sequential saturation of the atomic carbon, and atomic boron at various temperatures, allowed to form boriding layer with a transition zone. Obtained transition zone allows to improve operational properties of machine parts and tools by reducing microdroplet diffusion layer. The selected optimal mode of the integrated, which includes carburizing at 950 °C for 2 hours, boriding at 950 °C for 2 hours to obtain the highest surface hardness of 22 GPa with a maximum total of the diffusion layer is 1.4 mm. the Obtained mathematical model of formation of diffusion layers and the change of the diffusion coefficient of boron after complete saturation of the atomic carbon and boron, in order to predict the required properties of the surface layers of alloy steels to the temperature.

Keywords: chemical heat treatment; alloy steel; depth of the diffusion layer; the microhardness of the surface diffusion

Введення

Для підвищення довговічності найбільш відповідальних деталей машин широко використовуються процеси цементації, нітроцементації та азотування. Деяко менше використовується поверхнєве насичення бором, кремнієм та металами. Прикладом можуть служити деталі автомобілів, тракторів, станків та інших машин,

що працюють в умовах зносу, кавітації, циклічних навантажень, корозії тощо.

Процес хіміко-термічної обробки є багатоступеневим, і включає в себе три послідовні стадії:

1. Утворення активних атомів в середовищі насичення біля поверхні або безпосередньо на поверхні металу. Потужність дифузійного потоку, тобто кількість активних атомів які виникають за одиницю часу.

2. Адсорбція поверхнею насичення активних атомів, що утворилися. Адсорбція є складним процесом, перебіг якого носить нестационарний характер. Розрізняють фізичну (оборотну) адсорбцію і хімічну адсорбцію (хемосорбцію). При хіміко-термічній обробці ці типи адсорбції накладаються одна на одну. Фізична адсорбція призводить до зчеплення адсорбованих атомів елемента насичення (адсорбату) з оброблюваною поверхнею (адсорбентом) завдяки притягальній дії сил Ван дер Вальса, і для неї характерна легка оборотність процесу адсорбції-десорбції. При хемосорбції відбувається взаємодія між атомами адсорбату і адсорбенту, яка за своїм характером і силою близька до хімічної.

3. Дифузія – переміщення адсорбованих атомів в решітці оброблюваного металу. Процес дифузії можливий тільки при наявності розчинності дифундуючого елемента в оброблюваному матеріалі і досить високій температурі, що забезпечує енергію необхідну для перебігу процесу.

Товщина дифузійного шару, а отже і товщина зміцненого шару поверхні виробу, є найважливішою характеристикою хіміко-термічної обробки. Товщина шару визначається рядом таких факторів, як: температура насичення; тривалість процесу насичення; склад металу, тобто вміст у ній тих чи інших легувальних елементів; градієнт концентрацій насичуючого елемента між поверхнею виробу і в глибині шару насичення [1, 2].

Аналіз літературних даних

Цементация – це хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі вуглецем при нагріванні у відповідному середовищі – карбюризаторі. Цементацию проводять при температурах вище точки A_{C3} (930–950 °C), коли стійкий аустеніт, який розчиняє вуглець у великих кількостях.

Цементация широко застосовується для зміцнення середньо розмірних зубчастих коліс, валів коробки передач автомобілів, окремих деталей рульового керування, швидкохідних валів верстатів, шпинделів і багатьох інших деталей машин.

Газова цементация здійснюється в стаціонарних (безперервно-діючих) печах. Цементуючий газ готують окремо і подають в цементацийну реторту. При газовій цементации відбувається три процеси:

1. Дисоціація – розпад активних атомів дифузійного елемента.

2. Абсорбція відбувається на кордоні газ-метал і складається в поглинанні (розчиненні) поверхнею вільних атомів.

3. Дифузія – проникнення елемента, що насичує, вглиб металу.

Залежно від дифундуючого насичуючого поверхню елемента розрізняють наступні види ХТО: цементацию (вуглець); азотування (азот); нітроцементация (азот + вуглець); сульфоазотування

(сірка + азот); алітування (алюміній); хромування (хром) та ін.

Цементуючими газами є окис вуглецю і газоподібні вуглеводні. Розкладання цих сполук призводить до утворення активного атомарного вуглецю. Якщо поверхня сталі не поглинає весь виділяючийся вуглець (абсорбція відстає від дисоціації), то вільний вуглець, кристалізується з газової фази, відкладається у вигляді щільної плівки сажі на деталі, ускладнюючи процес цементации [3].

Тому для раціонального ведення процесу газової цементации потрібно мати газ певного складу і регламентувати його витрати.

Таким чином, при температурі цементации ми отримуємо аустеніт змінної від концентрації 1,2–1,3 % C (при температурі процесу 860 °C) до 0,1–0,15 % C. При охолодженні після цементации до нормальної температури відбудеться перетворення у відповідності з вмістом вуглецю в данному шарі.

Поверхнева зона, в якій вуглецю 0,8–0,9 % має структуру перліт + цементит, потім зона з вмістом вуглецю близько 0,8 %, після зона з вмістом вуглецю менш 0,7 % плавно переходить в структуру серцевини.

Вміст вуглецю у зовнішньому шарі не повинен перевищувати 1,1–1,2 % тому, що великий вміст вуглецю призводить до утворення вторинного цементиту, який підвищує крихкість.

Завдання цементации – забезпечити високу поверхневу твердість і зносостійкість при в'язкій серцевині – не вирішується однією цементацией. Остаточні формують властивості наступним гартуванням.

Тверда цементация виробляється в спеціальних сталевих ящиках, в яких деталі укладають поперемінно з карбюризатором. Ящики закривають кришками і замазують вогнетривкою глиною для запобігання витoku газів. Як твердий карбюризатор використовують дубове і березове деревне вугілля і активатори $BaCO_3$ або Na_2CO_3 . Найчастіше використовують суміш з 75–85 % березового вугілля і 20–30 % $BaCO_3$ або Na_2CO_3 . Застосовують також карбюризатори, що містять 10–20 % вуглекислих солей. При нагріві до температури 900–950 °C відбуваються реакції, при яких окис вуглецю в присутності заліза розкладається на двоокис вуглецю і вуглець. Атоми вуглецю, що утворились в результаті цих реакцій, потрапляють в решітку γ -заліза і через дифузію проникають на певну глибину в поверхневі шари деталей.

Ступінь насичення і глибина проникнення вуглецю залежить від тривалості процесу і якості карбюризатора [4].

Недоліками процесу цементации твердим карбюризатором є велика трудомісткість і низька продуктивність. Однак головною перевагою цього процесу є відсутність потреби у спеціальному устаткуванні.

Властивості поверхневих шарів деталей обумовлюються складом і структурою цементованого

шару. Встановлено, що кращі властивості мають сталі із вмістом вуглецю в поверхневому шарі в межах 0,8–1 %. Із збільшенням концентрації вуглецю зносостійкість сталі зменшується на 10–15 %, границя міцності при скручуванні – на 15–20 %. Знижується також ударна в'язкість.

Мікроструктура цементованого шару вуглецевої сталі після повільного охолодження складається з доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної сталей. Глибиною цементації є сумарна глибина заевтектоїдної, евтектоїдної і половини доевтектоїдної зони [5]. Структура заевтектоїдної зони складається з пластинчатого перліту з невеликою кількістю залишкового цементиту, а евтектоїдна зона має перлітну структуру. Після гартування структура цементованого шару складається з дрібногольчатого мартенситу.

Процес цементації проводять вище A_{C3} (зазвичай при 910–930 °С, рідше при 1000–1050 °С), коли сталь знаходиться в аустенітному стані з високою розчинністю вуглецю. Товщина цементованого шару залежно від складу сталі і призначення виробу може складати 0,5–2 мм [6].

Борування – хіміко-термічна обробка, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі бором.

Найбільш поширеним є рідинне електролізне борування: в тигель з розплавленої бури поміщають оброблювану деталь (катод) і графітовий стрижень (анод), через які пропускають постійний струм для створення процесу електролізу. Оптимальна температура борування 920–950 °С. Основним обладнанням є печі-ванни з електричним або газовим обігрівом. Підвищення щільності струму, температури і тривалості процесу незначно збільшує товщину шару при одночасному зростанні його крихкості. Крім того, підвищення температури призводить до зменшення терміну служби обладнання, збільшення витрати сировини і погіршує структуру основного металу. Зниження температури зменшує швидкість дифузії і уповільнює процес борування [7].

Газове борування – більш досконалий метод насичення бором. Воно проводиться в активних газових середовищах і при більш низьких температурах. Але застосовувані газові суміші, токсичні та вибухонебезпечні, що й обмежує застосування газового борування. Газове борування проводять у спеціальних установках за рахунок розкладання газоподібних сполук бору: диборану (B_2H_6), трихлористогобору (BCl_3), трохбромистого бора (BBr_3), триметил $[(CH_3)_3B]$ та інших речовин. У технологічному плані процес газового борування подібний процесів газової цементації або азотування.

Борування в обмазках (з паст) доцільно застосовувати при зміцненні великогабаритних виробів, а також при необхідності місцевого борування. Розвиток цього напрямку в боруванні стимулюється також можливістю поєднання борування з вживаними на підприємствах режимами

термічної обробки зміцнення деталей [8]. Технологія процесу борування з паст передбачає виконання таких операцій: приготування обмазки, підготовка поверхні до насичення, нанесення і сушка обмазки, борування деталей за заданим режимом, охолодження і очищення деталей від паст. Основні компоненти пасті ретельно змішують у спеціальних змішувачах і розбавляють до необхідної консистенції. В якості в'язучих використовують гідролізний етил силікат, рідке скло, сульфитно-спиртову барду, декстриновий клей тощо. Консистенція пасті визначається в основному обраною технологією нанесення її на деталі: пульверизацією, зануренням, кистю. Після завершення режиму насичення деталі охолоджують на повітрі або піддають безпосередньому гартуванню.

Призначення борування – підвищити твердість, яка зберігається до 950 °С, опір абразивного зносу і корозії в агресивних середовищах, теплостійкість і жаростійкість сталевих деталей [9–10].

Матеріал і методика дослідження

Досліджувані матеріали для комплексної хіміко-термічної обробки


Матеріалом для дослідження в даній науково-дослідній роботі є сталь 38Х2МЮА. Зразки зміцнювали боруванням та комплексною хіміко-термічною обробкою за режимами, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Режими хіміко-термічної обробки

№ п/п	Цементация	Борування
1	800 °С, 2 год	800 °С, 2 год
2	850 °С, 2 год	850 °С, 2 год
3	900 °С, 2 год	900 °С, 2 год
4	950 °С, 2 год	950 °С, 2 год

Сталь 38Х2МЮА застосовується для виготовлення штоків, клапанів парових турбін, що працюють при температурі до +450 °С, гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, голок форсунок, тарілок букс, розпилювачів, пальців, плунжерів, розподільних валиків, валів, втулок та інших деталей, деталей ракетних і авіаційних двигунів, деталей трубопроводів з загартуванням в маслі і відпуском у маслі або у воді, суцільнокатаних кілець різного призначення (табл. 2).

Таблиця 2 – Деталі зі сталі 38Х2МЮА після ХТО

Назва деталі	Сфера використання	Зображення деталі
Сопла	Частина труби, що служить для регулювання струменя газу, пари, рідини, що виходить із неї	

Шестерня	Використовуються парами з метою перетворення обертального моменту і числа обертів валів на вході і виході	
Пуансон	Надає безпосередній тиск на матеріал, що обробляється	
Шестерня	Передає обертальний рух між валами	

Застосовані матеріали й технологія ХТО

При цементації зразки поміщають у контейнер, заповнений карбюризатором, в якості якого служить деревне вугілля (дубовий або березовий) в зернах поперечником 3,5–10 мм або кам'яно-вугільний напівкокс і торф'яний кокс, до якого додають активатори: вуглекислий барій (BaCO_3) і кальциновану соду (Na_2CO_3) в кількості 10–40 % від маси вугілля.

Приготування карбюризатора зводиться до дроблення деревного вугілля і просіювання його через систему сит; роздроблене вугілля (3,5–10 мм) поливають водним розчином вуглекислих солей (температура розчину 50–80 °С), ретельно перемішують і просушують при 100–150 °С.

Зразки, що підлягають цементації, після попереднього очищення укладають у зварні сталеві контейнери. При упаковці виробів на дно контейнера насипають і утрамбовують шар карбюризатора товщиною 20–30 мм, на який укладають перший ряд зразків, витримуючи відстань між зразками і до бічних стінок контейнера 10–15 мм. Потім засипають і утрамбовують шар карбюризатора товщиною 10–15 мм, на нього укладають другий шар зразків і т. д. Останній (верхній) ряд зразків засипають шаром карбюризатора товщиною 35–40 мм з тим, щоб компенсувати можливу його усадку. Зразки зазвичай займають 15–20 % об'єму контейнера. Контейнер накривають кришкою обмазують вогнетривкою глиною або сумішшю глини і річкового піску. Після цього контейнер поміщають у піч. Нагрівання проводилося до температур: 800 °С, 850 °С, 900 °С, 950 °С і витримували протягом 2 год. Після цементації контейнер охолоджували на повітрі до 400–500 °С і потім розкривали [13].

Борування в обмазках доцільно застосовувати при необхідності зміцнення великогабаритних виробів або для місцевого борування окремих ділянок деталей. Перед боруванням поверхню зразків очищали від слідів окалини, іржі, змащення та інших забруднень. Незначні забруднення видалили 96 %-им спиртом.

Борування в порошкоподібних сумішах проводять на основі боровмістких речовин.

Наносився шар пасти два-три рази із просушуванням у шафі при температурі 140 °С протягом 30–40 хв до повного висихання пасти. Далі зразки, пересипані поліборидом магнію, містилися в тигель. Ставили в камерну піч на 120 хв при температурах 800 °С, 850 °С, 900 °С, 950 °С. Зразки після борування піддавалися термічній обробці: гартуванню і відпуску. Гартування проводили з температур борування в олію.

Для борування в пастах застосовувалася суміш на основі боровмістких речовин з додаванням активаторів. Складові перемішували в сухому стані в спеціальному змішувачі, потім додавали сполучні компоненти до необхідної консистенції. Також, як сполучні елементи використовували 96 % спирту і розчин клею БФ-2 в ацетоні. Відпуск проводили в камерній печі при температурі 200 °С протягом 1,5 год з наступним охолодженням на спокійному повітрі [14].

Структурні дослідження

Дослідження мікроструктури зразків зі сталі 38Х2МЮА проводилися методом оптичної мікроскопії на МІМ-7 та ММР-4 при різних збільшеннях.

Вимірювання твердості зразків за Роквеллом було проведено за стандартною методикою. Вимірювання мікротвердості проводили на приладі ПМТ-3 при навантаженні 100 грамів і витримці 15 с згідно з ГОСТ 9450-76. Індентором була алмазна піраміда із квадратною підставою правильної чотиригранної форми з кутом при вершині між протилежними гранями рівним 136 ° [16].

Обговорення результатів

Для борованого шару характерно розташування кристалів бориду у вигляді голок, направлених углиб перпендикулярно поверхні, що свідчить про анізотропію дифузії бору. Переважне пересування бору в напрямі, перпендикулярному фронту дифузії, пояснюється анізотропією концентрації вакансій на площинах кристалічних решіток з різними кристалографічними індексами. Анізотропія дифузії більш властива кристалічним решіткам з низькою симетрією. Поява на поверхні сталі бориду, в початковий період процесу борування приводить до перекристалізації симетричних кубічних решіток α - або γ -фази в тетрагональну (Fe_2B) і потім ромбічну (FeB), що сприяє анізотропії дифузії.

Орієнтація бориду така, що створюються направлені перпендикулярно фронту дифузії, співпадаючі з площиною (001) і (100) кристалічних решіток «канали», по яким бор дифундує крізь решітки бориду. Такий спосіб проникнення бору прискорює процес насичення і створює умови для швидкої акумуляції атомів бору і зростання боридної фази в більш глибоких зонах. Концентрація домішок на

межах зерен збільшує горофільність бору, що сприяє просуванню бориду у вигляді клинів.

Результати дослідження сталі 38Х2МЮА відображають дані в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати дослідження сталі після борування

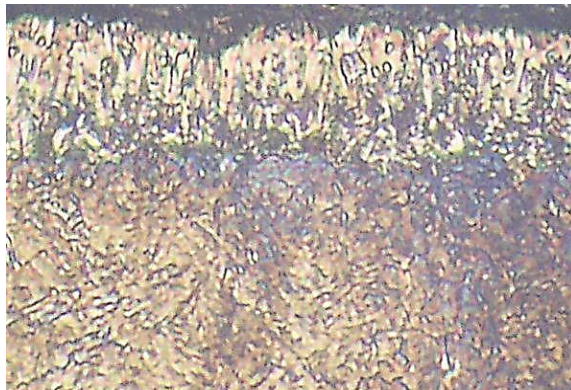
Марка сталі	Результати хіміко-термічної обробки		
	Твердість поверхні, ГПа	Твердість серцевини HRC ₃	Товщина слою, мкм
38Х2МЮА	22	55	30–120

При насиченні сталі 38Х2МЮА бором утворюються хімічні з'єднання бору із залізом FeB і Fe₂B. При утворенні борованого шару спочатку від поверхні углиб металу проростають окремі

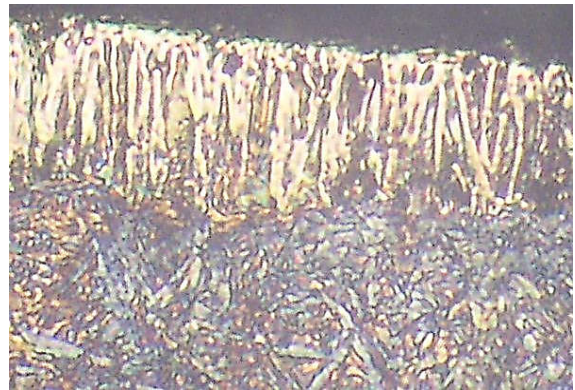
голкоподібні кристали бориду Fe₂B. Поступово ці кристали зливаються в суцільний шар. У міру подальшого насичення бором на поверхні утворюється ще один шар з бориду FeB.

На рис. 1 приведені мікроструктури борованої сталі 38Х2МЮА при різних температурах. У цій сталі яскраво виражена голчата структура боридів у вигляді клинів, спрямованих в сталь. При підвищенні температури ХТО від 800 до 1000 °С в сталі борований шар значно збільшується.

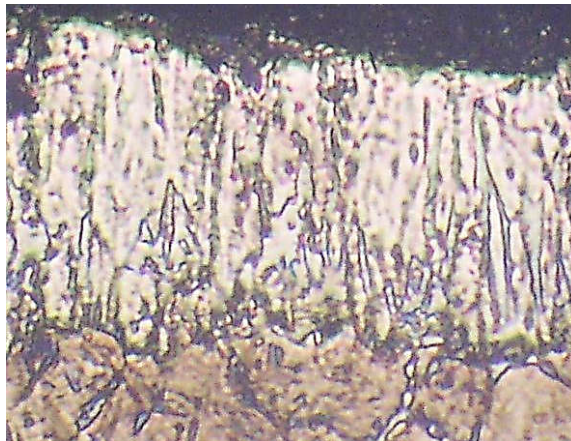
Дифузійний шар в борованих сталях складається із зони реактивної дифузії і примикаючої до її внутрішньої межі перехідної зони. Утворення перехідної зони обумовлено міграцією углиб вуглецю, що витісняється дифундуючим бором, звужуючим γ - область. Завдяки підвищеному вмісту вуглецю в цій зоні утворюється перлітна структура. Глибина такої зони у декілька разів перевищує глибину самого борованого шару.



а



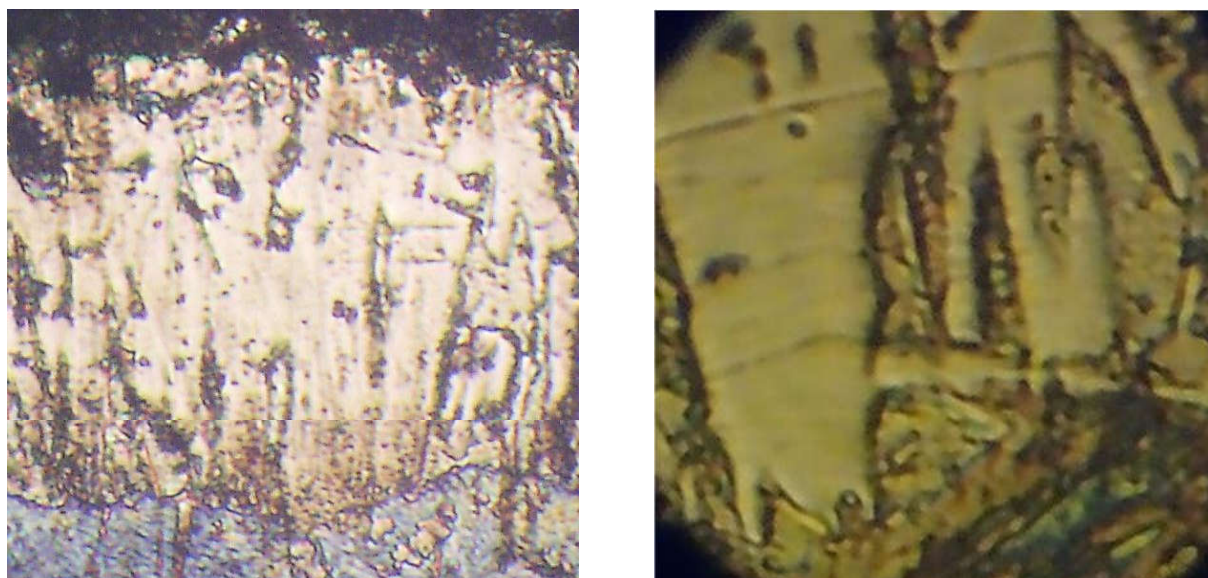
б



в



г



д е
Рис. 1 – Мікроструктури сталі 38X2МЮА після борування протягом 2 год при температурах: а–800 °С; б–850 °С; в–900 °С; г–950 °С; д–1000 °С при 200 крат та е–950 °С при 1600 крат

Склад і властивості перехідної зони зумовлюють міцність зв'язку борованого шару з основним металом, від чого залежить схильність борованого шару до сколювання. Від складу і властивості перехідної зони залежать утворення і розвиток втомних тріщин; продавлювання шару при високих контактних напруженнях та ін., що визначає працездатність борованих деталей.

За експериментальними даними отримано залежність товщини боридів від температури борування для сталі 38X2МЮА (рис. 2). Тривалість борування дорівнювала 120 хв, температура змінювалась від 800 до 1000 °С з шагом 50 °С. Товщина боридів з підвищенням температури збільшується по формулі отриманої апроксимацією експериментальних даних поліномом другого ступеню:

$$h = 2,5 \cdot t^2 + 2,5 \cdot t + 15, \quad (1)$$

де h – товщина боридів, мкм;

t – температура борування, °С.

Достовірність отриманої апроксимації (R^2) дорівнює одиниці. Це означає, що модель (1) адекватна у діапазоні 800–1000 °С.

Твердість поверхневого шару не залежить від температури борування та ступіня легування сталі (рис. 3). Це і зрозуміло, оскільки твердість самих боридів (FeB, Fe₂B), які є основними фазами боридних шарів від вмісту вуглецю і легувальних елементів майже не залежить. Мікротвердість підтверджує наявність двох боридів, а саме FeB з твердістю 22 ГПа і Fe₂B – 18 ГПа. Висока міцність бориду пояснюється

складним типом зв'язку в цих з'єднаннях. Наявність єдиного 2р-електрона на зовнішній орбіті атома бору не тільки збільшує міцність зв'язку між атомами бору і металу, але і зумовлює наявність ковалентного зв'язку між атомами бору. Атоми бору зв'язані між собою в ланцюжки FeB.

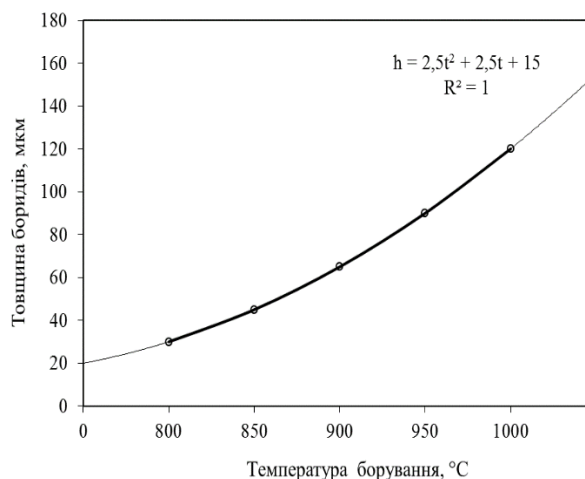


Рис. 2 – Залежність товщини боридів від температури борування сталі 38X2МЮА

Характер кривих (рис. 3) при температурах борування 800–900 °С однаковий, але товщина боридного шару збільшується від 30 до 65 мкм відповідно. При подальшому підвищенні температури обробки, характер кривих стає більш пологим в порівнянні з попередніми кривими, боридний шар збільшується до 120 мкм (при температурі борування

1000 °С). Усі криві мають дві горизонтальні ділянки, які відповідають боридам Fe₃B, твердість якого 22 ГПа та Fe₂B – 18 ГПа. Чим більша температура борування сталі 38Х2МЮА, тим більша товщина борованого шару. Поверхнева твердість при зміні температури процесу не змінюється.

Таким чином, для спрощення технологічного процесу пропонується поєднати борування з гартуванням для сталі 38Х2МЮА. Тобто оптимальним режимом борування для сталі 38Х2МЮА є температура 950 °С та тривалість 120 хв. При такій температурі формується достатній шар боридів (90 мкм) та у перехідній зоні немає окремих боридів по границях зерен, як при температурі 1000 °С, які можуть зіграти негативну роль при експлуатації виробу та призвести до крихкого руйнування по границям зерен.

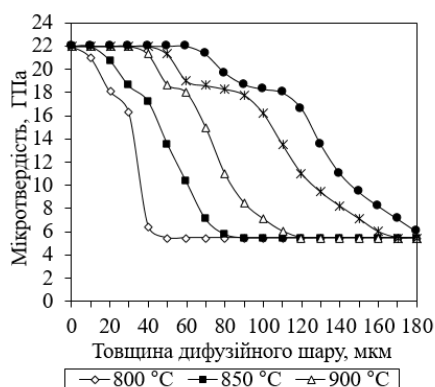
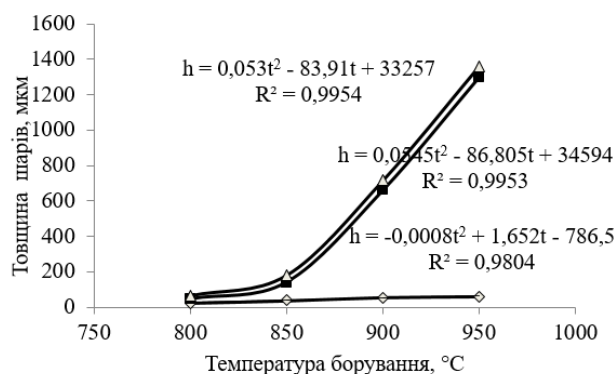


Рис. 3 – Розподіл мікротвердості в дифузійних шарах сталі 38Х2МЮА після борування

Після комплексного насичення поверхні сталі атомарними вуглецем при цементації та атомарним бором при боруванні отримано залежність глибини дифузійного шару від температури при різних ХТО за режимами (рис. 4), які приведені в табл. 3.

Висока мікротвердість борованого шару не поступається мікротвердості загартованої середньовуглецевої сталі. Це дозволяє застосовувати борування для підвищення зносостійкості виробів. При підвищенні температури ХТО характер кривих стає більш пологим в порівнянні з попередніми кривими (рис. 5). Товщина борованого шару досягає 1360 мкм. Також з підвищенням температури комплексної ХТО зона боридів і перехідна зона з карбідами та карбоборидами значно збільшується. Така зміна мікроструктури показана на рис. 6. Як видно, оптимальним режимом ХТО (борування після цементації) являється температура 950 °С, при якій забезпечуються висока поверхнева твердість, зносостійкість, корозійна стійкість з великою перехідною зоною, яка приводить до уникнення крихкого руйнування поверхневого шару.



1 – боридний шар, 2 – карбідний шар, 4 – загальний дифузійний шар

Рис. 4 – Залежність глибини дифузійного шару від температури при різних режимах комплексної ХТО

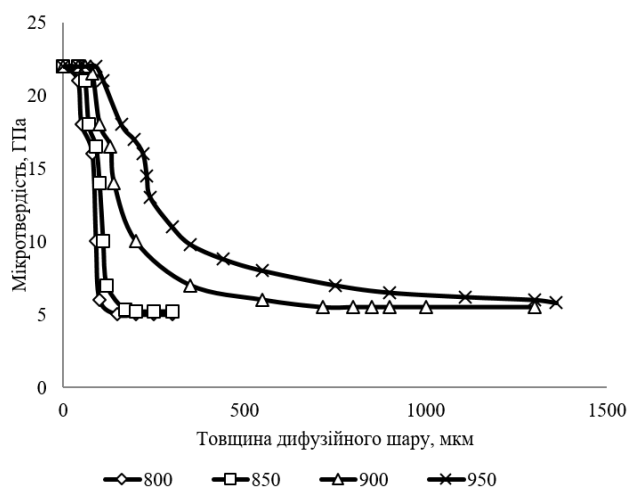


Рис. 5 – Розподіл мікротвердості залежно від температури після комплексної ХТО

Для проведення поверхневого насичення сталі необхідно створити напрямлений дифузійний потік атомів насичуючих елементів з поверхні в глибину зразка, що можливе за одночасним протіканням трьох процесів: утворення вільних атомів насичуючого елементу на поверхні зразка, адсорбції атомів насичуючого елементу, дифузії адсорбованого елементу в глибину зразка.

Висока зносостійкість боридних шарів проявляється в умовах рідинного граничного тертя та тертя без змащуючого матеріалу при коченні, ковзанні та при абразивному зношуванні. Зносостійкість боридних шарів знаходиться практично на одному рівні зі зносостійкістю карбідних шарів та твердих сплавів. Проте боридні шари перевершують по товщині карбідні шари та можуть бути отримані на будь-яких металічних матеріалах, тому їх використання більш ефективне. У відношенні до твердих сплавів борвані сталі інструменти значно економічніші, а за рахунок основи ці інструменти

проявляють працездатність при ударних навантаженнях [17].

Коефіцієнт дифузії бору в загальному вигляді можна записати:

$$D_B = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (2)$$

де R – газова стала, Дж/моль·К;

D_0 – коефіцієнт дифузії при нескінченно великій температурі, $\text{см}^2/\text{с}$;

Q – енергія, яку необхідно затратити в процесі дифузії з одного положення рівноваги в кристалічній ґратці в інше, кал/г·атом.

Температурна залежність коефіцієнту дифузії в γ -залізі описується наступним виразом:

$$D_B^Y = (5,7 \pm 1,8) \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{23 \pm 4}{RT}\right), \text{см}^2/\text{с} \quad (3)$$

Глибина дифузійного шару бору розраховується по формулі:

$$x = \sqrt{2D_B\tau}; \quad (4)$$

Звідси випливає, що:

$$x^2 = 2D_B\tau; \quad (5)$$

Тоді, коефіцієнт дифузії бору розраховується по формулі:

$$D_B = \frac{x^2}{2\tau}; \quad (6)$$

$$\tau = 2 \text{ год} = 2 \cdot 3600 = 7200 \text{ с};$$

$$D_B^{800} = 0,04 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}; \quad D_B^{850} = 0,095 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с};$$

$$D_B^{900} = 0,2 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}; \quad D_B^{950} = 0,25 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с};$$

З отриманих даних видно, що зі збільшенням температури насичення, коефіцієнт дифузії зростає (рис. 6).

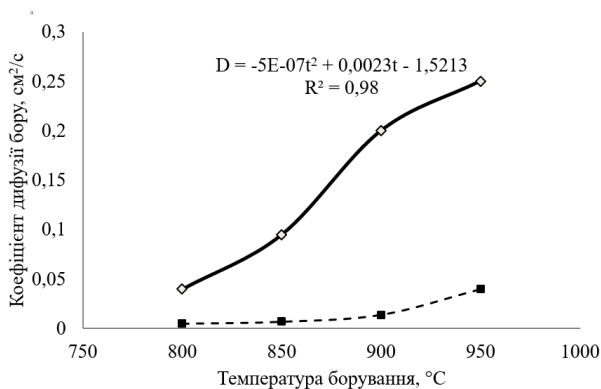


Рис. 6 – Залежність коефіцієнта дифузії бору сталі 38Х2МЮА від температури після кожної ХТО

Висновки

1. Поверхнєве двошарове зміцнення сталі 38Х2МЮА при послідовну насиченні атомарним вуглецем (при цементації) та атомарним бором (при пічному боруванні) при різних температурах, дозволило сформувати боридний шар з перехідною зоною.

2. Отримана перехідна зона дозволяє підвищити експлуатаційні властивості деталей машин та інструменту за рахунок зменшення мікротріщинності дифузійного шару.

3. Обрано оптимальний режим комплексної ХТО, який включає цементацію при 950 °С протягом 2 годин, борування при 950 °С протягом 2 годин для отримання найбільшої поверхневої твердості 22 ГПа з максимальним загальним дифузійним шаром 1,4 мм.

4. Отримано математичні моделі формування дифузійних шарів та зміну коефіцієнту дифузії бору після комплексного насичення атомарним вуглецем та бором, які дозволяють прогнозувати необхідні властивості поверхневих шарів легованої сталі від температури ХТО.

Список літератури

1. Czerwinski, F. Thermochemical Treatment of Metals / F. Czerwinski // *Heat Treatment – Conventional and Novel Applications*. – 2012. – P. 73–112. – doi: 10.5772/51566.
2. Kulka, M. Microstructure and properties of borocarbided and laser-modified 17CrNi6–6 steel / M. Kulka, N. Makuch, A. Pertek, A. Piasecki // *Optics and Laser Technology*. – 2012. – Vol. 44, Issue 4. – P. 872–881. – doi: 10.1016/j.optlastec.2011.11.016.
3. Aghaie-Khafri, M. A study of chromo-boronizing on DIN 1.2714 steel by duplex surface treatment / M. Aghaie-Khafri, M. Mohamadpour // *Journal of Metals*. – 2012. – Vol. 64, Issue 6. – P. 694–701. – doi: 10.1007/s11837-012-0337-x.
4. Kartal, G. Investigating the morphology and corrosion behavior of electrochemically borided steel / G. Kartal, O. Kahvecioglu, S. Timur // *Surface and Coating Technologies*. – 2006. – Vol. 200, Issue 11. – P. 3590–3593. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.02.210.
5. Веропаха, Н. В. Влияние жидкостного борирования на износо- и коррозионную стойкость длинномерных изделий / Н. В. Веропаха, Д. Н. Веропаха, А. В. Скориков и др. // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. Спец. вып.: Актуальные проблемы машиностроения*. – 2006. – С. 20–21.
6. Алиев, А. А. Диффузионное борирование стали и шероховатость поверхности / А. А. Алиев, В. П. Булгаков, Б. С. Приходько // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2005. – № 2. – С. 91–94.
7. Stergioudis, G. Formation of boride layers on steel substrates / G. Stergioudis // *Crystal Research and Technology*. – 2006. – Vol. 41, Issue 10. – P. 1002–1004. – doi: 10.1002/crat.200610711.
8. Saduman, S. An approach to kinetic study of borided steels / S. Saduman, S. Ugur, B. Cuma // *Surface and Coating*

- Technologies*. – 2005. – Vol. 191, Issue 2–3. – P. 274–285. – doi: 10.1016/j.surfcoat.2004.03.040.
9. А. с. 1216249 СССР, МПК7 С 23 С 8/70. Состав обмазки для борирования стальных изделий / **Шашина Л. Т., Махаров Д. М.** (СССР). – № 3793701/22–02; заявл. 24.09.84; опубл. 07.03.86, Бюл. № 9.
 10. **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.
 11. **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.
 12. А. с. 1712462 СССР, МПК7 С 23 С 8/70. Порошкообразный состав для борирования стальных изделий / **Г. И. Янцен, В. И. Астащенко, Е. И. Сергеева** (СССР). – № 4792103/02; заявл. 13.02.90; опубл. 15.02.92, Бюл. № 6.
 13. Патент України №33654, Склад для борування сталевих виробів. МПК8 С 23 С 8/00 / **О. О. Павлюченко, В. О. Костик, К. О. Костик** – № u200800226; заявл. 04.01.08; опубл. 10.07.08, Бюл. № 13.
 14. **Костик, К. О.** Зміцнення прес–форм лиття під тиском по нанотехнології / **К. О. Костик** // *Машинобудування*. – 2013. – № 12. – С. 113–118.
 15. **Хартман, К.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / **К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер**. – М.: Мир. – 1977. – 552 с.
 16. **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. – Vol. 44, Issue 7. – P. 34–48. – doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
 17. **Костик, К. О.** Development of the high-speed boriding technology of alloy steel // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. – Т. 6. – №. 11 (78). – С. 8–15. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015.
 18. **Костик, К. О.** Моделирование глубины боридного шару сталі 4Х5МФС при зміні тривалості борування по нанотехнології / **К. О. Костик, В. О. Костик** // *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"* : зб. наук. пр. Темат. вип. : *Механіко-технологічні системи та комплекси*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 40 (1083). – С. 145–149.
 5. **Veropaha, N. V., Veropaha, D. N., Skorikov, A. V.** et. al. Vliyanie zhidkostnogo borirovaniya na iznos– i korrozionnuju stojkost' dlinnomernyh izdelij [Influence of liquid boriding on the wear and corrosion resistance of long products]. *Izvestija vuzov. Severo–Kavkazskij region. Serija: Tehnicheskie nauki, Spec. vyp.: Aktual'nye problemy mashinostroenija [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Series: Engineering. Recent engineering problems]*, 2006, 20–21.
 6. **Aliev, A. A., Bulgakov, V. P., Prihod'ko, B. S.** Diffuzionnoe borirovanie stali i sherohovatost' poverhnosti [Diffusion boriding of steel and surface roughness]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta [Journal of Astrakhan State Technical University]*, 2005, 2, 91–94.
 7. **Stergioudis, G.** Formation of boride layers on steel substrates. *Crystal Research and Technology*, 2006, 41 (10), 1002–1004, doi: 10.1002/crat.200610711.
 8. **Saduman, S., Ugur, S., Cuma, B.** An approach to kinetic study of borided steels. *Surface and Coating Technologies*, 2005, 191 (2–3), 274–285, doi: 10.1016/j.surfcoat.2004.03.040.
 9. **Shashina, L. T., Maharov, D. M.** (1986). Certificate of authorship 1216249 SSSR, MPK7 С 23 С 8/70. Sostav obmazki dlja borirovaniya stal'nyh izdelij [Composition of pack boriding for steel products] (SSSR). 3793701/22–02; declared 24.09.84, № 9.
 10. **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, 2(5 (80)), 69–73, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65455.
 11. **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, 2(5 (80)), 45–49, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65454.
 12. **Jancen, G. I., Astashhenko, V. I., Sergeeva, E. I.** (1992). Certificate of authorship 1712462 SSSR, MPK7 С 23 С 8/70. Poroshkoobraznyj sostav dlja borirovaniya stal'nyh izdelij [The powdered composition boriding of steel products] (SSSR). 4792103/02; declared 13.02.90, № 6.
 13. **Pavluchenko, O. O., Kostik, V. O., Kostik, K. O.** (2008). Sklad dlja boruvannja stalevyh vyrobiv [Composition for Boriding steel products]. Patent of Ukraine №33654, MPK8 С 23 С 8/00. № u200800226; declared 04.01.08; published 10.07.08, № 13.
 14. **Kostyk, K. O.** Zmicnennja pres–form lyttja pid tyskom po nanotehnologii' [Strengthening of molds for injection molding nanotechnology]. *Mashynobuduvannja*, 2013, 12, 113–118.
 15. **Hartman, K., Leckij, Je., Shefer, V.** Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov [Experimental Design in the research of technological processes]. Moscow: Mir, 1977, 552 p.
 16. **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 (7), 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
 17. **Kostyk, K. O.** Development of the high-speed boriding technology of alloy steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 6(11 (78)), 8–15, doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015.
 18. **Kostyk, K. O., Kostyk, V. O.** Modelyuvannya glibini boridnogo sharu stali 4Kh5MFS pri zmini trivalosti

Bibliography (transliterated)

1. **Czerwinski, F.** Thermochemical Treatment of Metals. *Heat Treatment – Conventional and Novel Applications*, 2012, 73–112, doi: 10.5772/51566.
2. **Kulka, M., Makuch, N., Pertek, A., Piasecki, A.** Microstructure and properties of borocarbured and laser-modified 17CrNi6–6 steel. *Optics and Laser Technology*, 2012, 44 (4), 872–881, doi: 10.1016/j.optlastec.2011.11.016.
3. **Aghaie–Khafri, M. Mohamadpour, M.** A study of chromo–boronizing on DIN 1.2714 steel by duplex surface treatment. *Journal of Metals*, 2012, 64 (6), 694–701, doi: 10.1007/s11837–012–0337–x.
4. **Kartal, G., Kahvecioglu, O., Timur, S.** Investigating the morphology and corrosion behavior of electrochemically borided steel. *Surface and Coating Technologies*, 2006, 200 (11), 3590–3593, doi: 10.1016/j.surfcoat.2005.02.210.

boruvannya po nanotekhnologii [Simulation depth borydnoho layer steel 4H5MFS by changing the length Boring on nanotechnology]. *Visnik Nats. tekhn. un-tu "KhPI"*: zb. nauk. pr. Temat. vip.: Mekhaniko-tehnologichni

sistemi ta kompleksi. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014, **40** (1083), 145-149.

Відомості про авторів (About authors)

Костик Катерина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра ливарного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна, e-mail: eklitus@gmail.com.

Kateryna Kostyk – Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: eklitus@gmail.com.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Костик, К. О. Поверхневе двошарове зміцнення сталі при послідовному насиченні вуглецем та бором в порошкових макро- та нанодисперсних середовищах / **К. О. Костик** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 54-63. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.09.

Please cite this article as:

Kostyk, K. Double-layered surface hardening of steel in successive saturation of carbon and boron in powdered macro and nanoscale environments. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 54–63, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.09.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Костик, Е. А. Поверхностное двухслойное упрочнения стали при последовательном насыщении углеродом и бором в порошковых макро - и нанодисперсных средах / **Е. А. Костик** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 54-63. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.09.

АННОТАЦИЯ Целью работы является укрепление поверхностных слоев сталей методами КТО в порошковых макро - и нанодисперсных средах. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: разработать методы КТО в новых порошковых средах; установить оптимальные режимы; рассчитать эффективные коэффициенты диффузии насыщающих элементов в сталях. В работе использованы оптическая и электронная микроскопия, измерение микротвердости, обработка результатов статистическими методами. Поверхностное двухслойное упрочнения стали 38Х2МЮА при последовательном насыщении атомарным углеродом (при цементации) и атомарным бором (при печном борировании) при различных температурах, позволило сформировать боридный слой с переходной зоной. Полученная переходная зона позволяет повысить эксплуатационные свойства деталей машин и инструмента за счет уменьшения микрохрупкости диффузионного слоя. Выбран оптимальный режим комплексной КТО, который включает цементацию при 950 °С в течение 2 часов, борования при 950 °С в течение 2 часов для получения наибольшей поверхностной твердости 22 ГПа с максимальным общим диффузионным слоем 1,4 мм. Получены математические модели формирования диффузионных слоев и изменение коэффициента диффузии бора после комплексного насыщения атомарным углеродом и бором, которые позволяют прогнозировать необходимые свойства поверхностных слоев легированной стали от температуры.

Ключевые слова: химико-термическая обработка; легированная сталь; глубина диффузионного слоя; микротвердость поверхности, диффузия

Поступила (received) 09.11.2016

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.10

ПАРАМЕТРИЗОВАНЕ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НДС ЛОПАТОК РОБОЧИХ КОЛІС ПАРОВИХ ТУРБІН

О. О. ЛАРИН

Кафедра динаміки та міцності машин, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут»,
Харків, УКРАЇНА
email: AlexeyA.Larin@gmail.com

АНОТАЦІЯ В статті представлено методику побудови розрахункових скінченно-елементних моделей лопаток парових турбін. Представлено параметризований опис структури робочої лопатки, виділено зв'язки між її геометричними параметрами. Запропоновано алгоритми автоматизованої побудови геометричних тривимірних моделей, що дозволяє автоматизовано наносити розрахункову сітку, накладати граничні умови та навантаження. В якості прикладу розглянуто побудову моделі робочої лопатки третьої ступеня циліндру низького тиску парової турбіни. Проведено аналіз статичного напружено-деформованого стану (НДС) даного лопаткового апарату в циклічно-симетричній постановці. Досліджено закономірності впливу наявності технологічних зазорів в бандажному з'єднанні на НДС лопатки в полі відцентрових сил.

Ключові слова: НДС; робочі лопатки парових турбін; МСЕ; автоматизоване проектування

PARAMETRIC FINITE ELEMENT MODELLING OF DEFORMED STATE OF STEAM TURBINE BLADE ASSEMBLIES

O. O. LARIN

Dynamics and strength of machines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute",
Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The paper presents a methodology for construction of computational finite element models of steam turbines blade assemblies. A parameterized description of the driven wheel blade structure is presented. The set of geometric parameters and the system of association between them is defined. The algorithms of the automated construction of geometric three-dimensional models is developed, which allows you to apply automated computational mesh, boundary conditions and load. As an example the construction of a model of the rotor blade of the third stage of the low pressure steam turbine cylinder is made. The analysis of static deformed state of the blade have been carried out in the cyclic symmetry formulation. The influence of the technological gap in the inter-blade shroud connection on the de-formed state of the blade under centrifugal forces has been analyzed.

Keywords: deformed state; blades of steam turbines; FEM; computer-aided design.

Вступ

Надійність та незалежність енергетики будь-якої країни є основою її економічної та промислової стабільності, а отже запорукою її самостійності. Важливою проблемою цієї галузі промисловості України є розробка нових турбомашин, більш економічних та ефективних, а також модернізація існуючих задля збільшення терміну експлуатації. Ця проблема в значному ступені потребує якісного проектування конструкцій та аналізу її міцності.

Робочі лопатки представляють собою найбільш відповідальні конструктивні елементи парової турбіни, завдяки якій відбувається передача кінетичної енергії руху пару до механічної роботи обертання ротору турбіни. Розробці конструкцій лопаток приділяється особлива увага, як з погляду експлуатаційної надійності, економічності, так і забезпечення високої технологічності їх виробництва. При цьому слід відзначити, що лопаткові апарати робочих коліс є одними з най-більш навантажених

елементів, що знаходяться в умовах суттєвих експлуатаційних перевантажень.

Зазначені обставини призводять до особливої уваги до проектування лопаток турбомашин, як з точки зору досягнення найбільшої корисної дії, так із позиції оцінки їх міцності і надійності, а також розробці відповідних конструкційних заходів щодо підвищення цих показників. Питання проектування конструкції, аналізу статичної та динамічної міцності, оцінки рівня вібрацій, а також прогнозування надійності та ресурсу експлуатації лопаткових апаратів турбомашин широко досліджено в сучасних наукових роботах [1-6].

Незважаючи на велику різноманітність типів та конструктивних особливостей сучасних лопаток робочих коліс турбомашин всі вони мають спільні ознаки, що дозволяють провести певну уніфікацію та за-пропонувати систему автоматизованої побудови їх моделей. Така система дозволяє полегшити роботу інженерів, що супроводжується з необхідністю побудови великої кількості моделей при проведенні робіт з модернізації лопаткових апаратів або при

пошуку більш раціональних конструктивних рішень для нових перспективних лопаток.

Крім цього слід відзначити, що в реальних конструкціях завжди існують відхилення геометрії від проектних креслень. Недосконалості технологічних операцій по монтажу лопаток на диску здатні призвести до суттєвої зміни у поведінці лопаткового апарату та викликати неприпустимо великі рівні концентрації напружено деформованого стану (НДС).

Отже при чисельному дослідженні важливо мати технічні засоби для можливості варіювання геометричними параметрами конструкції. Таким чином, розробка параметричних математичних моделей робочої лопатки та лопаткового апарату, які б дозволяли моделювати лопатки різних типів, а також технологічні особливості між-лопаткових з'єднань є актуальною та важливою задачею.

Розробка параметричних скінченно-елементних моделей лопаток парових турбін

Однією з найбільш складних задач автоматизованого проектування інженерних об'єктів є створення параметризованих геометричних моделей, які представляють собою структурну основу для подальших алгоритмічних дій спрямованих на

конкретну реалізацію системи САПР. Одним із найбільш відповідальних етапів в рамках процедури параметризації є проведення декомпозиції складного об'єкта чи системи на прості структурні елементи та визначення параметрів кожного з них, а також зв'язків між ними. Для проведення параметризації в роботі була використана мова уніфікованого моделювання UML (Unified modelling language), яка широко використовується при побудові систем автоматичного проектування та в технології програмування. На рис. 1 наведено діаграму класів, що представляє декомпозицію параметричної моделі лопатки на структурні одиниці: перо, бандаж, замкове з'єднання. Наведені параметри кожного із цих об'єктів, а також їх декомпозицію на простіші елементи (деякі з яких є абстрактними і використовуються лише підчас моделювання). Таке представлення дає можливість розділити параметри, які належать до різ-них структурних елементів, провівши таким чином локалізацію змінних у системі, що є важливим із алгоритмічної точки зору. Таким чином, для побудови параметричної моделі потрібно побудувати моделі окремих структурних елементів, а потім провести процедуру їх об'єднання.

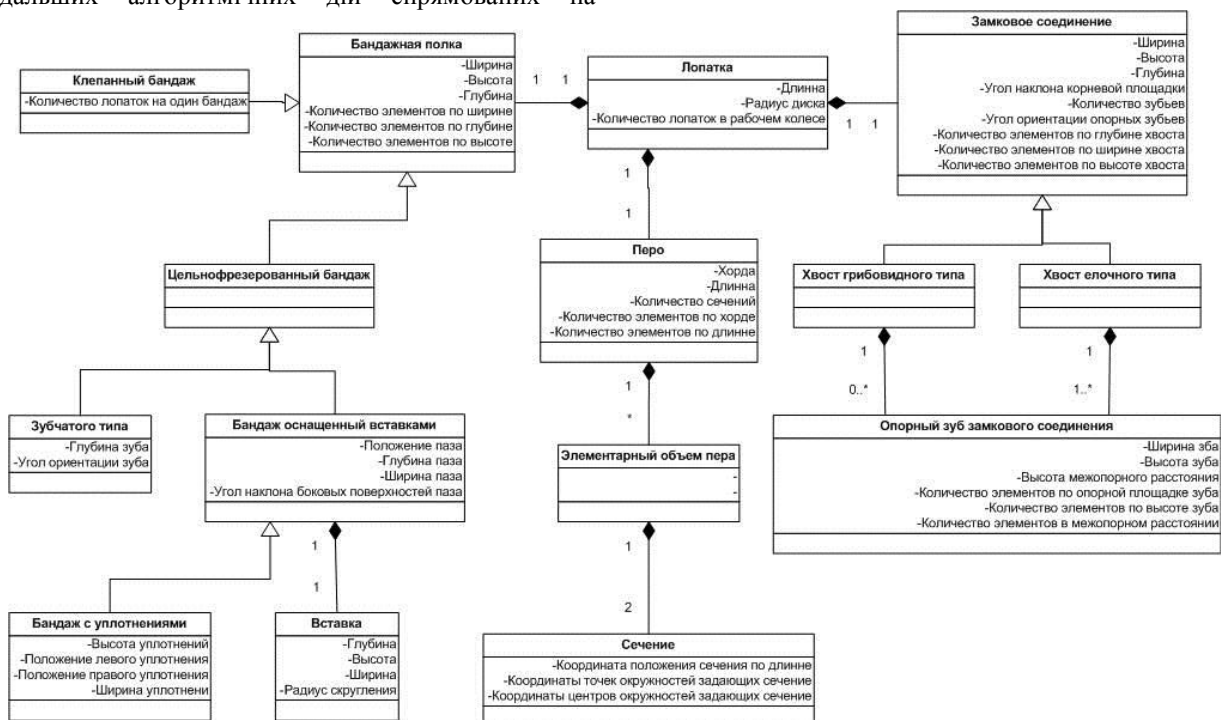


Рис. 1 – Структурна параметрична модель лопатки робочого колеса парової турбіни, що представлена в вигляді діаграми класів UML

Окремих питанням є нанесення СЕ сітки на побудовану геометричну модель. Існує дві основні проблеми у алгоритмізації цієї процедури а) необхідність об'єднання окремо побудованих геометричних об'єктів у одне тіло (таке що має спільні поверхні); б) автоматизація нанесення СЕ сітки на тіло, що має не опуклу форму.

Перша проблема вирішується використанням логічних операцій над геометричними примітивами, в загальному випадку ці операції не завжди можна виконати, але якщо підчас окремого моделювання структурних одиниць виділити та підготувати локальні області, то ця процедура для відносно невеликих змін у параметрах моделі буде стійкою.

Друга проблема нівелюється у тому сенсі, що складний об'єкт під час наведеної схеми моделювання апріорі розділений на прості для нанесення сітки структурні одиниці. Таким чином, виникає критерій для закінчення процедури декомпозиції – *структурна одиниця не потребує подальшого ділення у випадку, якщо на її геометричну модель може бути нанесено автоматичним чином SE сітку*.

Але незважаючи на це залишається проблема об'єднання SE сіток окремих структурних одиниць у загальну SE модель, вирішення якої може бути знайдено шляхом нанесення трикутної (тетраедричної) SE сітки на локальні області, що використовувались під час логічного об'єднання геометричних моделей. На рис. 2 наведено алгоритм побудови SE сітки.

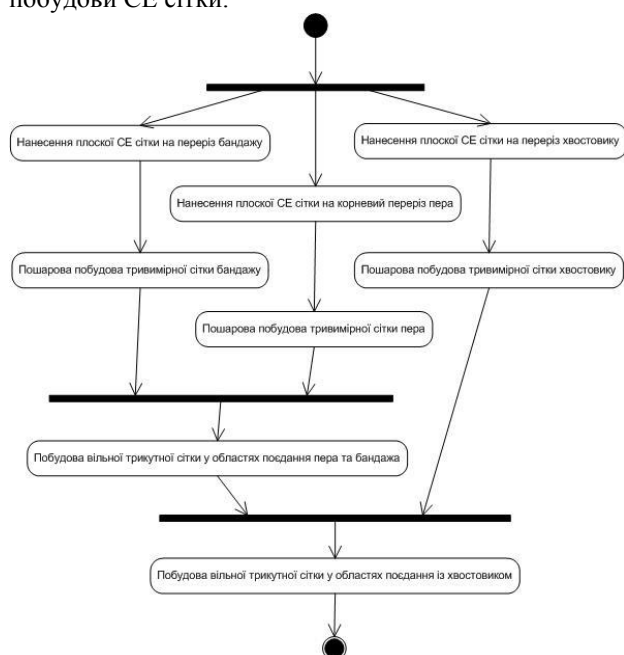


Рис. – Алгоритми нанесення параметричної SE сітки на параметричну геометричну модель лопатки (діаграма діяльності UML)

Приведена методологія дає можливість будувати тривимірні параметричні SE моделі, причому їх параметризація є не лише за геометричними розмірами конструктивних елементів, але і структурна, тобто така, що дає можливість варіювання кількістю деяких структурних одиниць або типом самих зв'язків

Побудова моделі лопатки третього ступеня циліндру низького тиску парової турбіни

В якості прикладу застосування запропонованого підходу до параметричного моделювання лопаток парових турбін в роботі досліджено лопатковий апарат третього ступеня циліндру низького тиску парової турбіни К310-23.5 виробництва ВАТ «Турбоатом» (м. Харків, Україна).

Робоча лопатка цього ступеня має змінний профіль перерізу по висоті (попередньо закручено pero), а також два між-лопаткових з'єднання:

а) цільнофрезеровану бандажну полицю, що складається з двох роз'ємних елементів: бандажної полиці, що має паз з трапецеїдальним перерізом та вставки;

б) хвостовик, який має грибоподібну форму з трьома опорними зуб'ями.

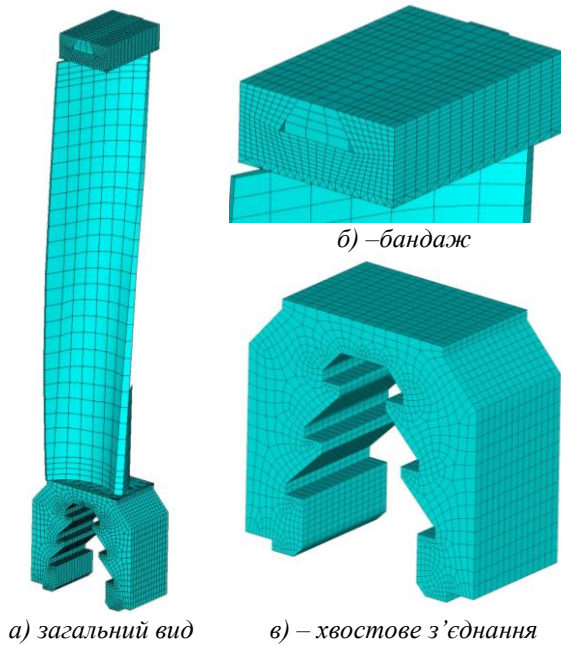
При моделюванні лопаток цього ступеня особлива увага приділяється конструктивним та технологічним особливостям між-лопаткового зв'язку. Лопатки, встановлені на диск, підганяються друг до друга по торцевим поверхням бандажної полиці (Рис. 3, а). Далі у замкнутому на коло бандажному кільцю фрезерується паз трапецеїдальної форми в який встановлюються штифти (Рис. 3, б). Після чого це з'єднання «закатують» шляхом пластичного деформування верхнього краю сторін пазу бандажа.



Рис. 3 – Фотографії етапів зборки лопаток

Ця технологія визначає певні особливості у моделюванні бандажного з'єднання. По-перше, між сусідніми бандажними полицями існує конструктивний зазор, який збільшується під час витягування пера лопатки в полі відцентрових сил (збільшення радіуса призведе до збільшення довжини кола бандажного кільця). Таким чином, з'єднання сусідніх лопаток відбувається виключно через вставки бандажної полиці. По-друге, дія поля відцентрових сил призведе до складної нерівномірної деформації лопатки (неоднорідність витягування пера через масову різницю вхідної та вихідної кромки та часткове розкручення пера лопатки), а отже, як наслідок, неоднорідної контактної взаємодії між бандажною полицею та вставкою, яка працює у протидію зазначеним деформаціям. Ці обставини спонукають до висновку про суттєву напруженість вставки, а також залежність жорсткості між-лопаткового з'єднання від внутрішньої взаємодії вставки та бандажної полиці. Таким чином, модель бандажного зв'язку має складатись з двох окремих тіл: бандажної полиці та вставки

Для проведення варіативних досліджень НДС лопаткового апарату робочого колеса було розроблено параметричну SE модель (рис. 4).



а) загальний вид б) – бандаж
в) – хвостове з'єднання
Рис. 4 – Скінченно-елементна модель лопатки робочого колеса третього ступеня

Дослідження статичних характеристик лопаткових апаратів із роз'ємними з'єднаннями

В роботі представлені результати розрахунків НДС лопаткового апарату третього ступеня ЦНТ парової турбіни, що знаходиться під дією відцентрових сил. За результатами розрахунку переміщення полки, викликані витягуванням пера лопатки під дією відцентрового навантаження, привели до появи додаткових конструктивних зазорів і взаємної деформації полиці зі вставкою (Рис. 5). Переміщення бандажної полиці й пера лопатки асиметричні щодо радіальної осі в наслідок масової асиметрії пера та великого кута попередньої закрутки лопатки. Так наявність більшої маси з боку вхідної кромки й більшої твердості її «закріплення» у «спинці» пера лопатки забезпечує більше переміщення цієї частини бандажної полиці на десяту частину міліметра.

Поле інтенсивності напружень у лопатковий апарат представлено на рис. 5. Найбільші значення еквівалентних напружень локалізовані в прикореневій області та у зонах зчленування опорних зубів замкового з'єднання. Складна деформація бандажної полиці приводить до концентрації напружень у зонах з малими відносними переміщеннями та в областях кутів конструктивного пазу (рис. 5, б). Подібна ситуація викликана просторовою деформацією вставки, що випробовує складний просторовий вигин. Вона здійснює деформацію згину в радіальному напрямку викликану меншою твердістю її закріплення в області торцевих поверхонь сусідніх бандажних полиць (очевидно що в полі відцентрових сил сусідні лопатки розходяться й поширюють міжбандажний зазор).

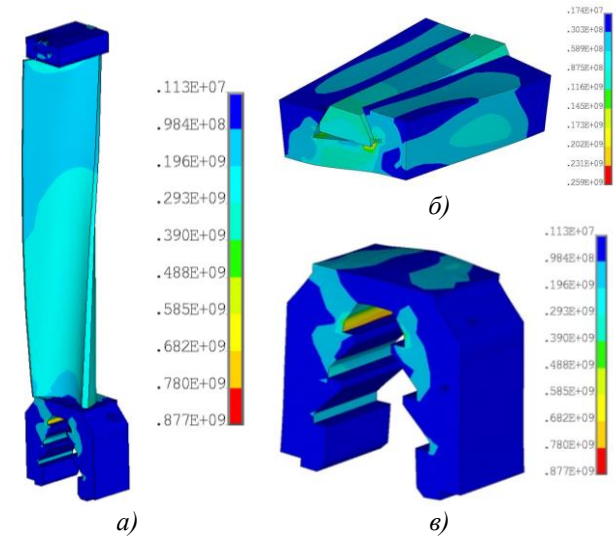
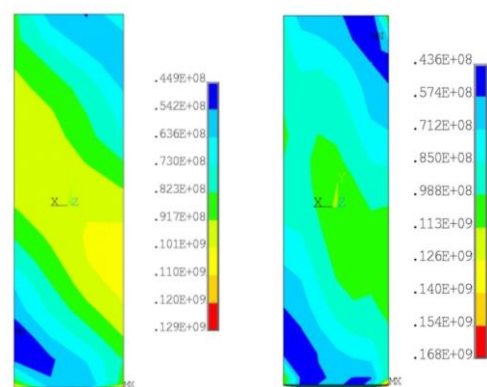


Рис. 5 – Напружений стан циклічно симетричного лопаткового апарату в полі відцентрових сил

Технологічні операції по замиканню лопаток на коло по бандажній полиці мають особливість, яка полягає у принциповій неможливості виконати з'єднання таким чином, щоб сусідні бандажні полиці щільно прилягали одна до одної (через велику кількість лопаток, суттєвий радіус колеса, значну товщину бандажної полиці).

Отже монтажні операції призводять до появи між-бандажних зазорів (статистичні данні по їх замірам щупом вказують, що розміри зазорів коливаються у межах від 0 до 1 мм. Існування цих зазорів змінює жорсткість бандажного кільця. Порівняльні результати відповідних розрахунків (рис. 6) вказують на суттєве збільшення еквівалентних напружень (майже 25%) та локалізацію концентраторів.



а) - без зазору б) - зазор 1 мм
Рис. 6 – Напружений стан вставки

Аналіз результатів розрахунків показує, що при відсутності зазору, вставка має не симетричний просторовий згин, а з ростом зазору спостерігається перерозподіл деформацій у напрямку збільшення кручення вставки з суттєвою локалізацією напружень по її торцевим краям.

Висновки

В даній роботі розроблено методологію побудови параметричної СЕ моделі лопаток турбомашин з цільнофрезерованим бандажем, яка дозволяє отримувати СЕ моделі різних модифікацій зазначеного лопаткового апарату. Розглянуто статичний НДС системи та вплив технологічних міжбандажних зазорів на концентрацію напружень.

Список літератури

1. **Муравченко, Ф. М.** Актуальные проблемы динамики прочности и надежности авиадвигателей / **Муравченко Ф. М.** // *Вібрації в техніці та технологіях*. – 2004. – № 6 (38). – С. 2-4.
2. **Kaneko, Y.** Development and verification of 3000RPM 48inch integral shroud blade for steam turbine / **Y. Kaneko, K. Mori, H. Ohyama** // *JSME international journal, Seria B*, 2006. – No 49(2). – P. 205–211. – doi: 10.1299/jsmeb.49.205
3. **Zhovdak, V. A.** Statistical dynamics of turbomachine rotor wheels with a technological mistuning / **Zhovdak V.A., Larin A.A., Kabanov A.F.** // *Strength of Material*. – 2008. – No 40. – 577 p. – doi: 10.1007/s11223-008-9075-2.
4. **Pisarenko, G. S.** Issues of Simulation of Turbomachine Blade Vibration / **Pisarenko G. S., Vorob'ev Y. S.** // *Strength of Materials*. – 2000. – No 32. – 487 p. – doi:10.1023/A:1005214501423.
5. **Savchenko, K. V.** Influence of the Orientation of Shroud Contact Surfaces on the Static Stress State of Turbine Rotor Blades / **K. V. Savchenko, A. P. Zinkovskii, I. G. Tokar'** et al. // *Strength of Materials*. – 2014. – No 46. – 493 p. – doi:10.1007/s11223-014-9574-2.

6. **Зиньковский, А. П.** Влияние монтажного натяга на напряженно-деформированное состояние турбинной лопатки и потерю натяга по полкам в процессе эксплуатации / **Р. П. Придорожный, А. В. Шереметьев, А. П. Зиньковский** // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 8 (34). – С. 95–99

Bibliography (transliterated)

1. **Muravchenko, F. M.** Actual problems of dynamics, strength and reliability of engines. *Vibracii v tekhnike i tehnologiyah*, 2004, **6** (38), 2-4.
2. **Kaneko, Y., Mori, K., Ohyama, H.** Development and verification of 3000RPM 48inch integral shroud blade for steam turbine. *JSME international journal, Seria B*, 2006, **49**(2), 205–211. doi: 10.1299/jsmeb.49.205.
3. **Zhovdak, V. A., Larin, A. A., Kabanov, A. F.** Statistical dynamics of turbomachine rotor wheels with a technological mistuning. *Strength of Material*, 2008, **40**, 577 p., doi:10.1007/s11223-008-9075-2.
4. **Pisarenko, G. S., Vorob'ev, Y. S.** Issues of Simulation of Turbomachine Blade Vibration. *Strength of Materials*, 2000, **32**, 487p., doi:10.1023/A:1005214501423.
5. **Savchenko, K. V., Zinkovskii, A. P., Tokar', I. G.** et al. Influence of the Orientation of Shroud Contact Surfaces on the Static Stress State of Turbine Rotor Blades. *Strength of Materials*, 2014, **46**, 493p., doi:10.1007/s11223-014-9574-2.
6. **Zinkovskii A. P., Sheremetiev, A. V., Zinkovskii, A. P.** Influence of the technological penetration on the deformed state of turbine blade and loss of contact on the shroud in operation. *Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tehnologiya*, 2006, **8** (34), 95–99.

Відомості об авторах (About authors)

Ларін Олексій Олександрович – доц., к.т.н. доцент. кафедри динаміки та міцності машин, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Oleksiy Larin – Docent, Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ларін, О. О. Параметризоване скінченно-елементне моделювання НДС лопаток робочих коліс парових турбін / **О. О. Ларін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 64-68. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.10.

Please cite this article as:

Larin, O. Parametric finite element modelling of deformed state of steam turbine blade assemblies. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 64-68, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.10.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ларин, А. А. Параметрическое конечно-элементное моделирование НДС лопаток рабочих колес паровых турбин / **А. А. Ларин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 64-68. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.10.

АННОТАЦІЯ В статті представлено методика побудови розрахункових скінченно-елементних моделей лопаток парових турбін. Представлено параметризоване описання структури робочої лопатки, виділені зв'язки між її геометричними параметрами. Предложено алгоритми автоматизованого побудови геометричних тривимірних моделей, які дозволяють автоматизовано наносити розрахункову сітку, накладувати граничні умови та навантаження. В якості прикладу розглянуто побудову моделі робочої лопатки третьої ступені циліндра низького тиску парової турбіни. Проведено аналіз статичного напружено-деформованого стану. Досліджено закономірності впливу наявності технологічних зазорів в бандажному з'єднанні на НДС лопатки в полі центробежних сил.

Ключевые слова: НДС; рабочие лопатки паровых турбин; МКЭ; автоматизированное проектирование.

Надійшла (received) 15.12.2016

УДК 621.311

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.11

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ РЕЗЕРВУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

П. Д. ЛЕЖНЮК, В. О. КОМАР, С. В. КРАВЧУК*

Кафедра електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА
*e-mail: w1_1992@mail.ru

АНОТАЦІЯ. В статті проаналізовано роботу сонячних електричних станцій з огляду на можливість забезпечення графіка споживання. Для цього використано математичну модель гаусових сумішей, що дозволяє отримати основні ймовірнісні характеристики процесів генерування та електроспоживання. Розроблено алгоритм оцінювання коефіцієнта стабільності, що ґрунтується на аналізі отриманих характеристик. З урахуванням результатів аналізу стабільності генерування розроблено метод визначення оптимальної, за критерієм мінімуму приведених затрат, потужності, що має забезпечувати джерело резерву для підтримання відповідного рівня балансової надійності в локальній електричній системі.
Ключові слова: потужність генерування; сонячні електростанції; графік навантаження; потужність резерву; гаусові суміші розподілу; ймовірнісні характеристики; приведені затрати.

DETERMINATION OF OPTIMAL POWER RESERVES FOR CARRYING BALANCE RELIABILITY OF LOCAL ELECTRIC SYSTEM

P. LEZHNIUK, V. KOMAR, S. KRAVCHUK

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

ABSTRACT Greater part of renewable sources of energy is represented by solar power plants (SPP). Their operation mode depends on natural conditions of the region, where they are located. That is why the problem of SPP stability estimation is important in the problem of covering the daily schedule of energy consumption. One of the aims of the research is to evaluate the probability of providing the consumption schedule by means of corresponding source on the base of statistic data. The authors try to solve the given problem, using EM algorithm. The authors could not select the law of SPP generation distribution, applying direct analysis of statistical data, that would satisfy the character of data change, it is suggested to divide the data into the series of mixtures, each of which would correspond to normal law. EM algorithm enables to select optimal, by the criterion of maximum of probability, amount of mixtures. By the values of characteristics of these mixtures the probabilities of emergence both of certain generation and consumed power could be obtained. To reduce the negative impact of random factors, characteristic for certain periods of the day, statistic data were considered by half hour periods of the day. In this paper, the algorithm determination of stability covering load demand their own generation of renewable energy, particularly solar power, was proposed. On the basis of this indicator the method of determining the optimum by criterion of minimum reduced cost, power, which should provide a source of reserve to maintain an appropriate level of reliability in carrying the local electrical system. This method, based on the evaluation of stability data for generating renewable energy sources, including solar power, the problem of covering a given load demand and its impact on the number electricity.
Keywords: power generation; solar power; load schedule; reserves power; Gaussian mixture distribution; probability characteristics; given the cost.

Вступ

Лева частка генерування ВДЕ припадає на розподільні електричні мережі. У випадку коли встановлена потужність ВДЕ, зокрема СЕС та ВЕС, зростає до 15% і більше, від сумарної потужності навантаження, РЕМ набуває ознак локальної електричної системи [1]. Для забезпечення належного рівня балансової надійності ЛЕС, потрібно враховувати ймовірнісний характер видачі потужності такими електростанціями [2, 9-11].

Графік генерування електричної енергії відновлюваними джерелами безпосередньо залежить від природних особливостей регіону, в якому вони розташовані. Ця особливість відновлюваних джерел

енергії (ВДЕ) вносить певні проблеми під час розв'язання задачі забезпечення надійного і якісного електропостачання споживачів. В таких умовах постає задача визначення потужності, що має забезпечувати джерело резерву.

Оскільки СЕС є нестабільним джерелом генерування, доцільно здійснити оцінювання їх впливу на балансову надійність розподільних електричних мереж. Серед існуючих показників балансової надійності (ПБН) [3,4,12-14], можна виділити такі відносні ПБН: $LOLP$, $LOLE$, $LOLH$ та J_D оскільки вони є найбільш інформативними.

– математичне очікування річного недовідпуску електроенергії споживачам $M(\Delta W)$ (за кордоном

аналогами є *EUE* – *Expected Unserved Energy* або *LOEE*– *Loss of Energy Expectation*, МВт год/рік);
– математичне очікування компенсаційних затрат від ненадійного електропостачання споживачів (для заданих характеристик питомих затрат y_0) (млн. грн);
– *LOLP* (*Loss of Load Probability*) – ймовірність втрати навантаження (в.о.)

$$LOLP = \sum_{i=1}^T Q_i \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}) \quad (1)$$

де $Q_i = 1/T$ – ймовірність ступені графіка навантаження; P_{ik} – ймовірність стану генерувальних потужностей пов'язаних з відмовою агрегатів; $\Delta P_{ik} = P_{Гik} - P_{Нik} < 0$ – дефіцит потужності в розподільних електричних мережах для k -го випадкового стану генерувальних потужностей;
– *LOLE* (*Loss of Load Expectation*) і *LOLH* – тривалість втрати навантаження, відповідно в кількості діб і годин на рік)

$$LOLE = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i \text{ діб}} \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik})$$

$$LOLH = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i \text{ год}} \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}) \quad (2)$$

де $P_{i \text{ діб}}, P_{i \text{ год}}$ – тривалість i -го періоду, відповідно діб і годин.

Для ЕЕС інтегральні ПБН визначаються за допомогою частинних похідних математичного очікування недовідпуску електроенергії для всієї ЕЕС за параметрами системи – оперативним резервом потужності територіальних зон і запасам пропускної спроможності ліній електропередач між ними. В роботі [5] показано, що такі частинні похідні можуть визначатися аналізом двоїстих оцінок (m_j) для j -х параметрів лінійної моделі, які дорівнюють *одиниці*, у випадку коли генерувальна потужність зони, що розглядається впливає на зміну системного дефіциту потужності, і *нулю*, в іншому випадку.

Вираз, для визначення інтегральних ймовірностей дефіциту потужності відповідає (3):

$$J_{Дj} = \frac{\partial M[\Delta W]}{\partial R_j} = \sum_{u=1}^U Q_u \sum_{z=1}^Z Q_z \sum_{k=1}^K Q_k m_j^{u,z,k} \quad (3)$$

де $M[\Delta W]$ – математичне очікування річного об'єму недовідпуску електроенергії, у в.о;
 R_j – кількість електроенергії, що повинно забезпечити джерело резерву для j -тої територіальної зони, у в.о.
 Q_u та Q_z – відносний час існування u -того та z -того часового інтервалу зміни навантаження;

Q_k – ймовірність існування k -того випадкового стану системи, що викликане аварійним виходом генерувального обладнання на u -тому сезонному та z -тій добовій зміні навантаження; $m_j^{u,z,k}$ – двоїста оцінка лінійного програмування (ЛП) для j -тої територіальної зони; U та Z – число відповідно сезонних і добових інтервалів зміни навантаження; K – число випадкових станів ЕЕС, що моделюється статистичними методами.

Однак, перераховані показники: *LOLP*, *LOLE*, *LOLH* та $J_{Дj}$, по-перше, не враховують залежності роботи СЕС від природних умов, а, по-друге, не дозволяють характеризувати стабільність цих джерел по відношенню до графіка навантаження, оскільки розроблялись для генерувальних потужностей, режим роботи яких є повністю керованим.

Тому для локальних електричних систем, потрібно розробити додатковий показник який дасть змогу характеризувати стабільність генерування СЕС, що дозволить оцінити вплив останніх на балансову надійність.

Мета роботи

Метою статті є розробка методу визначення потужності, що має забезпечувати джерело резерву для підтримання належного рівня балансової надійності в локальній електричній системі. Для цього потрібно здійснити оцінювання стабільності покриття графіка навантаження генеруванням СЕС.

Виклад основного матеріалу

Оцінювання стабільності покриття заданого графіка електроспоживання потенційно можливим генеруванням сонячної електростанції здійснюється на основі аналізу статистичних даних генерування СЕС та потужності навантаження протягом року (рис.1).

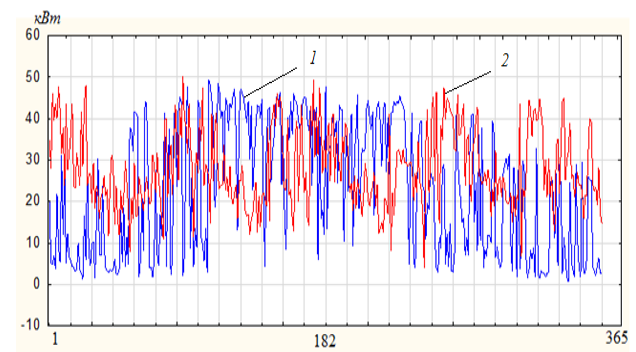


Рис. 1 – Зміна потужності генерування СЕС (1) та навантаження (2) протягом року в заданий проміжок часу доби

На основі аналізу даних розроблено алгоритм оцінювання стабільності генерування СЕС в задачі покриття заданого графіка навантаження (рис. 2)

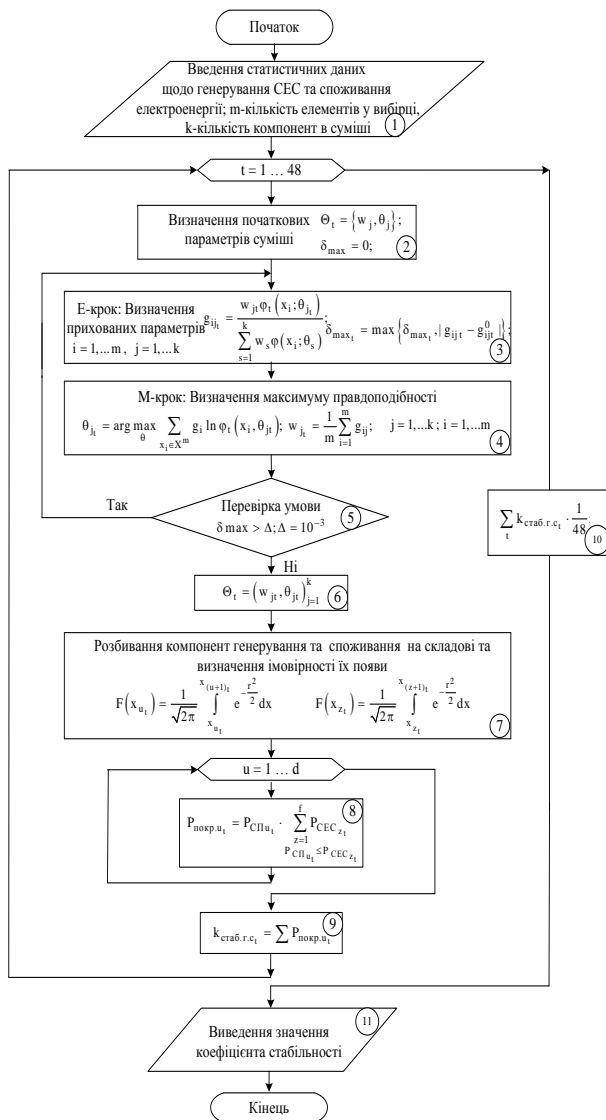


Рис. 2– Зміна потужності генерування СЕС протягом року

Так відповідно до рисунку 2, EM-алгоритм (блоки 1-6) [6], маючи статистичні дані процесів генерування та електроспоживання (блок 1) та початкове наближення параметрів сумішей і критерій зупинки (блок 2) дозволяє визначити параметри суміші гаусових розподілів (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення та вагу компоненти суміші).

В блоці 3, позначаємо через $p(x, \theta_j)$ щільність ймовірності того, що елемент вибірки генерування належить j -тій компоненті суміші згідно формули повної ймовірності $p(x, \theta_j) = p(x)P(\theta_j / x)$. Вводимо позначення

$g_{ij} = P(\theta_j / x)$ - невідома апостеріорна ймовірність того, що елемент вибірки взятий з j -тої компоненти суміші. Таку ймовірність можна визначити використовуючи формулу Байєса. Блок 4 вирішує оптимізаційну задачу визначення оптимальної ваги компонентів суміші w_j за критерієм максимуму правдоподібності.

Ітераційний процес зупиняється, коли значення функціонала $Q(\Theta) = \sum_{i=1}^m \ln \sum_{j=1}^k w_j p_j(x_i) \rightarrow \max(\Theta)$ або

значення прихованих змінних G перестають суттєво змінюватись (блок 5). Отримані параметри суміші розподілів генерування СЕС та електроспоживання (блок 6), за допомогою інтегралу ймовірності зважені компоненти сумішей розбиваються на складові з певним кроком (блок 7), слід зауважити, що чим менший крок розбиття суміші тим точність розрахунку більша. В блоці 8 відбувається перевірка чи перевищує рівень генерування необхідний рівень споживання. Зрозуміло, що протягом сезону добові графіки генерування ВДЕ змінюються, так само як і добові графіки електроспоживання. Отже ймовірні випадки забезпечення балансу між генерованою і спожитою електричною енергією. При цьому ймовірності цих рівнів генерування додаються. У випадку незабезпечення балансу потужності можливостями ВДЕ відповідні ймовірності не враховуються. Після порівняння всіх можливих складових компонент генерування ВДЕ з відповідним рівнем складових компонент споживання, що відповідає певному часовому проміжку доби, сума покритих складових компонент генерування множиться на ймовірність появи цього рівня споживання (блок 9). Далі процес повторюється для іншої ступені споживання.

По завершенню перебору всіх компонент суміші споживання результуюче значення ймовірності забезпечення балансу множиться на ймовірність появи цього періоду часу. Якщо мова йде про півчасовий графік, то ця ймовірність визначається як 1/48 (блок 10). В блоці 11 виводиться кінцеве значення коефіцієнта стабільності.

Для перевірки відповідності коефіцієнта стабільності генерування СЕС загальноприйнятому ПБН J_d було проведено розрахунки, результати яких показані на рисунку 3. З рисунку видно, що інтегральний показник дефіциту потужності не дає змогу оцінити можливість забезпечення балансу генеруванням СЕС.

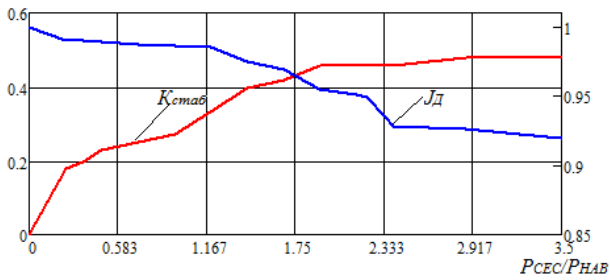


Рис. 3 – Зображення невідповідності показника стабільності показнику J_d у випадку підключення СЕС

Цей показник дозволяє враховувати ймовірнісну складову виробітку електроенергії на сонячних електростанціях. Зрозуміло, що генерування СЕС не завжди дозволить підтримувати балансову надійність, як окремого споживача, так і ЛЕС в цілому.

Одним з основних шляхів забезпечення балансової надійності є резервування [5]. Тому питання визначення необхідного рівня резерву, в умовах впровадження відновлюваних джерел електроенергії, генерування яких є нестабільним, особливо важливе.

Задача визначення оптимальної потужності резерву ЛЕС незалежно від принципів керування [7] повинна відповідати мінімуму приведених затрат на створення надлишкової потужності резерву та враховувати затрати, що будуть компенсуватись в разі незабезпечення балансової надійності споживачів ЛЕС. Отже цільову функцію можна записати наступним чином [5]:

$$Z_{\Sigma}(\Pi) = Z_R(\Pi) + Z_L(\Pi) + M[Y](\Pi) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де Π – показники, що характеризують засоби забезпечення балансової надійності (резерви генерувальних потужностей і запаси пропускної спроможності ліній електропередач в кВт);

$Z_R(\Pi) = \sum_{j=1}^n z_{R_j}^{num} \cdot R_j$ – затрати на резерв генерувальної потужності R_j для всіх j -тих ЛЕС;

$Z_L(\Pi) = \sum_{i=1}^m z_{L_i}^{num} \cdot P_i^L$ – затрати на запаси пропускної спроможності ліній електропередач (ПСЛЕП);

$z_{R_j}^{num}$, $z_{L_i}^{num}$ – питомі затрати (грн./кВт) відповідно на створення резерву генерування в j -тій ЛЕС і затрати на підтримання запасу ПСЛЕП відповідно; $M[Y](\Pi)$ – компенсаційні затрати споживачам електроенергії в разі незабезпечення балансової надійності.

Оскільки значна частина ВДЕ під'єднана до електричної мережі з боку споживачів, то це значно підвищує ПСЛЕП, виходячи з цього в цільовій функції (4), складова затрат по підтриманню

відповідного рівня ПСЛЕП $Z_L(\Pi)$ не сильно впливатиме на загальні затрати на підтримання відповідного рівня резерву.

В роботі [8], пропонується визначати потужність, що має забезпечувати джерело резерву та визначити економічний ефект від такого визначення на основі використання ПБН J_d . Проте використання інтегрального показника дефіциту потужності не враховує нестабільність генерування ВДЕ.

Особливо важливою така проблема постає в задачі підвищення балансової надійності ЛЕС, де сумарна частка генерування ВДЕ досить значна, тому з цим потрібно рахуватись при визначенні потужності джерела резерву.

Для цього потрібно здійснити аналіз ймовірнісних характеристик процесів генерування СЕС та навантаження та на основі таких досліджень здійснити оцінювання найбільших значень недовідпуску електроенергії (рис.4).

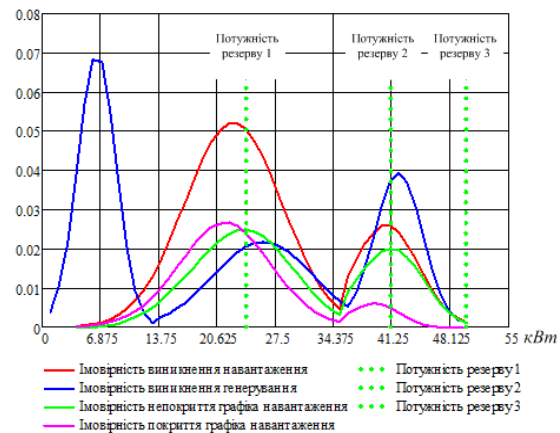


Рис. 4 – Зміна ймовірності покриття графіка навантаження генеруванням СЕС протягом року на t -тому проміжку часу доби

Графік зміни ймовірності не покриття графіка навантаження, має декілька найбільш ймовірних значень недовідпуску електроенергії, при яких потрібно забезпечити відповідну потужність резерву («Потужність резерву 1» та «Потужність резерву 2») рис.4, що стосується пропонуваної «Потужності резерву 3», тут береться до уваги те, що взимку СЕС видає практично мінімум від встановленої потужності, а потужність навантаження при цьому досить велика, тому і розглядається випадок мінімуму генерування при максимумі навантаження.

На основі ймовірностей очікуваних значень недовідпуску електроенергії, можна визначити нестабільність покриття ГЕН генеруванням ВДЕ у вигляді коефіцієнту нестабільності:

$$k_{нестаб,t} = 1 - k_{стаб,t}. \quad (5)$$

Коефіцієнт нестабільності $k_{не\ стаб. t}$ буде показувати ймовірність не покриття графіка навантаження генерування СЕС на t -тому проміжку часу доби, тобто ймовірність виникнення певної величини дефіциту потужності.

Даний показник можна пов'язати з економічними показниками цільової функції (4):

$$M[\Delta W] = T_p P_{рез} \left[k_{не\ стаб}^{(P_{рез.1})} + k_{не\ стаб}^{(P_{рез.2})} + \dots + k_{не\ стаб}^{(P_{рез.m})} \right] = T_p P_{рез} \sum_{i=1}^m k_{не\ стаб}^{(P_{рез.i})} \quad (6)$$

де T_p – час для якого оцінюється математичне очікування недовідпущеної електроенергії; $T_p = 8760$ год.; $P_{рез}$ – потужність резерву,

а $k_{не\ стаб}^{(P_{рез.1})} = S_0^{(P_{рез.2})} + \dots + S_0^{(P_{рез.m})}$ – ймовірності появи дефіциту потужності в $P_{рез.1}$ і більше,

$k_{не\ стаб}^{(P_{рез.2})} = S_0^{(P_{рез.3})} + \dots + S_0^{(P_{рез.m})}$ – ймовірності появи дефіциту потужності в $P_{рез.2}$ і більше відповідно.

Графічна інтерпретація даного показника подана на рисунку 5.

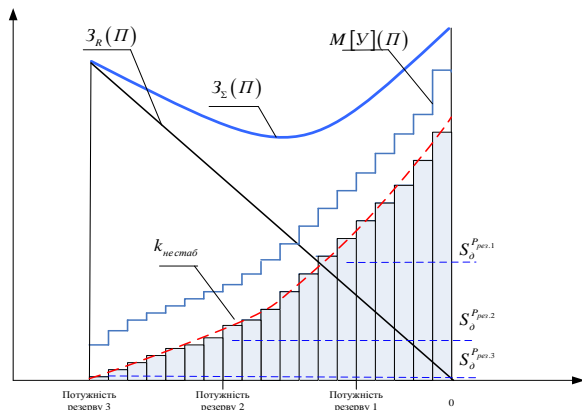


Рис. 5 – Графічне зображення взаємозв'язку іменованих та відносних (ймовірнісних) ПБН в ЛЕС

Видно, що коефіцієнт нестабільності змінює своє значення при запропонованих значеннях потужності резерву $R = r \cdot P_{рез}$, при збільшенні потужності резерву він зменшується, а при зменшенні – навпаки, зростає. Опимальному рівню надійності ЛЕС, відповідає значення мінімуму приведених затрат на резервування $Z_{\Sigma}(I)$ (4), без урахування складової, що враховує затрати на ПСЛЕП $Z_L(I)$. Враховуючи лінійність взаємозв'язку затрат на створення резерву потужності $Z_R(I)$ з самою

величиною резерву $Z_R(I) = \sum_{j=1}^n Z_{R_j}^{num} \cdot r \cdot P_{рез}$ і

пропорційності мат. очікування компенсаційних затрат $M[Y](I)$ недовідпущеної електроенергії кінцевому споживачеві $M[\Delta W]$, мається на увазі $M[Y](I) = y_0 \cdot M[\Delta W](I)$, можна відносно просто знайти мінімум функціонала (4)[8]:

$$\frac{\partial Z_{\Sigma}(I)}{\partial r} = Z_{R_j}^{num} \cdot P_{рез} + \frac{y_0 \partial M[\Delta W]}{\partial r} = 0. \quad (7)$$

З рисунку 5 видно, що при збільшенні резерву потужності R в ЛЕС на величину $P_{рез}$, величина мат. очікування недовідпуску електроенергії в відповідності до (6) зменшиться і буде становити:

$$M[\Delta W]^{(P_{рез.1})} = T_p P_{рез} \left[k_{не\ стаб}^{(P_{рез.2})} + k_{не\ стаб}^{(P_{рез.3})} + \dots + k_{не\ стаб}^{(P_{рез.m})} \right] = T_p P_{рез} \sum_{i=1}^m k_{не\ стаб}^{(P_{рез.i})} \quad (8)$$

Враховуючи різницю між (6) та (8) визначаємо залежність $\frac{\partial M[\Delta W]}{\partial r}$:

$$\frac{\partial M[\Delta W]}{\partial r} = -T_p P_{рез} k_{не\ стаб}^{(P_{рез})}. \quad (9)$$

Якщо вираз (7) переписати з урахуванням (9) показник нестабільності генерування СЕС для ЛЕС можна представити у вигляді:

$$k_{не\ стаб} = \frac{Z_{R_j}^{num}}{y_0 T_p}. \quad (10)$$

Дещо схожий зв'язок при визначенні потужності резерву має інтегральний показник появи дефіциту потужності J_d [8], проте в основі визначення даного показника лежить оцінювання ймовірностей аварійний станів системи та пов'язаних з цим недовідпусків електроенергії.

Що стосується показників ПБН, що широко використовуються закордоном (*LOLP*, *LOLE* та *LOLH*), можна зробити висновок, що дані показники не враховують нестабільну природу генерування ВДЕ. Тому, для оцінки такої нестабільності, в задачі визначення потужності резерву, було розроблено показник $k_{не\ стаб}$ що якісно характеризує можливості ВДЕ для забезпечення балансової надійності. Застосування даного показника, дозволяє визначити оптимальну потужність резерву, за критерієм мінімуму приведених затрат (4) енергопостачальної

компанії та враховує нестабільність процесу генерування ВДЕ.

Висновки

За допомогою визначеного коефіцієнта стабільності, з урахуванням ймовірнісних характеристик процесів генерування та споживання електроенергії визначено найбільш ймовірні значення недовідпущеної електроенергії. На основі цієї інформації, запропоновано метод визначення оптимальної, за критерієм мінімуму приведених затрат енергопостачальної компанії, потужності резерву, що враховує нестабільність процесу генерування ВДЕ.

Список літератури

1. **Бурикін, О. Б.** Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлювальними джерелами енергії / **О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко** // *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика»* – 2013. – № 2 (15). – С. 42-46.
2. **Лежнюк, П. Д.** Оцінювання ймовірнісних характеристик генерування сонячних електростанцій в задачі інтелектуалізації локальних електричних систем / **П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – №18 (1190). – С. 92-100. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.18.14.
3. **Dimitri Kecocioglu** Reliability Engineering Handbook / **Dimitri Kecocioglu** // PTR Prentice Hall, New Jersey. – 1991. – Vol II. – P. 341-349.
4. **Шефтель, З. Г.** Теорія ймовірностей: Монографія / **З. Г. Шефтель** // *Київ: Наукова думка*. – 1994. – 274 с.
5. **Чукреев, Ю. Я.** К вопросу нормирования вероятностных показателей балансовой надежности территориальных зон электроэнергетической системы / **Ю. Я. Чукреев** // *Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. – Харків: ХНАМГ. – 2011. – Випуск 101. – С. 364-371.
6. **Айвазян, С. А.** Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / **С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин**. – М.: *Финансы и статистика*. – 1989. – 607 с.
7. **Рубаненко, О. Є.** Оптиміальне керування нормальними режимами БЕС з врахуванням чутливості потужності і технічного стану регулюючих пристроїв / **О. Є. Рубаненко, В. О. Лесько, О. О. Рубаненко** // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2013. – №1. – С.160-165.
8. **Маркович, И. М.** Режимы энергетических систем / **И. М. Маркович**. – Изд. 4-е, переработ. и доп. – М., «Энергия». – 1969.
9. **Santiago, G.** Prosumer-based control architecture for the future electricity grid / **G. Santiago, M. Costley, N. Ainsworth** // *IEEE International Conference on Control Applications (CCA)* – 2011. – No. 1. – P. 43-48. – doi: 10.1109/CCA.2011.6044467.
10. **Agarwal, Y.** Understanding the role of buildings in a smart microgrid / **Y. Agarwal, T. Weng, R. Gupta** // *2011 Design, Automation & Test in Europe*. – 2011. – P. 1-6. – doi: 10.1109/DATE.2011.5763195.

11. **Chowdhury, A. A.** Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis / **A. Chowdhury** // *IEEE Transactions on Industry Application*. – 2003. – Vol. 39, No.5. – P. 1493-1498. – doi: 10.1109/TIA.2003.816554.
12. **Bae, I.** Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode / **I. Bae, J. Kim** // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2007. – Vol. 22, No. 2. – P. 785-790. – doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
13. **Medeiros, R.** Assessment of Operating Condition Dependent Reliability Indices in Microgrids / **R. Medeiros, X. Xu, E. Makram** // *Journal of Power and Energy Engineering*. – 2016. – No. 4. – P. 56-66. – doi: 10.4236/jpee.2016.44006.
14. **Kondo, T.** Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices / **T. Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama** // *Electrical Engineering in Japan*. – 2008. – Vol. 165. – № 3. – P. 16-28. – doi: 10.1002/ej.20499.

Bibliography (transliterated)

1. **Burykin, O. B., Malohulko, Y.** Optimizatsiya rezhimu lokal'nikh elektrichnikh sistem z vidnovlyuval'nimi dzherelami energii [Optimization of the regime of local power systems with renewable energy]. *Proceedings of DonNTU. Series "Electrical Engineering and Energy"*, 2013, **2** (15), 42-46.
2. **Lezhniuk, P. D., Komar, V. A., Kravchuk, S. V.** Evaluation of probability characteristics of solar power generation in the problem of intellectualization of local electric systems. *Vestnik NTU "KPI" Series: Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, Kharkov: NTU "KPI", 2016, **18**(1190), 92-100, doi: 10.20998/2413-4295.2016.18.14.
3. **Dimitri Kecocioglu** Reliability Engineering Handbook. PTR Prentice Hall, New Jersey, 1991, Vol II, 341-349.
4. **Sheftel, Z. G.** Probability: Monograph. Kyiv: *Naukova Dumka*, 1994, 274 p.
5. **Chukreev, U. Y.** K voprosu normirovaniya veroyatnostnykh pokazateley balansovoy nadezhnosti territorial'nykh zon elektroenergeticheskoy sistemy [On the question of the valuation of probability metrics carrying reliability territorial zones of power system]. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnik. Komunal'ne gospodarstvo mist. Seriya: Tekhnichni nauki ta arkhitektura [Scientific and technical collection. Utilities city. Series: Engineering and Architecture]*. Kharkov: KSAME, 2011, **101**, 364-371.
6. **Ayvazyan, S. A., Buchstaber, V., Enyukov, Y. S., Meshalkyn, L. D.** Applied Statistics: Classification and Reduction razmernosty. *Moscow: Finance and Statistics*, 1989, 607 p.
7. **Rubanenko, O. E., Lesko, V. A., Rubanenko, A. A.** Optimal control of normal modes EEC with regard to sensitivity and technical state power control devices. *Herald of Khmelnytsky National University*, 2013, **1**, 160-165.
8. **Markovic, I. M.** Regimes of power machinery. Ed. 4th, pererabot. and ext., Moscow, "Energy", 1969.
9. **Santiago, G., Costley, M., Ainsworth, N.** Prosumer-based control architecture for the future electricity grid. *IEEE International Conference on Control Applications (CCA)*, 2011, **1**, 43-48, doi: 10.1109/CCA.2011.6044467.

10. **Agarwal, Y., Weng, T., Gupta, R.** Understanding the role of buildings in a smart microgrid. *2011 Design, Automation & Test in Europe*, 2011, 1-6, doi: 10.1109/DATE.2011.5763195.
11. **Chowdhury, A. A.** Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis. *IEEE Transactions on Industry Application*, 2003, **39** (5), 1493-1498, doi: 10.1109/TIA.2003.816554.
12. **Bae, I., Kim, J.** Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2007, **22**(2), 785-790, doi: 10.1109/TPWRS.2007.894842.
13. **Medeiros, R., Xu, X., Makram, E.** Assessment of Operating Condition Dependent Reliability Indices in Microgrids. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2016, **4**, 56-66, doi: 10.4236/jpee.2016.44006.
14. **Kondo, T., Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama** Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices. *Electrical Engineering in Japan*, 2008, **165**(3), 16-28, doi: 10.1002/ej.20499.

Відомості про авторів (About authors)

Лежнюк Петро Дем'янович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: lpd@inbox.ru

Lezhniuk Petro D. – Dr. Sc., Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine.; e-mail: lpd@inbox.ru.

Комар В'ячеслав Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: kvo76@mail.ru

Komar Vyacheslav O. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, assistant professor of electrical plants and systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: kvo76@mail.ru.

Кравчук Сергій Васильович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, аспірант кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: w1_1992@mail.ru.

Kravchuk Sergey V. – postgraduate student, Vinnitsa National Technical University, graduate student of power plants and systems; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: w1_1992@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю так:

Лежнюк, П. Д. Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи/ **П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 69-75. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.

Please cite this article as:

Lezhniuk, P., Komar, V., Kravchuk, S. Determination of optimal power reserves for carrying balance reliability of local electric system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 69–75, doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лежнюк, П. Д. Определение оптимальной мощности резерва для обеспечения балансовой надежности локальной электрической системы / **П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 69-75. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.

АНОТАЦІЯ В статтю проаналізована робота сонячних електростанцій з урахуванням можливості забезпечення графіка потреби. Для цього використано математичну модель гауссових сумішей, яка дозволяє отримати основні ймовірнісні характеристики процесів генерації та електропотреблення. Розроблено алгоритм оцінки коефіцієнта стабільності, оснований на аналізі отриманих характеристик. З урахуванням результатів аналізу стійкості генерування розроблено метод визначення оптимальної по критерію мінімуму приведених витрат, потужності, яка повинна забезпечувати джерело резерву для підтримання відповідного рівня балансової надійності в локальній електричній системі.

Ключевые слова: мощность генерации; солнечные электростанции; график нагрузки; мощность резерва; гауссовы смеси распределения; вероятностные характеристики; приведенные затраты.

Поступила (received) 12.12.2016

УДК 537. 56

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.12

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ФІЗИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОВІТРЯ НА ОБ'ЄКТАХ ЗІ ШТУЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ІСНУВАННЯ

Ю. О. ЛИТВИН*, О. В. СТРОКАНЬ, М. Ю. МИРОШНИЧЕНКО

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

АНОТАЦІЯ Робота присвячена розробці алгоритму визначення аероіонного розподілення джерел аероіонного випромінювання на комбінованій площині, що дозволяє виконувати розрахунки геометричних та графічних показників місць розташування джерел аероіонного випромінювання з метою оптимізації аероіонного режиму на об'єктах зі штучним середовищем існування. Зокрема, запропонований алгоритм реалізований на мобільних засобах з операційною системою Android, що дозволяє виконувати розрахунки аероіонного режиму безпосередньо на об'єктах. Пропонується алгоритм по визначенню та забезпеченню оптимального аероіонного розподілення від штучних джерел аероіонізації у просторі від одного і більше аероіонізаторів. Забезпечення оптимального аероіонного розподілення ґрунтується на геометричній моделі розподілення від'ємних аероіонів і здійснюється шляхом оптимального розміщення джерел аероіонного випромінювання в заданій робочій зоні. Особливістю запропонованого алгоритму є розрахунок аероіонного розподілення для комбінованої зони дихання, коли горизонтальна зона дихання переходить у нахилну. Результати алгоритму є основою для програмного забезпечення системи автоматизованого розрахунку оптимального аероіонного режиму робочого середовища.

Ключові слова: модуль; мова програмування; аероіонне розподілення; androidstudio; нахилена площина.

NEW TECHNOLOGY OF MANAGEMENT OF AIR PHYSICAL CONDITIONS IN FACILITIES WITH ARTIFICIAL ENVIRONMENT

Y. LYTUVYN* O. STROKAN, M. MIROSHNICHENKO

Department of information technology, Tavria state agrotechnological University, Melitipol, UKRAINE

ABSTRACT The paper deals with the development of determination of distribution of air and ion radiation sources in the combined area that allows to calculate geometrical and graphical parameters of location places of air and ion radiation sources with the aim to optimize air and ion modes in the objects with artificial environments. In particular, the proposed algorithm is implemented on mobile devices with the Android operating system that enables to calculate air and ion modes directly in facilities. An algorithm to determine and optimize the distribution of air and ion radiation artificial sources in the space of one or more of air and ion radiation. Ensuring ion radiation distribution model based on the geometric distribution of ions and ion radiation support through optimal placement of radiation sources ion radiation in a given work area. The feature by applying the calculation algorithm is ion radiation distribution for the combined zones breath when breathing zone of horizontal passes in inclined. The results of the algorithm is the basis for the software-automated system for calculation of optimal treatment of air and ion radiation working environment. The aim of this work - is to develop an algorithm to determine the distribution of air and ion radiation sources in the combined area for software based on Android Studio.

Keywords: module; programming language; air and ion distribution; Android Studio; inclined area.

Вступ

Більшість часу свого життя людина знаходиться на робочому місці, що являє собою об'єкт зі штучним середовищем існування. А від так на його організм діють найрізноманітніші фактори навколишнього середовища: температура, тиск, забрудненність повітря і т.д. Одним із негативних факторів, який шкідливо діє на організм людини є пил [1]. Він здатний негативно впливати на внутрішні органи і центральну нервову систему, сприяти виникненню та інтенсивному протіканню професійних захворювань. Тому боротьба із пилом нині набуває величезного значення.

Для створення комфортних умов на об'єктах зі штучним середовищем існування використовуються

спеціальні засоби і методи, серед яких найбільш широке використання набули аероіонізаційні системи, головним елементом яких є джерела аероіонного випромінювання [1].

Створення комфортних умов у робочому середовищі можливе за рахунок раціонального розташування джерел аероіонного випромінювання у даному середовищі. Розташування аероіонізаторів у робочому приміщенні відбувається на основі використання карт аероіонного розподілу у вигляді ізольованої концентрації від'ємних аероіонів, які отримуються шляхом відомих способів [1]. Дані способи отримання картини аероіонного розподілення від аероіонізаторів можуть застосовуватися при розрахунку аероіонного розподілення тільки на горизонтальних поверхнях або тільки на нахилених.

Але існують приміщення, в яких нахилена площина переходить у горизонтальну. До таких приміщень відносяться лекційні аудиторії, зали кінотеатрів, театрів тощо, де люди можуть розташовуватися на обох поверхнях одночасно. Тому постає необхідність у моделюванні аероіонного розподілення від штучного джерела аероіонів на комбінованій площині з метою забезпечення оптимального аероіонного режиму у робочому середовищі.

Ще одним недоліком використання існуючих систем проектування місць розташування джерел аероіонного випромінювання є їх використання тільки на стаціонарних компютерах [6].

Тому постає необхідність у розробці програмного продукту, який би дозволяв використовувати запропонований алгоритм на мобільних засобах.

У роботі представлено математичний метод процесу іонізації приміщення та їх застосування для програмування в AndroidStudio. Для моделювання використовується середовище програмування Android Studio, який дає можливість програмування математичних формул, використання віджетів та побудови графічних результатів роботи.

Мета роботи

Запропонувати математичну модель розподілення концентрації від'ємних аероіонів на нахиленій та горизонтальній площинах, на основі якої розроблений алгоритм для програмного модуля проектування розміщення джерел аероіонного випромінювання, який дозволяє управляти параметри аероіонного режиму на об'єктах зі штучними середовищем існування.

Виклад основного матеріалу

Джерела від'ємних аероіонів є випромінювач, що створює сферичні аероіонні хвилі, а аероіонні промені можна представити у вигляді прямих ліній [8].

Найбільш повне уявлення про аероіонізаційний режим у приміщенні проектувальник одержує по картах, що являють собою план приміщення з нанесеними на нього лініями однакової концентрації аероіонів. При цьому часто його цікавить тільки одна або кілька ізоліній, що відповідають нормативним еквівалентам концентрації аероіонів (рис. 1). На основі отриманих ізоліній можна зробити висновок про розташування зон аероіонного комфорту і дискомфорту.

Забезпечення необхідного аероіонного розподілення у робочому середовищі можливе за рахунок оптимального розміщення джерел аероіонного випромінювання в робочому середовищі. Тому виникають задачі оптимізації розміщення технічних систем іонізації повітря в робочому середовищі. Поставлену задачу пропонується

вирішити шляхом розробки відповідного програмного модуля.

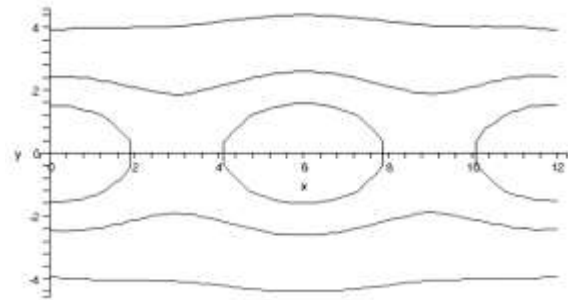


Рис. 1 – Ізолінії концентрації аероіонів на площині

Робота програмного модулю базується на використанні законів розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів у просторі, отриманих в наукових роботах Чіжевського А.Л. [3], Чуракова А.Я. [4]. Розсіювальний аероіонізатор N (рис. 2) підвішується безпосередньо над зоною, яка підлягає аероіонізації, на відстані від розрахункової площини $\sum_1 H \geq 1,5$ м [5]

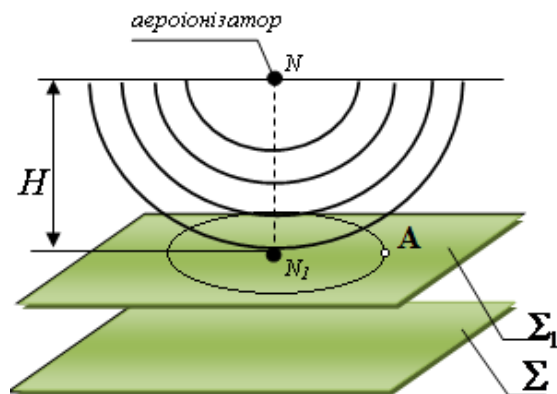


Рис. 2 – Розподіл аероіонного поля

При перетині аероіонного поля розрахунковою площиною \sum_1 ми отримуємо площину модель розподілення концентрації аероіонів на певній відстані від джерела аероіонного випромінювання у вигляді ізоліній (рис. 1.).

Розподілення концентрації від'ємних аероіонів на горизонтальній площині від одного розсіювального аероіонізатора змінюється зворотно-пропорційно квадрату відстані від проекції аероіонізатора на цій площині [10].

Сумарна концентрація від'ємних аероіонів у розрахунковій точці від декількох джерел визначається як сума концентрацій від'ємних аероіонів, які створюють у цій точці кожне з джерел (2):

$$n_A = n_{1A} + n_{2A} + \dots + n_{iA}, \quad (1)$$

де n_A - концентрація аероіонів у розрахунковій точці A , іон/см³;

$n_{1A_i}, n_{2A_i}, n_{iA}$ - відповідно, концентрація від'ємних аероіонів у точці A від першого другого та і-го джерела аероіонного випромінювання, відповідно, іон/см³.

Складемо рівняння для моделювання розподілення концентрації від'ємних аероіонів на нахиленій площині. Положення проекції джерела аероіонного випромінювання на нахиленій площині задається тільки координатою x , так як координата y не змінюється ($y=const$). Положення розрахункової точки на нахиленій площині A_i' задається двома координатами – x та y , в результаті маємо вираз:

$$n' = \frac{1}{a(r')^2 + b} 2^{-xg\alpha} \quad (2)$$

де n' - концентрація аероіонів в розрахунковій точці на нахиленій площині, іон/см³;

r' - відстань джерела аероіонного випромінювання до розрахункової точки на нахиленій площині, м;

α - кут нахилу α розрахункової площини відносно горизонтальної, °;

x - координата проекції центру джерела аероіонного випромінювання на нахиленій площині, м.

Картина розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів на нахиленій площині (рівняння 1) буде мати вигляд витягнутого еліпсу (рис. 3).

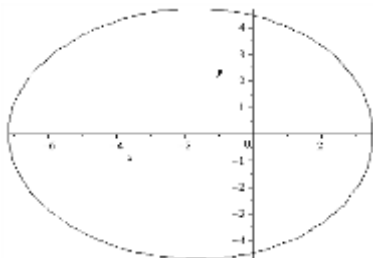


Рис. 3 – Ізолінії концентрації від'ємних аероіонів на нахиленій площині

Для отримання картини розподілення концентрації від'ємних аероіонів при комбінованому типі розрахункової площини необхідно поєднати два аероіонних розподіли: на горизонтальній площині [7, 8] і на нахиленій площині (2).

Пропонується вирішити це рівняння за допомогою розроблення відповідного програмного забезпечення, яке б функціонувало на мобільних пристроях з операційною системою Android. Таке вирішення питання дозволить виконувати проектування місць розташування джерел аероіонного випромінювання безпосередньо на заданих об'єктах зі штучним середовищем існування, а результати

розрахунку з метою їх документального оформлення відправляти за допомогою інтернет-зв'язку на електронну пошту організації-виконавця.

Обговорення результатів

Розроблений універсальний алгоритм визначення місця розташування джерела аероіонного випромінювання при наявності комбінованої розрахункової площини дозволив використати його при моделюванні мобільної системи для розрахунків зон аероіонного комфорту і дискомфорту.

Програмний модуль для моделювання аероіонного розподілення на об'єктах зі штучним середовищем існування, які володіють комбінованим типом розрахункової площини, розроблений в комп'ютерному середовищі Android Studio для операційної системи андроїд (для версії 4.2 – 5.0). Програмний модуль може встановлюватися на мобільні пристрої з операційною системою вказаної версії.

Інтерфейс розробленої системи наведений на рис. 4.



Рис. 4 – Інтерфейс розробленої системи

Інтерфейс програмного модуля візуально можна розділи на декілька областей: область вводу даних, область розташування іонізаторів та область роботи з іонізаторами.

Ми створили бокову панель для вводу даних приміщення (ширина, довжина), також в цій боковій панелі виводяться координати x та y – розміщення джерела іонізатора в приміщенні та вказівка про їх кількість, які були задані користувачем (рис. 5). У боковій панелі виводиться інформація щодо пояснення

зон концентрації, які графічно виводяться при їх розрахунку.



Рис. 5 – Бокова панель розробленої системи

Як приватний випадок на рис. 6 показаний результат роботи розробленого модулю. Після вводу даних приміщення користувачу надається можливість додати до приміщення іонізатор з потрібними параметрами. На верхній панелі знаходяться кнопки «Видалити всі іонізатори», «Рекомендації» та «Відправити звіт поштою».

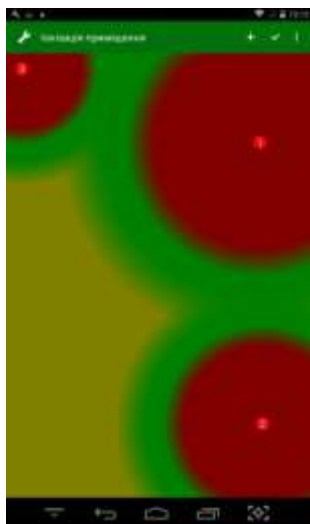


Рис. 6 – Результат роботи програмного модуля

Розроблений програмний модуль є мобільною системою, яка дозволяє моделювати і управляти параметрами аероіонізаційного режиму на об'єктах зі штучним середовищем існування. Система дозволяє ефективно автоматизувати процес розміщення аероіонізаційних приладів, внаслідок чого

відбувається розміщення робочих місць в найбільш сприятливе місце для роботи.

Висновки

Розроблений алгоритм визначення місця розташування джерела аероіонного випромінювання на комбінованій площині дозволяє скорегувати місце розміщення джерела аероіонного випромінювання з метою отримання зон концентрації із заданими параметрами іонізації повітря. Також отримані результати на мобільному пристрої дають можливість автоматизувати процес обчислення зон концентрації при застосуванні штучних пристроїв безпосередньо на самих об'єктах.

Список літератури

1. **Глоба, Л. С.** Розробка інформаційних ресурсів та систем: Навчальний посібник / **Л. С. Глоба, Т. М. Кот.** – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ». – 2012. – 322 с.
2. **Дубініна, О. В.** Автоматизація процесу проектування розташування штучних джерел у приміщеннях з горизонтальною площиною / **О. В. Дубініна, О. В. Строкань** // *Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування».* – Мелітополь: ТДАТУ. – 2014. – С. 43-49.
3. **Мещеряков, А. Ю.** Проблемы оценивания аэроионного состояния среды обитания / **А. Ю. Мещеряков, Ю. А. Федотов** // *Приборы и системы управления.* – М. – 1998. – № 11. – С.75-79.
4. **Hagen, D. E.** Mobility of intermediate sized aqueous ions in neutral gas / **D. E. Hagen, P. C. Yue, J. L. Kassner** // *J. of Colloid and Interface Science.* – 1975. – Vol. 52. – P. 526-537. – doi: 10.1016/0021-9797(75)90277-5.
5. **Bricard, J.** Formation and properties of neutral ultrafine particles and small ions conditioned by gaseous impurity of their / **J. Bricard** // *J. of Colloid and Interface Science.* – 1972. – Vol. 39. – P. 42-58. – doi: 10.1016/0021-9797(72)90141-5.
6. **Liu, L.** The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator / **L. Liu, J. Guo, L. Sheng** // *J. of Electrostatics.* – 2000. – No 48. – P. 81- 91. – doi: 10.1016/S0304-3886(99)00049-2.
7. **Horrak, U.** Statistical characterization of air ion mobility spectra at Thkuse Observatory: Classification of air ions / **U. Horrak, J. Salm, H. Tammet** // *J. of Geophysical Research. Atmospheres.* – 2000. – Vol. 105. – P. 9291-9302.
8. **Nagato, K.** An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air / **K. Nagato, Y. Matsui, T. Miyata, T. Yamauchi** // *Intern. J. of Mass Spectrometry.* – 2006. – Vol. 248. – P. 142-147. – doi: 10.1016/j.ijms.2005.12.001.
9. **Todd, J. F.** Recommendations for Nomenclature and Symbolism for Mass Spectroscopy (including an appendix of terms used in vacuum technology) / **J. F. Todd** // *Pure & Appl. Chem.* – 1995. – No 63 (10). – P. 1541-1566. – doi: 10.1016/0168-1176(95)93811-F.
10. **Larochelle, S.** Coulomb effect in multiphoton ionization of rare-gas atoms / **S. Larochelle, A. Talebpoor** // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics.* – 1997. – No 31 (6). – 1215 p. – doi: 10.1088/0953-4075/31/6/009.

Bibliography (transliterated)

1. **Globa, L.** Development of information resources and systems: Handbook. *TN Cat. Kyiv: HH ITS NTU "KPI"*, 2012, 322 p.
2. **Dubinina, O., Strokan, O.** Automation of design arrangement artificial sources in areas with horizontal plane. *Proceedings of masters and students "Information Technologies"*. Melitopol: Tavricheskiy State Agrotechnology University, 2014, 43-49.
3. **Meshcheryakov, A., Fedotov, Yu.** Problems otsenyvaniya aэroyonnoho STATUS environment habitat. *Devices and control system*. Moscow, 1998, **11**, 75-79.
4. **Hagen, D. E., Yue, P. C., Kassner, J. L.** Mobility of intermediate sized aqueous ions in neutral gas. *J. of Colloid and Interface Science*. 1975, **52**, 526-537, doi: 10.1016/0021-9797(75)90277-5.
5. **Bricard, J.** Formation and properties of neutral ultrafine particles and small ions conditioned by gaseous impurity of the air. *J. of Colloid and Interface Science*. 1972, **39**, 42-58, doi: 10.1016/0021-9797(72)90141-5.
6. **Liu, L., Guo, J., Sheng, L.** The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator. *J. of Electrostatics*. 2000, **48**, 81 - 91, doi: 10.1016/S0304-3886(99)00049-2.
7. **Horraк, U., Salm, J., Tammet, H.** Statistical characterization of air ion mobility spectra at Thkuse Observatory: Classification of air ions. *J. of Geophysical Research. Atmospheres*. 2000, **105**, 9291-9302.
8. **Nagato, K., Matsui, Y., Miyata, T., Yamauchi, T.** An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air. *Intern. J. of Mass Spectrometry*. 2006, **248**, 142-147, doi: 10.1016/j.ijms.2005.12.001.
9. **Todd, J. F.** Recommendations for Nomenclature and Symbolism for Mass Spectroscopy (including an appendix of terms used in vacuum technology). *Pure & Appl. Chem*. 1995, **63** (10), 1541-1566, doi: 10.1016/0168-1176(95)93811-F.
10. **Larochelle, S., Talebpour, A.** Coulomb effect in multiphoton ionization of rare-gas atoms. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. 1997, **31**(6), 1215 p., doi: 10.1088/0953-4075/31/6/009.

Відомості про авторів (About authors)

Литвин Юлія Олександрівна – магістрант, Таврійський державний агротехнологічний університет, кафедра комп'ютерних наук, м. Мелітополь, Україна, email: litwin.yu@yandex.ru.

Yulia Lytvyn – marge, Tavria state agrotechnological university, c. Melitopol, Ukraine, email: litwin.yu@yandex.ru.

Строкань Оксана Вікторівна – к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, кафедра комп'ютерних наук, м. Мелітополь, Україна, email: strokan.oksana@yandex.ru.

Strokan Oksana – Ph.D., Associate Professor, Taurian State Agrotechnical University, Department of Computer Science, c. Melitopol, Ukraine, email: strokan.oksana@yandex.ru.

Мирошниченко Микола Юрійович – к.т.н., Таврійський державний агротехнологічний університет, кафедра комп'ютерних наук, м. Мелітополь, Україна, email: artcom87@mail.ru.

Nikolay Miroschnichenko Yu. – Ph.D., Taurian State Agrotechnical University, Department of Computer Science, c. Melitopol, Ukraine, email: artcom87@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Литвин, Ю. О. Нова технологія управління фізичними характеристиками повітря на об'єктах зі штучним середовищем існування / **Ю. О. Литвин, О. В. Строкань, М. Ю. Мирошниченко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 76-80. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.12.

Please cite this article as:

Lytvyn, Yu., Strokan, O. Miroschnichenko, N. New technology of management of air physical conditions in facilities with artificial environment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 76-80, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.12.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Литвин, Ю. А. Новая технология управления физическими характеристиками воздуха на объектах с искусственной средой обитания / **Ю. А. Литвин, А. В. Строкань, Н. Ю. Мирошниченко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 76-80. – doi:10.20998/2413-4295.2016.22.12.

АННОТАЦІЯ Работа посвящена разработке алгоритма определения аэроионного распределения источников аэроионного излучения на комбинированной плоскости, позволяет выполнять расчеты геометрических и графических показателей мест расположения источников аэроионного излучения с целью оптимизации аэроионного режима на объектах с искусственной средой обитания. В частности, предложенный алгоритм реализован на мобильных средствах с операционной системой Android, позволяет выполнять расчеты аэроионного режима непосредственно на объектах. Предлагается алгоритм по определению и обеспечению оптимального аэроионного распределения от искусственных источников аэроионизации в пространстве от одного и более аэроионизаторов. Обеспечение оптимального аэроионного распределения основывается на геометрической модели распределения отрицательных аэроионов и осуществляется путем оптимального размещения источников аэроионного излучения в заданной рабочей зоне. Особенностью предложенного алгоритма является расчет аэроионного распределения для комбинированной зоны дыхания, когда горизонтальная зона дыхания переходит в наклонный. Результаты алгоритма является основой для программного обеспечения системы автоматизированного расчета оптимального аэроионного режима рабочей среды.

Ключевые слова: модуль; язык программирования; аэроионный распределения; Android Studio; наклонная плоскость.

Надійшла (received) 14.12.2016

УДК 330.101.8

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.13

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е. С. ЛИСТРОВАЯ, Д. Н. БАБАКИН*

Кафедра «экономики и маркетинга», НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, УКРАИНА

* email: strazh.starnet@rambler.ru

АННОТАЦИЯ Предлагается внедрение солнечных батарей, как замену обычному, загрязняющему окружающую среду источнику энергии. В результате проведенного анализа изучались все стороны вопроса. В выводах указано, что современные ученые бьются над тем чтобы увеличить коэффициент полезного действия и тем самым снизить период окупаемости и саму стоимость оборудования в целом. Экономическая целесообразность установки солнечных батарей может занять от нескольких до десятков лет.

Ключевые слова: экономическая целесообразность; анализ; изучение; эффективность; перспектива; окупаемость.

ECONOMIC ANALYSIS OF ALTERNATIVE SOLAR ENERGY

O. LISTROVA, D. BABAKIN

Department of Economics and Marketing, National Aerospace University. M. Zhukovsky "KHAI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT All known earth's resources are not unlimited and whether exhaust themselves sooner or later. Therefore it is necessary to think about the alternative energy form. One of these sources are solar panels convert the sun's energy in a person familiar electric current. They are perfectly mounted on the roofs of houses, on the walls, on the ground, they are silent, do not require special care for themselves, but today they are quite expensive, and thus prolong the economic payback. After analyzing, I note that at the moment, scientists from around the world working to increase the efficiency, and thus the efficiency of the battery and its feasibility. In developed countries, there is a public support program to switch to alternative solar energy, in consequence of which the government wants in the future to reduce the cost of energy production by conventional methods and improve the ecological situation. However, the battery is really environmentally friendly nuclear and thermal power stations, but the solar cells that make up the panel contain toxic substances such as lead, cadmium, gallium, arsenic. As well as the installation of solar station on the ground, occupies a large area and, accordingly, the land shadowing, which leads to a lack of sunlight and due to changes in the soil. The findings highlighted the economic feasibility, so to speak "in numbers" and as a consequence the result that not all countries today can afford this type of alternative energy.

Keywords: economic feasibility; analysis; study; efficiency; perspective; alternative energy; ecology.

Постановка проблемы и ее связь с важными научными или практическими заданиями

В данный момент, во всем мире остро стоит проблема затрат природных ресурсов, а также денежных средств на их добычу, благодаря которым функционируют различного рода электростанции. Решение этой проблемы невозможно без поисков альтернативных источников энергии и анализа её экономической целесообразности по отношению к уже существующим электростанциям. Поэтому актуальной задачей будет рассмотрение и экономический анализ по внедрению солнечных батарей.

Анализ последних публикаций по проблеме

Исследования преобразования солнечных лучей в электрический ток начались еще в 50-е годы прошлого века. Труды таких ученых-изобретателей как: Кельвин Соулзер Фуллер, Дэрил Чапин и Геральд Пирсон дали начало гонки за эко-энергию будущего.

Так, уже 17 марта 1958 года, в США был запущен спутник с использованием солнечных батарей – Vanguard 1. 15 мая 1958 года в СССР также был запущен спутник с использованием солнечных батарей – Спутник-3. Сегодня солнечные батареи устанавливаются на дома, для обеспечения электричеством и даже теплом, создаются портативные зарядные устройства с их применением, монтируются на автомобили, и даже планируется включить в конструирование самолетостроения [6]. Такие крупнейшие компании как: Jinko Solar, Trina Solar, Hanwha QCELLS, Canadian Solar, JA Solar, ведут непрерывные разработки по повышению эффективности. Что касается отечественных разработок, то по словам одного из украинских онлайн интернет журналов, в 2015 году в Александрии, начато строительство первого в Украине завода по производству полимерных (органических) солнечных батарей. Завод будет производить батареи последнего третьего поколения, разработанные украинскими учеными и преподавателями Александрийского филиала Малой Академии Наук. Главным приоритетом таких батарей будет отсутствие вредных

компонентов, а также ниже цена, чем у аналогов, единственный минус у таких батарей, это чуть ниже коэффициент полезного действия нежели у кремниевых.

Нерешенные составляющие общей проблемы

Надо отметить, что в настоящее время ученые занимаются исследованием и усовершенствованием коэффициента полезного действия (КПД) солнечных панелей, для обеспечения максимальной эффективности и ускорения их окупаемости.

Формулировка целей исследования

Целью исследования является анализ экономической целесообразности использования солнечных батарей.

Изложение основных результатов исследования с их обоснованием

Электричество – это основной источник энергии, а солнце – это естественный источник энергии, который может широко использоваться в современном мире [1]. Механизмом работы солнечных батарей является поглощение солнечной энергии и преобразование ее в электрический ток, а также в тепло, установив солнечный коллектор. Наиболее широкое применение эти устройства нашли в системе электроснабжения и отопления частных домов, как показано на Рис. 1



Рис. 1 – Установленные солнечные батареи на крыше частного дома

Солнечная батарея представляет собой систему фотоэлектрических преобразователей, которые соединены друг с другом в заданной последовательности. У солнечных батарей есть полупроводниковые фотоэлементы, на которые воздействуют солнечные лучи. В структуру фотопреобразователя входит два слоя, отличающихся между собой типом проводимости: p и n. Основой для изготовления фотопреобразователей служит кремний. В слое n-типа к кремнию добавлен фосфор и в результате их взаимодействия образуется избыток

отрицательно заряженных электронов. В слое p-типа к кремнию добавлен бор, в результате чего образуется так называемые «дыры», которые вызваны дефицитом в слое отрицательных зарядов. Оба слоя размещаются между разнозаряженными электродами. Таким образом, на отрицательно заряженную панель падает солнечный свет, который вызывает активное образование дополнительных отрицательных зарядов и «дыр». Далее под воздействием электрического поля, которое присутствует в p-n переходе, происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц, из которых первые направляются в верхний слой, а вторые в нижний. В следствии этого, появляется разность потенциалов – постоянный ток (U). Получается что один фотопреобразователь работает по принципу батарейки и когда к нему подсоединяется нагрузка, в цепи возникает ток, его сила будет зависеть от типа фотоэлемента, размера фотопреобразователя, уровня освещенности солнцем [3]. Существует несколько типов батарей, они же самые популярные на рынке. Монокристаллические батареи являются более продуктивными, но дорогостоящими в связи со сложностью их производства, поликристаллические занимают промежуточные позиции по этим двум параметрам, так как их коэффициент полезного действия ниже чем у монокристаллических, а также менее трудоемкий процесс производства, аморфные менее всего эффективные, но и стоят в разы дешевле чем у аналогов. Наглядный пример приведен в табл. 1.

Таблица 1

Факторы	Монокристал.	Поликристал.
Структурная разница	Кристаллы направлены в одну сторону, зерна параллельны	Кристаллы направлены в разные стороны, зерна не параллельны
Стабильность работы	Высокая	Средняя
Технология производства	Сложная	Средняя
КПД	17-22 %	12-18 %
Стоимость (от 250 Вт)	От 6000 грн.	От 5000 грн.
Срок окупаемости	От 2 лет	От 3 лет

Собственно, система солнечного комплекса состоит из солнечных батарей, которые принимают солнечную энергию и отправляют её к контроллеру заряда, следящего за скачками напряжения и перераспределяющие энергию в аккумуляторы для использования в ночное время суток, далее идет в инвертор, который преобразует в 220 В. Несомненно, для того чтобы это было возможно, потребуется солнечная погода. В зависимости от количества установленных аккумуляторов, потребитель располагает определенным количеством сгенерированной энергией в пасмурную погоду и

ночное время суток. Опираясь на научные данные, можно утверждать, что плотность энергии на границе атмосферы составляет примерно 1367 Вт на 1 м². В области экватора некоторое ее количество задерживается атмосферой, поэтому энергия, которая доходит до земли равна 1020 Вт. В Украине от солнечных батарей можно получить 150-250 Вт/м² с учетом того, что коэффициент полезного действия солнечных батарей равен 12-22 %. При этом большое значение имеет угол установки их относительно падающего света, в данном случае оптимальное его значение 40°. Количество генерируемой электроэнергии непостоянно и зависит от нескольких факторов. Главный из них — интенсивность и продолжительность попадания солнечного света, который, в свою очередь, определяется погодными условиями, длительностью дня и ночи, то есть широтой местности. Все зависит от типа батарей, рассмотренных ранее. Многие пользователи продают эко-электричество когда его в избытке, с целью быстрой окупаемости оборудования, так как цена электричества от батареи дороже обычного по так называемому «зеленому тарифу». Цена его за 1 кВт – 5,34 грн., но согласно государственному плану снизится, и последняя точка будет 31.12.2029 – стоимостью за 1 кВт – 4,07 грн. Итак, установив солнечные батареи на крыше дома и/или хозяйственных постройках, хозяева (если установлена система автономного энергоснабжения) накапливают сгенерированную энергию в аккумуляторах для вечернего пользования, когда припадает пик энергопотребления, или же, при установке сетевой станции, они отправляют энергию прямо в сеть за которую в конце месяца получают плату описанную выше. Рассмотрим два типа солнечных станций для частных домохозяйств в табл. 2 [5].

Таблица 2

Тип станции	Сетевая, «Зеленый тариф»	Автономная
Мощность, кВт	12,5	12,5
Площадь, м ²	81	81
Угол наклона	40°	40°
Потребление кВт в день, в среднем	10	10
Емкость АКБ	–	15
Автономность, дней	–	1,5
Годовая выработка, кВт (12,5 кВт × 2,66 часов/день × 30 дней × 12 мес.)	11 970	11 970
Стоимость в среднем, грн	382 200	470 860

В табл. 2 приведена средняя стоимость всех необходимых комплектующих (солнечные панели (50 шт.), инвертор, контроллер и аккумуляторы (для автономной станции), крепежи для установки). Мощность была выбрана таковой из соображений

фактически полной автономии стандартного дома для полноценной семьи. Как видно, автономная станция уступает за счет необходимости установки аккумуляторов (АКБ), именно они составляют значительную часть стоимости и недолговечности этой системы. Что касается сетевой станции, то она имеет ряд преимуществ: ниже стоимость, простота обслуживания, и самое главное продажа излишков энергии по «зеленому тарифу» тем самым ускоряя окупаемость. Наведем пример, годовая выработка – потребленное электричество за год (было взято в среднем 300 кВт/мес.) × цена «зеленого» кВт × 8,6 лет = 384 384 грн. Соответственно, через 8,6 лет, солнечная станция окупится [10]. Примечательно также, что, установив солнечный коллектор (смотри рис. 2) можно отапливать дом, экономя денежные средства заменяя или совмещая с привычным отоплением на газу или твердом топливе.



Рис.2 – Солнечный коллектор

Солнечный коллектор также работает в дневное время при попадании солнечных лучей, как и батарея, но не производит электричество, а нагревает материал-теплоноситель. Состоит коллектор из избирательного абсорбера, который в свою очередь поглощает солнечные лучи, трансформируя их в тепловую энергию. Для того чтобы свести к минимуму термические потери, такой коллектор помещается в термоизолированный ящик с прозрачными стенками. Теплоноситель, роль которого в основном выполняет смесь воды и антифриза, протекает через абсорбер. Циркуляция производится между резервуаром с горячей водой и коллектором. Запуск в действие термической солнечной установки производится посредством специального регулятора [9]. Когда в коллекторе температура превышает температуру жидкости в резервуаре, включается насос, и теплоноситель переносит тепловую энергию в резервуар из коллектора. Чаще всего абсорберы создают из большого количества металлических пластинок. Теплоноситель передается по трубкам к этим пластинкам, где и происходит процесс теплообмена. Если заводить речь о листовом

абсорбере, то здесь два металлических листа сваривают между собой таким образом, чтобы между ними мог циркулировать теплоноситель. Обычно в таком случае в качестве исходного материала используют алюминий и медь. Нужно учитывать тот факт, что отопление частного дома с помощью такого источника целесообразно организовывать только для регионов с максимумом солнечной энергии. Для северных территорий, где бывают полярные ночи, потребуется другой подход. В этом случае рекомендуется совмещать использование солнечной энергии с другими типами отопления, например, газовым или отоплением на твердом топливе (печным). Важное положение при использовании этого источника — экономическая выгода. Она напрямую зависит от мощности батареи и площади занимаемой станцией. Установив плоский солнечный коллектор с КПД, не менее — 84,5 %, можно нагреть до 150 л. воды, а один так называемый воздушный солнечный коллектор с КПД — 84,5 %, способен обогреть помещение в 20 м² [3]. Недостаточная мощность, приведет к ограниченному использованию горячей воды, не говоря уже о системе теплого пола или отоплении дома. Это же касается и солнечных батарей. Самыми мощными генераторами являются те, которые имеют мощность 30 кВт. Они позволят полностью отказаться от основных видов энергообеспечения и использовать только энергию солнца на протяжении всего года длительное время. Но стоят такие аппараты дорого, что ограничивает их применение. Кстати, о мощностях, в декабре 2011 года в Украине завершено строительство пятой, 20-мегаваттной очереди солнечного парка в Перово, в результате чего его суммарная установленная мощность возросла до 100 МВт. Солнечный парк Перово в составе пяти очередей, на тот момент стал крупнейшим парком в мире по показателям установленной мощности. Состоянием на 2016 год, первое место по мощности, занимает комплекс солнечных электростанций, индийского штата Гуджарат, с 856,81 МВт. За ним следуют американская электростанция Star (579 МВт), Toraz (550 МВт), Sunlight Farm (550 МВт). Замыкает мировую пятерку крупнейших фотоэлектрических парков — 397-мегаваттная электростанция Ivanpah, США, Калифорния [8]. Что касается стран СНГ, то ещё одна солнечная электростанция мощностью 105 кВт была запущена в сентябре 2010 года в Белгородской области. Несмотря на то, что электричество, полученное с помощью только энергии солнца, не требует при эксплуатации системы никаких капиталовложений, в данном вопросе много проблем.

-Во-первых, объем полученного электричества во многом зависит от следующих факторов: погоды, широты местности, мощности батареи.

-Во-вторых, такие источники тепла являются в большей степени дополнительным средством, к примеру, для обогрева, что ограничивает их применение.

-В-третьих, установка подобного оборудования стоит больших денег. В частности, это касается крупных электростанций. Стоимость самих аккумуляторов на порядок превышает таковую для батарей. Ученые всего мира идут семимильными шагами в освоении ниши эко-энергии, и ставят перед собой невероятные цели, так одна из них — солнечная дорога. Концепция заключается в замене привычной нам асфальтной дороги, на солнечные панели. Удивительно представить, сколько можно было бы выработать энергии с десятков, а то и сотней тысяч километров дорог. Сейчас главной задачей является создание сверх крепкого материала покрывающего солнечные панели, которые выдержали бы многотонные автомобили.

Выводы

Изучив всё вышесказанное можно сделать вывод о том, что в данный момент во всем мире идут поиски альтернативных источников энергии. Одним из ключевых является солнечная энергетика, которая заключается на использовании солнечных батарей и коллекторов [4]. Стандартная солнечная установка состоит из следующих основных частей: солнечные батареи, контроллера, инвертора, аккумулятора. Эффективность подобного оборудования зависит от нескольких факторов. Самый главный это — активность солнечной энергии и мощность батареи. Наиболее оптимальными являются аппараты с мощностью от 12,5 кВт, что может обеспечить практически бесперебойную работу всего оборудования, а излишки продавать. Что касается северных регионов, то окупаемость будет более длительной. Рекомендуется применение их в качестве дополнительного источника электричества в целях экономии средств. Целесообразно совмещать ее с центральным отоплением (на природном газе или твердом топливе) [7]. При возведении солнечных станций по типу автономии, нужно учесть большие затраты на оборудование. Окупаемость может составить до нескольких десятков лет.

Список литературы

1. **Лапаева, О. Ф.** Трансформация энергетического сектора экономики при переходе к энергосберегающим технологиям и возобновляемым источникам энергии / **О. Ф. Лапаева** // *Вестник Оренбургского государственного университета*. – 2010. – Вып. 13. – 119 с.
2. **Philip Wolfe** Solar Photovoltaic Projects in the Mainstream Power Market / **Philip Wolfe** // *Oxford: Routledge*. – 2012. – 240 с.
3. **Берланд, Б.** Фотоэлементы уходят за горизонт: Оптические ректенны солнечных батарей / **Б. Берланд** // *Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии США*. – 2003.
4. **Краснок, А. Е.** Оптические наноантенны / **И. С. Максимов, А. И. Денисюк, П. А. Белов, А. Е. Мирошниченко, К. Р. Симовский, Ю. С. Кившарь** // *Успехи физических наук*. – 2013. – Т. 183, № 6. – С. 561–589.

5. **Alessandro Pensini** Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels / **Alessandro Pensini, Claus N. Rasmussen, Willett Kempton** // *J. Scopus*. – 2014. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.111.
6. **Paul Balcombe** Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine GHP and battery storage / **Paul Balcombe, Dan Rigby, Adisa Azapagic** // *J. Scopus*. – 2015. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.034.
7. **James Freeman** An assessment of solar-powered organic Rankine cycle systems for combined heating and power in UK domestic applications / **James Freeman, Klaus Hellgardt, Christos N. Markides** // *J. Scopus*, – 2015. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.035.
8. **Catherine, S. E.** Bale Energy and complexity: New ways forward / **S. E. Catherine, Liz Varga, Timothy J. Foxon** // *J. Scopus*. – 2015. – doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.057
9. **Аметистов, Е. В.** / Основы современной энергетики. – 2008.
10. **Сульповар, Л. Б.** Развитие теории устойчивости социально-экономических систем / **Л. Б. Сульповар** // *Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса*. – 2009. – № 2. – С. 83 – 88.
3. **Berland, B.** Fotoelementy ukhodyat za gorizont: Opticheskie rektenny solnechnykh batarey. [Photovoltaics go beyond the horizon: The optical rectenna solar]. *Natsional'naya laboratoriya vobnovlyаемых istochnikov energii SShA. [National Laboratory of the US renewable energy]*, 2003.
4. **Krasnok, A. E., Maksymov, Y. S., Denysyuk, A. Y., Belov, P. A., Myroshnychenko, A. E., Symovskyy, K. R., Kyvshar'. Yu. S.** Opticheskie nanoantenny [Optical nanoantenna] *Uspekhi fizicheskikh nauk [Successes of physical sciences]*. 2013, **183**(6), 561–589.
5. **Alessandro Pensini, Claus N. Rasmussen, Willett Kempton** Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels. *J. Scopus*, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.111.
6. **Paul Balcombe, Dan Rigby, Adisa Azapagic** Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine GHP and battery storage. *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.034.
7. **James Freeman, Klaus Hellgardt, Christos N. Markides** An assessment of solar-powered organic Rankine cycle systems for combined heating and power in UK domestic applications, *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.035.
8. **Catherine, S. E., Liz Varga, Timothy J. Foxon** Bale Energy and complexity: New ways forward. *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.057.
9. **Ametystov, E. V.** Osnovi sovremennoy enerhetyky [Modern Energy Basics]. 2008.
10. **Cul'povar, L. B.** Razvitie teorii ustoychivosti sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [The development of the theory of the stability of the socio-economic systems]. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa. [Bulletin of the Association of Tourism of universities and service]*, 2009, **2**, 83 – 88.

References (transliterated)

1. **Lapaeva, O. F.** Transformatsiya energeticheskogo sektora ekonomiki pri perekhode k energosberegayushchim tekhnologiyam i vobnovlyаемым istochnikam energii [The transformation of the energy sector in the transition to energy-saving technologies and renewable energy sources]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]*. 2010, **13** (119).
2. **Philip Wolfe** Solar Photovoltaic Projects in the Mainstream Power Market. *Oxford: Routledge*. 2012, 240 p.
3. **Berland, B.** Fotoelementy ukhodyat za gorizont: Opticheskie rektenny solnechnykh batarey. [Photovoltaics go beyond the horizon: The optical rectenna solar]. *Natsional'naya laboratoriya vobnovlyаемых istochnikov energii SShA. [National Laboratory of the US renewable energy]*, 2003.
4. **Krasnok, A. E., Maksymov, Y. S., Denysyuk, A. Y., Belov, P. A., Myroshnychenko, A. E., Symovskyy, K. R., Kyvshar'. Yu. S.** Opticheskie nanoantenny [Optical nanoantenna] *Uspekhi fizicheskikh nauk [Successes of physical sciences]*. 2013, **183**(6), 561–589.
5. **Alessandro Pensini, Claus N. Rasmussen, Willett Kempton** Economic analysis of using excess renewable electricity to displace heating fuels. *J. Scopus*, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.111.
6. **Paul Balcombe, Dan Rigby, Adisa Azapagic** Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine GHP and battery storage. *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.034.
7. **James Freeman, Klaus Hellgardt, Christos N. Markides** An assessment of solar-powered organic Rankine cycle systems for combined heating and power in UK domestic applications, *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.035.
8. **Catherine, S. E., Liz Varga, Timothy J. Foxon** Bale Energy and complexity: New ways forward. *J. Scopus*, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.057.
9. **Ametystov, E. V.** Osnovi sovremennoy enerhetyky [Modern Energy Basics]. 2008.
10. **Cul'povar, L. B.** Razvitie teorii ustoychivosti sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [The development of the theory of the stability of the socio-economic systems]. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa. [Bulletin of the Association of Tourism of universities and service]*, 2009, **2**, 83 – 88.

Сведения об авторах (About authors)

Листровая Елена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры экономики и маркетинга, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 61070, ул. Чкалова 17, г. Харьков, тел. 0950663146, 0677864084

Listrova Olena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer, Department of Economics and Marketing, National Aerospace University. M. Zhukovsky "KhAI", 61070, st. Chkalov 17, Kharkiv, ph. 0950663146, 0677864084.

Бабакін Дмитрій Николаевич – магистрант, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 61070, ул. Чкалова 17, г. Харьков, тел. 0971150946, e-mail: strazh.starnet@rambler.ru; strazh.starnet@gmail.com.

Babakin Dmytro – master student, National Aerospace University. M. Zhukovsky "KhAI", 61070, st. Chkalov 17, Kharkiv, ph.0971150946, e-mail: strazh.starnet@rambler.ru; strazh.starnet@gmail.com.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Листровая, Е. С. Экономический анализ альтернативной солнечной энергетики / **Е. С. Листровая, Д. Н. Бабакін** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 81-85. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.13.

Please cite this article as:

Listrova, O., Babakin, D. Economic analysis of alternative solar energy. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 81–85, doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.13.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лістрова, О. С. Економічний аналіз альтернативної сонячної енергетики / **О. С. Лістрова, Д. М. Бабакін** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 81-85. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.13.

АНОТАЦІЯ Пропонується впровадження сонячних батарей, як заміну звичному, забруднюючому довкілля джерелу енергії. У результаті проведеного аналізу вивчалися всі сторони питання. У висновках зазначено, що сучасні вчені б'ються над тим щоб збільшити коефіцієнт корисної дії і тим самим знизити період окупності і саму вартість обладнання в цілому. Економічна доцільність встановлення сонячних батарей може зайняти від декількох до десятків років.

Ключові слова: економічна доцільність; аналіз; вивчення; ефективність; перспектива; окупність; екологічність.

Поступила (received) 28.10.2016

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.14

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЛОПАТОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С. А. МОРГУН

Кафедра Инженерной механики и технологии машиностроения, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, УКРАИНА
e-mail: technolgnuk@rambler.ru

АННОТАЦИЯ Изложена методика построения конечно-элементной модели лопаточных конструкций, имеющих широкое распространение в энергомашиностроении. С использованием трехмерных криволинейных конечных элементов решена задача определения собственных частот колебаний лопаток турбины. Получена лучшая сходимость численного решения по сравнению с использованием моделей на основе распространенных типов конечных элементов. Также результаты численного решения хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: трехмерные конечные элементы; лопатки турбомашин; частоты собственных колебаний; численное решение; сходимость; экспериментальные данные.

THE BLADES CONSTRUCTIONS FINITE ELEMENTS MODELS DEVELOPMENT

S. MORGUN

Department of Engineering mechanics and technology of machine building, National university of shipbuilding named after admiral Makarov, Nikolaev, UKRAINE

ABSTRACT The problem of turbine engines blades finite elements models development has been studied. All calculations have been provided for the turbine blades constructions that are widely spread in the power-plant engineering. The matter is that turbine blades have constructional non-homogeneity, which hardly ever could be correctly explained, using well-known finite elements and their mathematical dependences. On the other hand, the mathematical model should be as simple as possible for the purpose of its wide usage in the process of blades design. That is why the new finite elements model, which consists of three-dimensional curvilinear isoparametric finite elements, has been developed. It has been used for the free oscillation frequencies calculation. The whole model can be divided into three sections according to the three types of elements, used for the blade's feather and two types of its conversion description. Such approach gives an opportunity to describe the whole blade as the superposition of the developed sections and make the process of turbine blades free oscillation frequencies spectrum calculation more correct and even compact. It has already been found that the convergence of turbine blades free oscillation frequencies calculations is much faster. The comparison was provided between the mathematical model, developed on the base of upper mentioned finite elements and the models, based on the two widespread types of elements such as "tetrahedron" and "prismatic". It is also should be known that the results of the turbine blades frequencies calculation are close to the experimental data when the developed finite elements are used. The developed three-dimensional finite elements of curvilinear type and the mathematical model, based on them could be used for the turbine and compressor blades stress-strained problem solution.

Keywords: three-dimensional finite elements; turbine blades; free oscillation frequencies; numeric calculation; convergence; experimental data.

Введение

С момента появления метода конечных элементов (МКЭ) одной из сфер его применения были расчеты на прочность. Свойства конечно-элементных моделей определяются используемыми конечными элементами. В зависимости от сложности исследуемых конструкций возникает необходимость использовать имеющиеся или разрабатывать новые конечные элементы.

Лопатки являются составными частями для многих изделий, используемых в энергомашиностроении. Детали данного типа обладают высокой трудоемкостью при изготовлении, что, в свою очередь, обусловлено появлением конструктивной неоднородности во время их формообразования. Поэтому вопросы, связанные с рациональным проектированием подобных

конструкций на основе метода конечных элементов, нашли свое отражение в работах ряда авторов. Так в работах [1, 2] при помощи МКЭ исследуются как охлаждаемые, так и не охлаждаемые лопатки турбины, однако, недостатком предложенных методик является то, что перо лопатки, а тем более его полость не могут быть корректно смоделированы двумерными конечными элементами. Это, в свою очередь, снижает достоверность полученных результатов. Поэтому в ряде работ [3 – 5] используются трехмерные конечно-элементные модели лопаток. Так в [3] при моделировании пера лопатки применяются четырехузловые конечные элементы оболочечного типа, а для бандажной полки и замковой части – восьмиузловые призматические элементы. При исследовании лопаточных венцов в работе [4] для конечно-элементной аппроксимации использовались восьмиузловые призматические

элементы, а в [5] – четырехузловые элементы секторного типа. Комплексные исследования лопаточного аппарата турбомашин при помощи МКЭ в трехмерной постановке проводились Ю.С. Воробьевым [6 – 8].

Анализ приведенных выше работ позволяет сделать вывод о том, что метод конечных элементов обладает наибольшей вычислительной точностью только в случае рационального выбора всех типов элементов, описывающих составные части лопатки. Поэтому задача разработки уточненных математических моделей лопаточных конструкций с использованием трехмерных конечных элементов, учитывающих все их конструктивные особенности, является актуальной.

Цель работы

Целью работы является построение уточненных конечно-элементных моделей лопаток турбомашин с использованием трехмерных криволинейных конечных элементов. Следует отметить, что конструкция пера лопатки, являющаяся сложной пространственной криволинейной поверхностью, представляет особый интерес. Остальные конструктивные части лопатки, такие как хвостовик, полка и бандажи вполне удовлетворительно могут быть описаны стандартным набором восьмиузловых призматических конечных элементов [9].

Изложение основного материала

Постановка задачи. Рассматривается задача определения собственных частот колебаний неохлаждаемой рабочей лопатки турбины. Исследуемая лопатка расположена в прямоугольной системе координат xuz с началом в центре масс корневого сечения, которая вращается вместе с лопаткой с угловой скоростью Ω . Ось z направлена по радиусу от оси вращения ротора турбины, а ось x – параллельна оси вращения (рис. 1).

Колебания трехмерной конечно-элементной модели твердого тела могут быть описаны при помощи вариационного принципа Лагранжа II рода:

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) = 0, \quad (1)$$

$$i = (1, \dots, n)$$

где $L = \Pi - T$ – функция Лагранжа; Π – потенциальная энергия деформации элемента; T – кинетическая энергия колебаний элемента; q_i – обобщенная координата i -го узла; n – число узлов элемента.

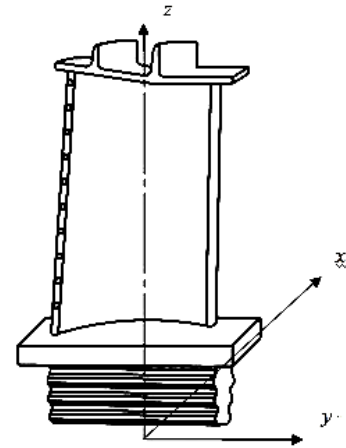


Рис.1 – Рабочая лопатка турбины в декартовой системе координат

На основе зависимостей, приведенных в работе [6], потенциальная энергия деформации конечно-элементной модели вычисляется так:

$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_V \boldsymbol{\varepsilon}^T \mathbf{D}_\sigma \boldsymbol{\varepsilon} dV = \frac{1}{2} \iiint_V \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dV = \frac{1}{2} (\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{K} \boldsymbol{\delta}), \quad (2)$$

где \mathbf{K} – матрица жесткости рассматриваемого конечного элемента;

$\boldsymbol{\delta}$ – вектор обобщенных перемещений узлов элемента.

Кинетическая энергия определяется следующим образом:

$$T = \frac{1}{2} \iiint_V \rho \boldsymbol{\delta}^T \mathbf{B}^T \mathbf{N}^T \mathbf{B} \mathbf{N} \boldsymbol{\delta} dV = \frac{1}{2} (\boldsymbol{\delta}^T \mathbf{M} \boldsymbol{\delta}), \quad (3)$$

где \mathbf{M} – матрица масс рассматриваемого конечного элемента.

Решение задачи. Разработанный для решения данной задачи трехмерный конечный элемент обладает свойствами, как криволинейного оболочечного элемента, так и криволинейного переходного. Три его модификации приведены ниже на рис.2.

Конечный элемент EL1A имеет восемь узлов на срединной поверхности: по пять степеней свободы в каждом узле.

Переход от глобальной системы координат лопатки к локальной системе координат элемента представлен ниже:

$$\begin{Bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \end{Bmatrix} = \sum N_i(\xi, \eta) \frac{1+\zeta}{2} \begin{Bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ x_i^3 \end{Bmatrix} + \sum N_i(\xi, \eta) \frac{1-\zeta}{2} \begin{Bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ x_i^3 \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

$$i = (1, 2, \dots, 8)$$

где $(x^1, x^2, x^3) = (x, y, z)$ – декартовы координаты элемента;

(x_i^1, x_i^2, x_i^3) – декартовы координаты узла i ; (ζ, ξ, η) – криволинейные координаты элемента $(-1 \leq \xi \leq 1; -1 \leq \zeta \leq 1; -1 \leq \eta \leq 1)$;

$N_i(\eta, \xi)$ – функции формы рассматриваемого элемента. $N_i(\eta, \xi) = 1$ в узле i . В других узлах $N_i(\eta, \xi) = 0$.

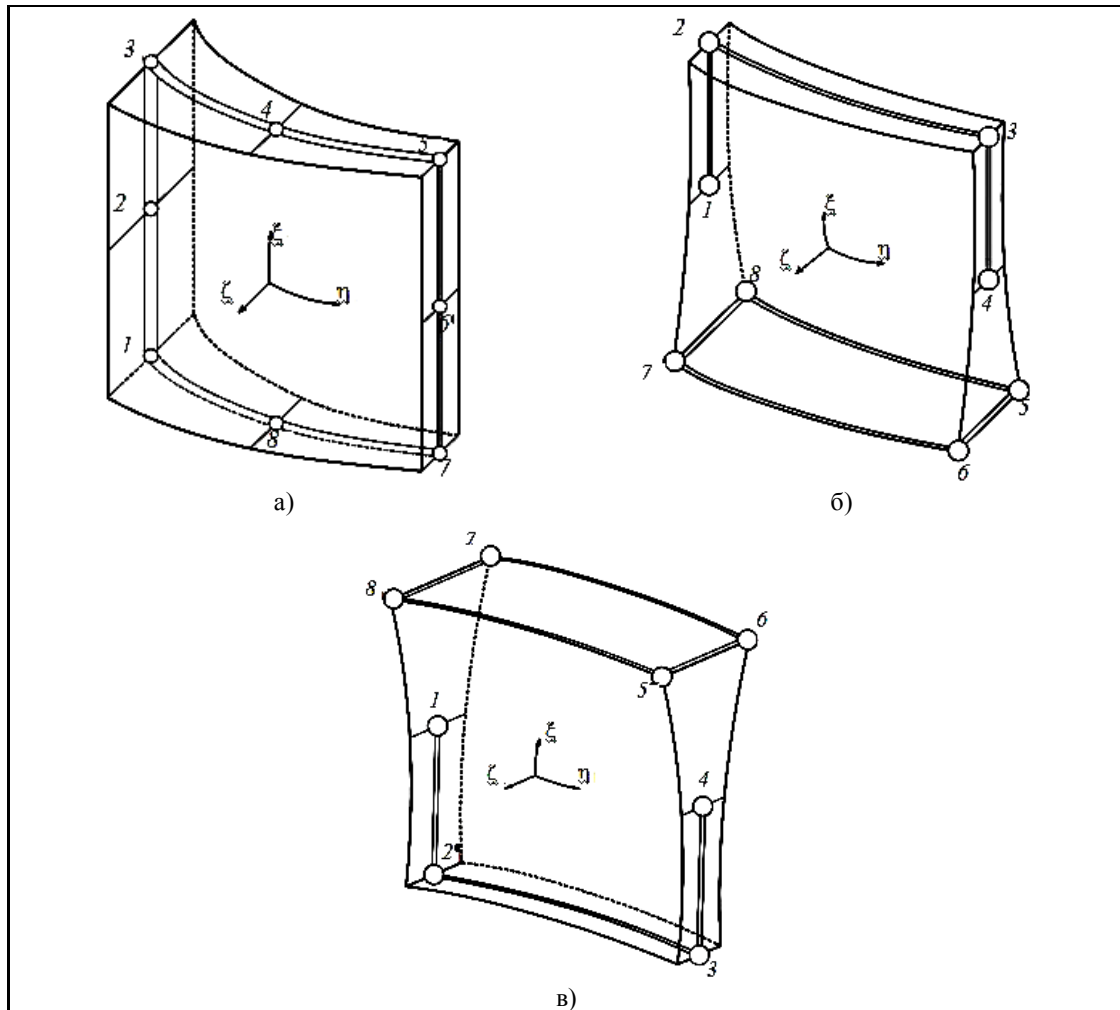


Рис. 2 – Модификации трехмерного конечного элемента:

а) – криволинейный конечный элемент для моделирования пера лопаток EL1A; б) – элемент перехода «перо лопатки – хвостовик» EL1B; в) – элемент перехода «бандажная полка – перо лопатки» EL1C

В формуле (4) и далее предполагается суммирование по повторяющимся индексам. Функции формы для рассматриваемого конечного элемента EL1A приведены в зависимостях (5):

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1-\xi)(-\xi-\eta-1); & N_2 &= \frac{1}{2}(1-\eta)(1-\xi^2); \\
 N_3 &= \frac{1}{4}(1-\eta)(1+\xi)(\xi-\eta-1); & N_4 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1+\xi); \\
 N_5 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1+\xi)(\xi+\eta-1); & N_6 &= \frac{1}{2}(1+\eta)(1-\xi^2); \\
 N_7 &= \frac{1}{4}(1+\eta)(1+\xi)(-\xi+\eta-1); & N_8 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1-\xi).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Перемещения узлов элемента в направлениях x, y, z могут быть определены с учетом зависимостей (4) и (5):

$$\delta = \sum N_i(\eta, \xi) \delta_i + \sum N_i(\eta, \xi) \zeta \frac{h_i}{2} (\mathbf{v}_i^1 \alpha_i^1 - \mathbf{v}_i^2 \alpha_i^2) \tag{6}$$

$(i = 1, 2, \dots, 8),$

где δ_i – вектор перемещений i -го узла конечного элемента;
 h_i – толщина элемента в месте расположения узла i ;
 \mathbf{v}^1 и \mathbf{v}^2 – ортонормированные векторы, образующие с единичным вектором нормали к срединной поверхности правый орт в узле i ;
 α^1 и α^2 – углы поворота нормали в узле i относительно векторов \mathbf{v}^1 и \mathbf{v}^2 .

При рассмотрении модификаций данного элемента EL1B и EL1C узлы с номерами 1 – 4 находятся на срединной поверхности и имеют по пять степеней свободы. Узлы с номерами 5 – 8 – в углах элемента и имеют по три степени свободы. Функции формы, а также поля перемещений для них могут быть получены аналогично зависимостям (4 – 6), приведенным выше.

Для получения уравнения колебательного движения конечно-элементной модели необходимо подставить зависимости (4 – 6) в формулы (1 – 3). В этом случае:

$$\mathbf{M}_{ij}\ddot{\delta}_i + \mathbf{K}_{ij}\delta_i = 0 \quad (7)$$

$(i, j = 1, \dots, 8)$

Тогда с учетом (7) и зависимостей, приведенных в работе [9], частотное уравнение для рассматриваемой конечно-элементной модели будет иметь вид:

$$\mathbf{K}_{ij}a_i - f^2\mathbf{M}_{ij}a_i = 0, \quad (8)$$

где f – частота свободных колебаний лопатки, a_i – амплитуда колебаний.

Обсуждение результатов

Для проверки адекватности математической модели и эффективности алгоритма расчета выполнено сравнение с результатами эксперимента по исследованию собственных частот колебаний рабочей лопатки турбины (f_s), приведенными в [13, 14]. Материал – жаропрочная сталь CM88У-ВИ.

Частоты свободных колебаний лопатки приведены в таблице 1. Следует отметить, что для систематизации результатов используется такая форма обозначения форм колебаний, которая соответствует обозначениям, принятым в теории оболочек. Следовательно, m – число полуволн вдоль оси z лопатки, а n – число полуволн в поперечном сечении лопатки.

Таблица 1 – Собственные частоты колебаний рабочей лопатки турбины

Форма колебаний	f_p (Гц)	f_s (Гц)
$m=0; n=1$	225	185–201
$m=1; n=1$	264	205–214
$m=1; n=2$	292	240–268
$m=2; n=3$	301	281–299

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что при сопоставлении расчетных данных с экспериментальными расхождение составляет 10 – 12,5%.

На рис. 3 приведен график, показывающий количественную характеристику сходимости численного решения МКЭ по собственным частотам колебаний рассматриваемой лопатки турбины.

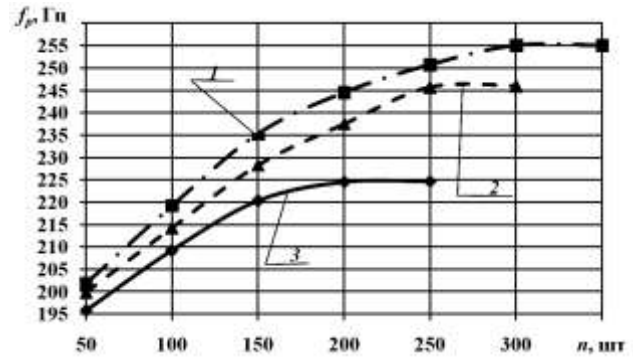


Рис. 3 – График сходимости частот свободных колебаний лопатки турбины в зависимости от плотности конечно-элементной сетки по высоте лопатки:

1) – четырехузловой конечный элемент типа «тетраэдр»; 2) – восьмиузловой конечный элемент типа «призма»; 3) – восьмиузловой криволинейный конечный элемент ELIA

Кривые сходимости приведены для трех разных типов конечных элементов с равной степенью дискретизации конечно-элементной сетки для каждого из них.

Все три графические зависимости, приведенные выше, показывают устойчивую сходимость численного решения МКЭ для рассматриваемой задачи. Однако, варианты дискретизации твердотельной модели лопатки конечными элементами типа «тетраэдр» или «призма» дают завышенные значения частот собственных колебаний по сравнению с экспериментальными данными (табл. 1) и, следовательно, являются менее предпочтительными.

Выводы

Решена задача построения уточненной конечно-элементной модели лопаток турбомашин с использованием трехмерных криволинейных конечных элементов. С ее помощью определены частоты собственных колебаний лопаток турбины. Получена лучшая сходимость численного решения задачи в сравнении с другими типами конечно-элементной дискретизации, а также хорошее совпадение результатов численного расчета с экспериментальными данными. Следовательно, применение конечно-элементной модели подобного типа является предпочтительным при решении задач о колебаниях лопаток. В дальнейшем с ее использованием возможно провести исследования вынужденных колебаний и напряженно-деформированного состояния лопаток турбомашин.

Список литературы

1. **Jiang, D.** The construction of non-linear modes for systems with internal resonance / **D. Jiang, C. Pierre, S. W. Shaw** //

- International Journal of Non-Linear Mechanics* – 2005. – № 40. – P. 729-746. – doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2004.08.010.
2. **Chen, L. W.** Dynamic stability of rotating blades with geometrical non-linearity / **L. W. Chen, W. K. Peng** // *Journal of Sound and Vibration*. – 1995. – № 187. – P. 421-433.
 3. **Liew, K. M.** Vibration of doubly-curved shallow shells / **K. M. Liew, C. W. Lim** // *Acta Mechanica*. – 1996. – № 114. – P. 95-119.
 4. **Mohamed Nabi S.** Comparison of beam and plate theories for free vibrations of metal matrix composite pre-twisted blades / **Nabi S. Mohamed, N. Ganesan** // *Journal of Sound and Vibration* – 1996. – № 189. – P. 149-160. – doi: 10.1006/jsvi.1996.0012.
 5. **Abe, A.** Non-linear vibration characteristics of clamped laminated shallow shells / **A. Abe, Y. Kobayashi, G. Yamada** // *Journal of Sound and Vibration* – 2000. – № 234. – P. 405-426. – doi: 10.1006/jsvi.1999.2877.
 6. **Воробьев, Ю. С.** Колебания лопаточного аппарата турбомашин / **Ю. С. Воробьев**. – К.: Наук. Думка. – 1988. – 224 с.
 7. **Vorobiov, Yu. S.** Analysis of turbomachinery blading vibrations using new materials / **Yu. S. Vorobiov, V. N. Romanenko, M. A. Storozhenko** // *Proceedings of the 3rd Korea-Ukraine Gas Turbine Technology Symposium (Korea Institute of Machinery and Materials) Korea, Dacejon*. – 20-23 November 2006. – P. 1 – 9.
 8. **Vorobiov, Yu. S.** Vibration stress localization in turbomachinery blading / **Yu. S. Vorobiov, A. M. Chugay, J. S. Rao** // *VETOMAC VII International Conference On Vibration Engineering And Technology of Machinery*. – Gdansk, Poland. – 2012. – P. 324 – 331.
 9. **Hu, X. X.** Free vibration analysis of curved and twisted cylindrical thin panels / **X. X. Hu, T. Tsuiji** // *Journal of Sound and Vibration*. – 1999. – № 219. – P. 63-68. – doi: 10.1006/jsvi.1998.1825.
 10. **Chou, S. T.** Vibration analysis of elastically supported turbomachinery blades by the modified differential quadrature method / **S. T. Chou, Y. T. Chou** // *Journal of Sound and Vibration*. – 2001. – № 240. – P. 937-953. – doi: 10.1006/jsvi.2000.3267.
 11. **Zhisong, F.** Architecting the Finite Element Method Pipeline for the GPU / **F. Zhisong** // *Journal of Computational and Applied Mathematics* – 2014. – №257. – P. 195-211. – doi: 110.1016/j.cam.2013.09.001.
 12. **Jie Zhu** Multi-Objective Structural Optimization Design of Horizontal-Axis Wind Turbine Blades / **Zhu Jie, Cai Xin** // *Energy* – 2014. – №7. – P. 988-1001. doi:10.3390/en7020988.
 13. **Пыхалов, А. А.** Статический и динамический анализ сборных роторов турбомашин / **А. А. Пыхалов, А. Е. Милов**. – Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета. – 2007. – 194 с.
 14. **Каиров, А. С.** Вынужденные колебания венцов рабочих лопаток турбомашин с замкнутыми на круг связями / **А. С. Каиров, С. А. Моргун** // *Вісник НТУУ «КПІ»: зб. наук. праць. Серія: Машинобудування*. – Киев: НТУУ «КПІ». – 2013. – № 2 (68). – С. 128-133.
 15. **Каиров, А. С.** Исследование собственных колебаний лопаток турбомашин методом конечных элементов / **А. С. Каиров, С. А. Моргун** // *Зб. наук. праць НУК – Миколаїв*. – 2012. – №5-6. – С.76-80.
 16. **Моргун, С. А.** Экспериментальное исследование свободных колебаний лопаток газотурбинного двигателя / **С. А. Моргун, А. С. Каиров** // *Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла: зб. наук. праць*. – Дніпропетровськ: Ліра. – 2011. – Вип. 12. – С. 224-229.

Bibliography (transliterated)

1. **Jiang, D., Pierre, C., Shaw, S. W.** The construction of non-linear modes for systems with internal resonance. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 2005, **40**, 729-746, doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2004.08.010.
2. **Chen, L. W., Peng, W. K.** Dynamic stability of rotating blades with geometrical non-linearity. *Journal of Sound and Vibration*, 1995, **187**, 421-433.
3. **Liew, K. M., Lim, C. W.** Vibration of doubly-curved shallow shells. *Acta Mechanica*, 1996, **114**, 95-119.
4. **Mohamed Nabi S., Ganesan, N.** Comparison of beam and plate theories for free vibrations of metal matrix composite pre-twisted blades. *Journal of Sound and Vibration*, 1996, **189**, 149-160, doi: 10.1006/jsvi.1996.0012.
5. **Abe, A., Kobayashi, Y., Yamada, G.** Non-linear vibration characteristics of clamped laminated shallow shells. *Journal of Sound and Vibration*, 2000, **234**, 405-426, doi: 10.1006/jsvi.1999.2877.
6. **Vorobiov Yu. S.** *Kolebanija lopatochnogo apparata turbomashin* [Turbine engines blading oscillation]. Kiev: Naukova dumka, 1988, 224 p.
7. **Vorobiov, Yu. S., Romanenko, V. N., Storozhenko, M. A.** Analysis of turbomachinery blading vibrations using new materials. *Proceedings of the 3rd Korea-Ukraine Gas Turbine Technology Symposium (Korea Institute of Machinery and Materials) Korea, Dacejon*. 20-23 November 2006, 1 – 9.
8. **Vorobiov, Yu. S., Chugay, A. M., Rao, J. S.** Vibration stress localization in turbomachinery blading. *VETOMAC VII International Conference On Vibration Engineering And Technology of Machinery*. Gdansk, Poland, 2012, 324 – 331.
9. **Hu, X. X., Tsuiji, T.** Free vibration analysis of curved and twisted cylindrical thin panels. *Journal of Sound and Vibration*, 1999, **219**, 63-68, doi: 10.1006/jsvi.1998.1825.
10. **Chou, S. T., Chou, Y. T.** Vibration analysis of elastically supported turbomachinery blades by the modified differential quadrature method. *Journal of Sound and Vibration*, 2001, **240**, 937-953, doi: 10.1006/jsvi.2000.3267.
11. **Zhisong, F.** Architecting the Finite Element Method Pipeline for the GPU. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2014, **257**, 195-211, doi: 110.1016/j.cam.2013.09.001.
12. **Jie Zhu, Xin Cai.** Multi-Objective Structural Optimization Design of Horizontal-Axis Wind Turbine Blades. *Energy*, 2014, **7**, 988-1001, doi:10.3390/en7020988.
13. **Pykhalov, A. A., Milov, A. E.** *Sticheskiy I dinamicheskiy analiz sbornyh rotorov turbomashin* [The turbine engines sectional rotors static and dynamic analysis]. *Irkutsk: The Irkutsk state technical university Publishing house*, 2007, 194 p.
14. **Kairov, A. S., Morgun, S. A.** *Vynuzhdennye kolebaniya ventsov rabochih lopatok turbomashin s zamknutymi na krug svyazyami* [The turbine engines bladed disks with circular damping links forced vibration]. *Journal of the Mechanical Engineering: Kiev. National Technical*

- University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2013, 2 (68), 128-133.*
15. **Kairov, A. S., Morgun, S. A.** *Issledovanie sobstvennykh kolebaniy lopatok turbomashin metodom konechnykh elementov* [The investigation of turbine engines blades free oscillations by means of finite elements method]. *The National university of shipbuilding named after admiral Makarov*. Mykolaiv, 2012, **5-6**, 76-80.
16. **Morgun, S. A., Kairov, A. S.** *Ekspyrymental'noe issledovanie svobodnykh kolebaniy lopatok gasoturbinnogo dvigatelya* [The experimental investigation of gas turbine engine blades free oscillations]. *Methods of solving applied problems in solid mechanics. Dnepropetrovs'k: Lira*, 2011, **12**, 224-229.

Сведения об авторах (About authors)

Моргун Сергей Александрович – кандидат технических наук, ассистент Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, кафедра Инженерной механики и технологии машиностроения; г. Николаев, Украина; e-mail: technolognuk@rambler.ru.

Sergei Morgun – Ph. D (Tech.), Assistant, National university of shipbuilding named after admiral Makarov, Department of Engineering mechanics and technology of machine building, Nikolaev, Ukraine; e-mail: technolognuk@rambler.ru.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Моргун, С. А. Усовершенствование конечно-элементных моделей лопаточных конструкций / **С. А. Моргун** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 86-91. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.14.

Please cite this article as:

Morgun, S. The blades constructions finite elements models development. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 86–91, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Моргун, С. О. Удосконалення скінченно-елементних моделей лопаткових конструкцій / **С. О. Моргун** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 86-91. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.14.

АНОТАЦІЯ Викладено методику побудови уточненої скінченно-елементної моделі лопаткових конструкцій, що мають значне розповсюдження в енергомашинобудуванні. З використанням розроблених тривимірних криволінійних скінчених елементів вирішено задачу визначення частот власних коливань робочих лопаток турбіни. Отримано кращу збіжність чисельного рішення порівняно з використанням розповсюджених типів скінчених елементів. Також результати чисельного розрахунок добре узгоджуються з експериментальними даними.

Ключові слова: тривимірні скінчені елементи; лопатки турбомашин; частоти власних коливань; чисельне рішення; збіжність, експериментальні дані.

Поступила (received) 25.11.2016

УДК 536.2.022

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15

КОМПОЗИЦІЙНА ВИСОКОПОРИСТА ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ З ЕФЕКТИВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОРИСТОСТІ

А. М. ПАВЛЕНКО¹, А. О. ЧЕЙЛИТКО^{2*}, М. А. НОСОВ²

¹ Кафедра фізики будівель та відновлювальної енергії, Келецький технологічний університет, Кельце, ПОЛЬЩА

² Кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя, УКРАЇНА

*email: cheilytko@i.ua

АНОТАЦІЯ. Виконано емпіричні дослідження композиційного матеріалу, складовими частинами якого є вогнетривка вата вкрита тонким шаром алюмінію та алюмінієва фольга. Для покращення теплофізичних властивостей композиційного матеріалу в ваті були зроблені комірки параболоїдної форми після чого на деформовану поверхню нанесено тонкий шар алюмінію. Загальна ширина експериментальних зразків складала 5 мм. За допомогою методу планування експерименту знайдено оптимальні геометричні розміри комірок, при яких досягається коефіцієнт теплопровідності 0,226 Вт/(м·К).

Ключові слова: композиційний матеріал; вогнетривка вата; алюміній; комірка; коефіцієнт теплопровідності.

COMPOSITIONAL HIGHLY POROUS THERMAL INSULATION WITH EFFECTIVE POROSITY PARAMETERS

A. PAVLENKO¹, A. CHEILYTKO^{2*}, M. NOSOV²

¹ Department of building physics and renewable energy, Kielce University of Technology, Kielce, POLAND

² Department of Heat and power engineering, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporizhzhya, UKRAINE

ABSTRACT In this work, thermal insulation material which consists of the fireproof wool covered by a thin aluminum layer and the aluminum foil was investigated. The objective was to determine effective porosity parameters for composite heat insulation by which a minimum thermal conductivity will be obtained. According to the objective, following tasks were formulated: make the empirical research with different porosity parameters; find regression equation of dependence of the material thermal conductivity on the geometric dimensions; analyze and verify the importance of factors; obtain the optimal porosity parameters for composite heat insulation material. To improve the thermal properties of the composite material, in the wool were made cells with paraboloid shape and then surface was covered by thin layer of aluminum. Cells were made by pressing method. The total width of the experimental samples was 5 mm. The depth of the cell was 4 mm, thickness of the aluminum foil was 0,2 mm. The thermal conductivity of the material was measured using a thermal conductivity meter IT-λ-400. The optimal geometric values of the cell in composite material were obtained by the regulatory simplex algorithm (cell length 7,6074 mm, cell thickness 12,534 mm). At the optimal geometric values, the following thermal conductivity coefficient was achieved – 0,226 W/(m·K). Set tasks were completed in full. The obtained results can be introduced into existing production technologies of composite sandwich panels, for example in the sandwich panels by Rockwool company. Also it can be serve as a basis for the development of more modern materials. Composite materials with such cell structure will be more effective in comparison with usual non cell materials.

Keywords: composite material; fireproof wool; aluminum; cell; thermal conductivity.

Вступ

Теплова ізоляція є невід'ємною частиною великої кількості галузей. Композиційна теплова ізоляція, на відміну від металеві та неметалевої, є більш універсальною. Вона може бути використана: в якості теплоізоляційних плит для фасадів споруд, що надасть можливість уникнути ряду оздоблювальних робіт та подовжити термін її використання; в авіа-, судно- та ракетобудуванні як частина корпусу, що дозволить зменшити теплові втрати, досягти більшої монолітності корпусу та зменшити сумарну вагу за рахунок вдосконалення каркасної структури; в якості теплових екранів для високотемпературних процесів і т.д. Створення високопористих композиційних теплоізоляційних матеріалів є актуальною сучасною задачею енергозбереження. Встановлення ефективних параметрів пористості надасть новий поштовх для

розвитку таких матеріалів та дозволить в більшій мірі використовувати їх потенціал.

Мета та завдання

Виконані дослідження ставили за мету визначити ефективні параметри пористості для розглянутої композиційної теплової ізоляції, при яких можна отримати мінімальну теплопровідність.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

- провести емпіричні дослідження з різними параметрами пористості;
- знайти регресійне рівняння залежності коефіцієнта теплопровідності матеріалу від геометричних розмірів;
- проаналізувати та перевірити коефіцієнти на значимість;

- отримати оптимальні геометричні значення комірки для композиційного матеріалу.

Огляд літератури

Композиційні матеріали на основі вогнетривкої вати та металевих листів вже давно зайняли свою нішу на світовому ринку теплоізоляційних матеріалів. Дедалі більше компаній займається виготовленням композиційних сандвіч панелей на основі вати та ще більша кількість їх використанням в різноманітних галузях.

Всесвітньо відома компанія Rockwool займається виготовленням композиційних сандвіч панелей з різноманітними конфігураціями. Такі панелі складаються з алюмінієвих або сталевих листів котрі за допомогою спеціального клею приєднуються до вогнетривкої вати. Дана продукція позиціонується компанією як матеріал для використання в комерційному та промисловому будівництві, а саме для зовнішніх стін, дахів та стельових панелей [1]. Такий матеріал володіє не тільки чудовими теплоізоляційними характеристиками, а й звукопоглинаючою властивістю та вогнетривкістю. Яскравим прикладом використання панелей є міський стадіон у місті Кардіфф.

В [2] досліджено структурні характеристики композитних панелей в основі яких лежить бетон з гумовою крихтою. Експериментально доведено, що міцність зразку з бетону та гумової крихти більше за чистий бетон. Детально розглянуто технологію виробництва такого матеріалу. Але не нема жодних теплофізичних характеристик отриманого композиту.

В [3] детально розглянуто полімерні матричні композити. Надано аналіз технологій їх виробництва, різновидів, способів використання та шляхи їх розвитку. Представлено теплофізичні характеристики таких матеріалів. Однак не надано інформації щодо впливу параметрів пористості на коефіцієнт теплопровідності.

В [4] розглянуто такі композитні теплоізоляційні матеріали як алюмосилікатне волокно з вкрапленнями волокон $K_2Ti_6O_{13}$ та аерогель SiO_2 з вкрапленнями титанових волокон. Представлені результати демонструють низький коефіцієнт теплопровідності при високих температурах. Однак технологія виробництва та сировина для таких матеріалів є вкрай затратними. Також не надано інформації щодо міцності таких матеріалів.

В [5] досліджено багат шарову композитну теплову ізоляцію для без вакуумної криогенної техніки. Розглянута ізоляція позиціонується як матеріал для використання на складних трубопроводах і резервуарах, де використання звичайних матеріалів не можливо. Складається з декількох функціональних шарів, система "ковдра" на основі аерогелю. Кожен шар складається з безпосередньо самої ізоляції на шару радіаційного бар'єру. Однак така ізоляція підходить для використання в діапазоні температур 4-400 К.

В [6] проведено дослідження екологічних сандвіч панелей з пробки, волокон льону та натуральної епоксидної смоли. В якості експериментальних зразків взято чотири системи з різноманітними комбінаціями шарів. Розглянуто теплофізичні властивості таких матеріалів. Однак не проаналізовано можливість використання шарів з комірками, що дозволило б ще більше зменшити вагу та поліпшити коефіцієнт теплопровідності.

В [7] наведена класифікація пористих теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто різноманітні способи дослідження цих матеріалів та вплив пористості на теплопровідність. Однак не було приділено належної уваги впливу параметрів пористості, а саме формі, розміру та способу розташування пор.

В [8] проаналізовано ефективність декількох типів композитної ізоляції для зовнішніх стін. Запропоновано використовувати цеглу у поєднанні з матеріалами котрі володіють високою відбивною здатністю. Наведено позитивні та негативні риси для обох випадків. В роботі були використані вже існуючі матеріали зі стандартними конфігураціями та не було проаналізовано можливість покращення запропонованої ізоляції шляхом варіювання параметрами пористості.

В [9] пропонується поєднання гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа по схемі зображеної на рисунку 1. Металевий лист 1 товщиною 0,127 мм припаюється до металеві поверхні кераміки 2. Поєднання високої жароміцності сталі і здатності ізоляційних властивостей кераміки забезпечують міцну і водовідштовхувальну систему теплового захисту, яку можна використовувати в суворих погодних і експлуатаційних умовах. Припій виконується з мідного або срібного сплаву, який має титан у якості агента, що змочує. В патенті US5000986 також описано спосіб приєднання жорсткої кераміки і металів один до одного шляхом утворення металізованих покриттів на кераміці при високих температурах.

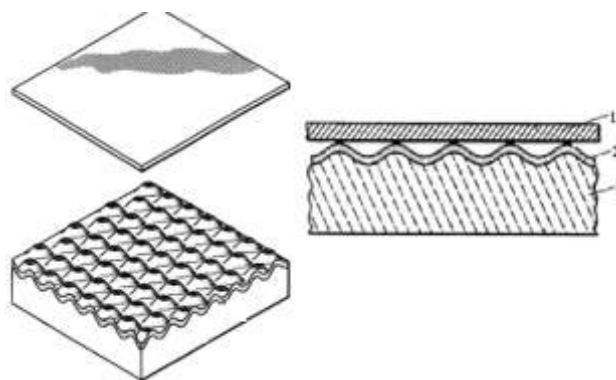


Рис. 1 – Композиційний теплоізоляційний матеріал з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа: 1 – металевий лист; 2 – металеве покриття; 3 – керамічна теплоізоляція

В [10, 11] досліджено вплив параметрів пористості на теплофізичні характеристики як металевих так і не металевих теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто випадки з різною формою і способами розташування пор.

Основна частина

Для знаходження оптимальних параметрів розмірів комірки було використано метод планування експерименту [12]. Для розробки тестових зразків було обрано алюмінієву фольгу товщиною 0,2 мм, яка клеїлася на вогнетривку вату вкриту тонким шаром алюмінію. Загальна ширина отриманих зразків композиційного матеріалу складала 5 мм. Комірочки робилися пресуванням (стисканням) вогнетривкої вати до вкривання її шаром алюмінію. Розміри комірки робилися згідно умов проведення експерименту по таблиці 1. Шириною комірки вважається розмір комірки перпендикулярний площини гравітаційних сил, а довжиною комірки вважається розмір комірки який знаходиться в одній площині з гравітаційними силами. Глибина комірки робилася 4 мм. Форма комірки у вигляді параболоїду.

Таблиця 1 – Умови проведення експерименту по вдосконаленню матеріалу з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа

Фактор	Код	Рівні факторів					
		-1,414	-1	0	1	1,414	Δ
Довжина комірки, мм	X ₁	1,172	2	4	6	6,828	2
Ширина комірки, мм	X ₂	10,172	10	12	14	14,828	2

Методом планування експерименту знайдено регресійне рівняння залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від геометричних розмірів комірки. Теплопровідність матеріалу вимірювалася за допомогою вимірювача теплопровідності IT-λ-400. Результати по визначенню залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від розмірів комірок внесено в таблицю 2.

Після обробки отриманих експериментальних даних та перевірки коефіцієнтів на значимість по t-критерію Стьюдента було отримано наступне рівняння регресії

$$Y = 0,269 - 0,011X_1^2 - 0,018X_2 + 0,015X_2^2 - 0,00725X_1X_2.$$

Аналіз даного рівняння регресії показує що ширина комірки сильніше впливає на зміну коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа. Обрані чинники не лінійно та неоднозначно впливають на вихідний параметр.

Таблиця 2 – Результати проведення експерименту по визначенню залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від розмірів комірок

№	X ₁	X ₂	Y
1	1	1	0,252
2	-1	1	0,276
3	1	-1	0,296
4	-1	-1	0,291
5	-1,414	0	0,249
6	1,414	0	0,235
7	0	-1,414	0,324
8	0	1,414	0,264
9	0	0	0,270
10	0	0	0,268

Для отримання оптимальних розмірів складемо цільову функцію

$$Y(X_1, X_2) = 0,269 - 0,011X_1^2 - 0,018X_2 + 0,015X_2^2 - 0,00725X_1X_2 \rightarrow \min.$$

Знайдемо для даної цільової функції приватні похідні

$$\begin{cases} \frac{\partial Y(X_1, X_2)}{\partial X_1} = -0,022X_1 - 0,00725X_2; \\ \frac{\partial Y(X_1, X_2)}{\partial X_2} = -0,018 + 0,03X_2 - 0,00725X_1. \end{cases}$$

Прирівнявши дану систему до нуля отримаємо наступну систему рівнянь

$$\begin{cases} -0,022X_1 - 0,00725X_2 = 0; \\ 0,03X_2 - 0,00725X_1 - 0,018 = 0. \end{cases}$$

Рішення даної системи дає наступний результат

$$\begin{cases} X_1 = -0,183; \\ X_2 = 0,556. \end{cases}$$

Таким чином екстремумом цільової функції є точка з координатами $x^* = [-0,183; 0,556]^T$. Значення цільової функції у цих координатах 0,264.

Для визначення характеру стаціонарної точки складемо визначник матриці Гессе. Під визначником Гессе розуміється визначник, складений із других похідних вихідної цільової функції

$$\nabla^2 f(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial X_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_1 X_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_1 X_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial X_2 X_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_2 X_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial X_n X_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_n X_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_n^2} \end{bmatrix}$$

Другі приватні похідні цільової функції

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} = -0,022; \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} = -0,00725;$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_2 X_1} = -0,00725; \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} = 0,03.$$

Матриця Гессе

$$\nabla^2 Y(X) = \begin{bmatrix} -0,022 & -0,00725 \\ -0,00725 & 0,03 \end{bmatrix} = -0,00791.$$

Так як гессіан має значення менше за нуль, але не виконуються умови Сильвестра (усі діагональні елементи матриці Гессе - позитивні величини, всі провідні головні визначники позитивні величини) то знайдена точка є стаціонарною й не являється точкою ні мінімуму, ні максимуму.

Для отримання мінімальних значень цільової функції використаємо метод регуляторного симплексу. Так як цільова функція лежить у двомірному просторі, то у якості регуляторного симплексу буде трикутник.

Оберемо за початкову точку $x_0 = [-1; +1]$ та масштабний множник $\alpha = 1$;

Ребра регуляторного симплексу складуть:

$$\delta_1 = \left[\frac{\sqrt{N+1} + N - 1}{N \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot \alpha = \left[\frac{\sqrt{3} + 1}{2\sqrt{2}} \right] \cdot 1 = 0,9659;$$

$$\delta_2 = \left[\frac{\sqrt{N+1} - 1}{N \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot \alpha = \left[\frac{\sqrt{3} - 1}{2\sqrt{2}} \right] \cdot 1 = 0,2588.$$

Координати інших двох вершин:

$$x^{(1)} = [-0,0341; 1,2588]; \quad x^{(2)} = [-0,7412; 1,9659].$$

Після знаходження значень функцій та відображаючи вершину з максимальним значенням функції через центр тяжіння симплексу, використовуючи правила симплекс-методу, на дев'ятій ітерації знайдено вершину з мінімальним значенням функції. Досягнута точність

$$\varepsilon = |f(x^{(8)}) - f(x^{(7)})| = 0,0045.$$

Мінімальна функція $f(x^{(7)}) = 0,226$ досягається у вершині з наступними координатами $x^{(7)} = [1,8037; 0,267]$.

Результати досліджень

Методом регуляторного симплексу отримано оптимальні геометричні значення комірки композиційного матеріалу, які становлять наступні значення у кодованому вигляді $X_1 = 1,8037$ та $X_2 = 0,267$. У розкданому значенні, оптимальні геометричні розміри комірки становлять: довжина

комірки 7,6074 мм; товщина комірки 12,534 мм. Теплопровідність матеріалу при таких геометричних параметрах комірок складає 0,226 Вт/(м·К).

Висновки

В роботі проведено емпіричні дослідження композиційної теплової ізоляції з різними параметрами пористості. Складено рівняння регресія та виявлено найсуттєвіші фактори впливу. Знайдено ефективні параметри пористості (довжина комірки 7,6074 мм; товщина комірки 12,534 мм) при яких досягається коефіцієнт теплопровідності 0,226 Вт/(м·К). Таким чином поставлені задачі виконані в повній мірі. Отримані результати можуть бути впроваджені у вже існуючі технології виробництва композиційних сандвіч панелей або слугувати базисом для розробки більш сучасних матеріалів.

Список літератури

1. Sandwich panels. General Product Information. / ROCKWOOL Asia – 2013. – 2 p. Режим доступу: <http://www.rockwoolasia.com/products+and+solutions/u/2011.construction/9890/External+walls/Sandwich+panels>
2. **Ma, X.** Structural performance of composite panels filled with light-weight crumb rubber concrete / **X. Ma, J.E. Mills** // *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*. Byron Bay, Australia, – 2014. – P. 669-674.
3. **Wang, R.** Polymer Matrix Composites and Technology / **R. Wang, S. Zheng, Y. George Zheng** // *A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. – 2011. – 549 p. ISBN: 978-0-85709-221-2
4. **Yanjun, Yu.** The research and development of heat insulation materials with low thermal-conductivity in high temperature. / **Yu Yanjun** // *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*. – 2015. – P. 868-871.
5. **Fesmire, J. E.** Layered composite thermal insulation system for nonvacuum cryogenic applications / **J.E. Fesmire** // *2015 Space Cryogenics Workshop*. – 2015. – Vol. 74. – P. 154-165. doi: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.008.
6. **La Rosa, A. D.** Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications / **A. D. La Rosa, A. Recca, A. Gagliano, J. Summerscales, A. Latteri, G. Cozzo, G. Cicala** // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 55. – P. 406-414.
7. **Volkovich, Y.** Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology / **Y. Volkovich, A. Filippov, V. Bagotsky** // *Springer-Verlag London*. – 2014. – 328 p. doi 10.1007/978-1-4471-6377-0.
8. **Mei Liu, H.** Research Progress of Composite Thermal Insulation Wall in Hot Summer and Cold Winter Zone of China / **H. Mei Liu, Ch. Qun Wu, Y. Bin Xu, A. Dong Zhu** // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vols 919-921. – P. 1725-1729. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.919-921.1725
9. **Rasky, D. J.** Flexible ceramic-metal insulation composite and method of making. / **D. J. Rasky, P. M. Sawko, P. Kolodziej, D. A. Kourtides** // Patent US5744252. – 28.04.1998.

10. **Павленко, А.М.** Влияние расположения пор на электронную теплопроводность пористого металлического материала / **А.М. Павленко, А.В. Кошлак, А.А. Чейлытко, М.А. Носов** // *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: збірник наукових праць*. – 2015. – № 7. – С. 142 – 149.
11. **Чейлытко, А.А.** Особенности влияния пористости на теплопроводность глиноземистых материалов / **А.А. Чейлытко** // *Дніпропетровськ: Середняк Т.К.* – 2015. – 76 с. ISBN 978–617–7257–62–1
12. **Хартман, К.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / **К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер** // М. : Мир. – 1977. – 552 с.
5. **Fesmire, J. E.** Layered composite thermal insulation system for nonvacuum cryogenic applications. 2015 Space Cryogenics Workshop, 2015, **74**, 154-165. doi: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.008.
6. **La Rosa, A. D., Recca, A., Gagliano, A., Summerscales, J., Latteri, A., Cozzo, G., Cicala, G.** Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications. *Construction and Building Materials*, 2014, **55**, 406-414.
7. **Volfkovich, Y., Filippov, A., Bagotsky, V.** Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology. *Springer-Verlag London*, 2014, 328 p. doi: 10.1007/978-1-4471-6377-0.
8. **Mei Liu, H., Qun Wu, Ch., Bin Xu, Y., Dong Zhu, A.** Research Progress of Composite Thermal Insulation Wall in Hot Summer and Cold Winter Zone of China. *Advanced Materials Research*, 2014, **919-921**, 1725-1729, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.919-921.1725.
9. **Rasky, D. J., Sawko, P. M., Kolodziej, P., Kourtides, D. A.** Flexible ceramic-metal insulation composite and method of making. Patent US5744252, 28.04.1998.
10. **Pavlenko, A. M., Koshlak, A. V., Chejlytko, A. A., Nosov, M.A.** Vlijanie raspolozhenija por na jelektronnuju teploprovodnost' poristogo metallicheskogo materiala. *Tehnichna teplofizika ta promislova teploenergetika: zbirnik naukovih prac'*, 2015, **7**, 142 – 149.
11. **Chejlytko, A. A.** Osobennosti vlijaniya poristosti na teploprovodnost' glinozemistykh materialov. *Dnipropetrovs'k: Serednjak T.K.*, 2015, 76 s. ISBN 978–617–7257–62–1
12. **Hartman, K., Leckij, Je, Shefer, V.** Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov Moskow: Mir, 1977, 552 p.

Bibliography (transliterated)

1. Sandwich panels. General Product Information. ROCKWOOL Asia, 2013, 2p. Available at: <http://www.rockwoolasia.com/products+and+solutions/u/2011.construction/9890/External+walls/Sandwich+panels>
2. **Ma, X., Mills, J.E.** Structural performance of composite panels filled with light-weight crumb rubber concrete. 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials. Byron Bay, Australia, 2014, 669-674.
3. **Wang, R., Zheng, S., George Zheng Y.** Polymer Matrix Composites and Technology. A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2011, 549 p. ISBN: 978-0-85709-221-2
4. **Yanjun, Yu.** The research and development of heat insulation materials with low thermal-conductivity in high temperature. *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*. 2015, 868-871.

Відомості про авторів

Павленко Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор, кафедра фізики будівель та відновлювальної енергії, Кельцький технологічний університет; м. Кельце, Польща; e-mail: prof.pavlenko@gmail.com

Anatoliy Pavlenko – doctor of Technical Sciences, professor, Department of Building Physics and Renewable Energy, Kielce University of Technology; Kielce, Poland; e-mail: prof.pavlenko@gmail.com

Чейлытко Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія; м. Запоріжжя, Україна; email: cheilytko@i.ua

Andrii Cheilytko – candidate of technical sciences, associate professor, doctoral candidate, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine; email: cheilytko@i.ua

Носов Максим Андрійович – аспірант, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія; м. Запоріжжя, Україна; email: nosovmak@gmail.com

Maksym Nosov – phd student, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine; email: nosovmak@gmail.com

Будь ласка посилайтеся на цю статтю таким чином:

Павленко, А. М. Композиційна високопориста теплова ізоляція з ефективними параметрами пористості / **О.М.Павленко, А. О. Чейлітко, М. А. Носов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 92-96. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

Please cite this article as:

Pavlenko, A., Cheilytko, A., Nosov, M. Compositional highly porous thermal insulation with effective porosity parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 92–96, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Павленко, А. М. Композиционная высокопористая тепловая изоляция с эффективными параметрами пористости / **А. М. Павленко, А. О. Чейлытко, М. А. Носов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 92-96. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

АННОТАЦІЯ Виконані емпіричні дослідження композиційного матеріала, складовими частинами якого являються огнеупорная вата покрита тонким шаром алюмінія і алюмінієва фольга. Для удосконалення теплофізических свойств композиційного матеріала в ваті були зроблені ячейки параболоїдної форми після чого на деформовану поверхню нанесено тонкий шар алюмінія. Конечная толщина експериментальних образців склали 5мм. С помощью метода планирования експеримента найдены оптимальные геометрические размеры ячеек, при которых достигается коэффициент теплопроводности 0,226 Вт/(м·К).

Ключевые слова: композиційний матеріал; огнеупорная вата; алюміній; ячейка; коэффициент теплопроводности.

Надійшла (received) 15.12.2016

УДК 621.774

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.16

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПИЛЬГЕРНОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

С. В. ПИЛИПЕНКО

Докторант кафедры УП НМетАУ, Днепр, УКРАИНА
e-mail: 44-08@mail.ru

АННОТАЦИЯ Процесс холодной пильгерной валковой прокатки широко применяется для производства холодно - и теплодеформированных прецизионных труб широкого спектра марок сталей и сплавов. В процессе ХПТ применяют холодную, теплую, безэмульсионную виды прокатки. Процесс ХПТ характеризуется большой динамичностью, в современных станах количество двойных ходов достигает 280 и более ходов в минуту. Даже при относительно небольших величинах подачи (2-4 миллиметра), учитывая длину конуса деформации (300-500 мм), металл деформируется в достаточно жестких условиях. Это может вызывать значительные тепловыделения от пластической деформации. Причем эта температура выделяется в мгновенном очаге деформации за считанные доли секунды. Все это необходимо учитывать при расчете силовых и деформационных параметров этого процесса.

В статье рассмотрены основные существующие на данный момент зависимости, позволяющие правильно рассчитать тепловыделения от пластической деформации при данном виде ОМД. Также рассмотрены зависимости, позволяющие учесть тепловые потери от конвекции и теплопередачи. На основе имеющихся зависимостей предложен свой метод расчета тепловыделений, позволяющий более точно учитывать особенности процесса ХПТ. Результаты расчетов проверены в ходе практики холодной пильгерной валковой прокатки и доказывают действенность метода.

Ключевые слова: Холодная пильгерная прокатка; пластическая деформация; мгновенный очаг деформации; тепловыделения; безэмульсионная прокатка.

CALCULATION METHOD FOR HEAT EMISSION DURING PLASTIC SHAPING IN COLD PILGER ROLLING OF PIPES

S. V. PILIPENKO

Doctoral student in Project Management NMetAU, Dnepr, UKRAINE

ABSTRACT The process of cold pilger rolling is widely used for manufacturing cold and hot deformed precision pipes of a wide range of alloys and steel grades. Cold and hot rolling as well as rolling without emulsion are used in the cold pilger rolling, process. It is very dynamic nowadays and modern mill permit lip to more than 280 double movements per minute. In spite of relatively small feed (2 -4 mm) and considering the deformation cone length (300 - 500 mm), metal is shaped in rather tough conditions. That can cause a considerable amount of heat in the plastic shaping process and the temperature in the deformation site rises in a split second, which should be considered in calculating force and deformation parameters of the process.

The article gives the detailed analysis of the main existing relations, which permits to calculate properly the amount of heat emitted in plastic shaping process under OMD. The relations which allow to take into account heat losses caused by convection and heat transmission, have been analyzed as well. The new calculation method is based on these relations. The method proposed permits to reckon more precisely peculiarities of cold pilger rolling process. The calculations results have been checked in practice process of cold pilger rolling and prove the method efficiency.

Keywords: Cold pilger rolling; plastic shaping; instantaneous deformation site; heat emission; rolling without emulsion.

Постановка проблемы

Холодная пильгерная валковая прокатка (ХПТ) является процессом периодического действия, параметры которого изменяются вдоль конуса деформации в следствие изменения геометрических параметров деформируемого инструмента. Этот процесс широко применяется для производства холодно - и теплодеформированных прецизионных труб широкого спектра марок сталей и сплавов. Кроме холодной и теплой прокатки в процессе ХПТ применяют безэмульсионную прокатку, когда трубы прокатываются без применения охлаждающей эмульсии, а только лишь с нанесением солевой смазки вне стана.

Процесс ХПТ характеризуется большой динамичностью, даже в станах старой конструкции имелась возможность прокатки труб со скоростью 100-120 двойных ходов клетки в минуту. В современных станах количество двойных ходов достигает 280 и более ходов в минуту, это может вызывать значительные тепловыделения от пластической деформации. Причем эта температура выделяется в мгновенном очаге деформации за считанные доли секунды.

При применении эмульсии эти тепловыделения отбираются, и температура конуса не превышает 60-70 градусов, однако в мгновенном очаге вызванные тепловыделения могут значительно повлиять на силовые и деформационные параметры процесса

деформации. Кроме этого, скорость деформации, в свою очередь влияет на изменение механических характеристик.

Анализ публикаций

Вопросам величины учета тепловыделений входе пластической уделялось значительное внимание. Известно, что выделение тепла при адиабатических условиях пластического течения пропорционально накоплению пластической деформации [1 - 4]:

$$\Delta T_{\text{оэф}} = \frac{\sigma_T \dot{\epsilon}_i \tau_n}{c \cdot \rho} \quad (1)$$

где c - удельная теплоемкость металла заготовки Дж/(кг·град); ρ - плотность металла; $\dot{\epsilon}_i$ - интенсивность скорости деформации; τ_n - время процесса.

В процессах остаточной пластической деформации, по существу, вся энергия деформации превращается в тепло, и поэтому такие процессы необратимы [6]. Энергия упругой деформации в данном случае очень мала и может быть приравнена нулю. Поэтому можно считать:

$$Q_{\text{оэф}} = \frac{1}{A} \int_{\epsilon_0}^{\epsilon_i} \sigma_i d\epsilon \quad (2)$$

При этом, в условиях адиабатического процесса:

$$\Delta T_{\text{оэф}} = \frac{Q_{\text{оэф}}}{\rho \cdot C_T} \quad (3)$$

Из [4], компоненты тензора деформации для осесимметричного напряженного состояния можно посчитать из зависимостей:

$$\epsilon_x = a \quad (4)$$

$$\epsilon_\rho = \frac{a}{2} \left(1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) \quad (5)$$

$$\epsilon_\theta = \frac{a}{2} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) \quad (6)$$

где a - вытяжка; r и R - внешний и внутренний диаметр трубы.

Интенсивность скорости деформации при объемном осесимметричном НДС можно определить по формуле [5]:

$$\dot{\epsilon}_i = \epsilon_x \sqrt{1 + \frac{K^2}{3}} \quad (7)$$

где $K = (\epsilon_x - \epsilon_\theta) / \epsilon_r$

Температура выделяемая от работы сил поверхностного трения:

$$\Delta T_{\text{тр}} = \frac{f \cdot F_k \cdot V_{\text{мет}} P_{\text{ср}}}{2(D_{\text{ов}} - D_i) \lambda} \quad (8)$$

где f - к-т. трения; F_k - площадь контакта; λ - теплопроводность.

В ходе пластической деформации наблюдаются тепловые потери - это потери от теплоизлучения, потери от теплопередачи на рабочий инструмент и, в случае применения охлаждения, тепло отбирается охлаждающей жидкостью. Величину этих потерь можно учесть в той или иной степени.

Из [7] потери от теплоизлучения равны:

$$\Delta T_{\text{ном}} = 1,07 \frac{C_u \cdot C_0 \frac{T}{100} F_u (\tau_u - \tau_n)}{3600 \rho \cdot M_{\text{мет}}} \quad (9)$$

где C_u - степень черноты металла; C_0 - к-т. излучения абсолютно черного тела; F_u - площадь излучения; $M_{\text{мет}}$ - масса металла; τ_u - время двойного хода.

Падение температуры от теплопередачи на валки [6]:

$$\Delta T_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot F_k (T_{\text{мет}} - T_{\text{вал}}) (\tau_u - \tau_n) \alpha}{M_{\text{мет}} C_T} \quad (10)$$

где S_i - толщина стенки в сечении; α - к-т. теплоотдачи; P - удельный вес (кг/см³).

Как показывают исследования авторов, температура калибров при безэмульсионной прокатке ниже температуры поверхности конуса на 30-45 градусов, при применении эмульсии температура калибров находится в пределах 40-50 градусов.

Целью исследований является дальнейшее развитие метода расчета тепловыделений от пластической деформации при холодной пыльгерной прокатке труб с целью более точного учета особенностей этого процесса деформации.

Основной материал

Как известно, при пыльгерной прокатке соблюдается следующее основное правило: обжатие трубы вдоль конуса деформации за цикл равно разнице геометрических параметров в рассматриваемом сечении, и сечении, которое отстает от него на такое расстояние (Δx), при котором объем металла, помещающийся между этими сечениями, равен объему подачи: (рис. 1) [1-3, 10].

Величина Δx в начале конуса равна величине подачи, а в конце конуса - полному линейному смещению за цикл. Изменение величины Δx вдоль

конуса деформации (рис. 2) можно определить из зависимости [8]:

$$\Delta x = \frac{\sqrt{S_x + 2(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) \frac{m S_3 (S_3 - D_3)}{D_x - S_x}} - S_x}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha} \quad (11)$$

где S_x – толщина стенки трубы в сечении; $\operatorname{tg} \gamma$ и $\operatorname{tg} \alpha$ – конусности развертки калибра и оправки на участке.

В данном случае то, что применимо к деформационным параметрам, можно применить к тепловым (рис. 3). Рассчитывая приращение температуры от цикла к циклу вдоль всего конуса (с учетом потерь), суммируя данные величины от сечения к сечению (рис. 3), можно довольно точно определить изменение температуры металла в ходе ведения процесса периодической прокатки:

$$T_x = T_{x-\Delta x} + \Delta T_x - \Delta T_{nom} \quad (12)$$

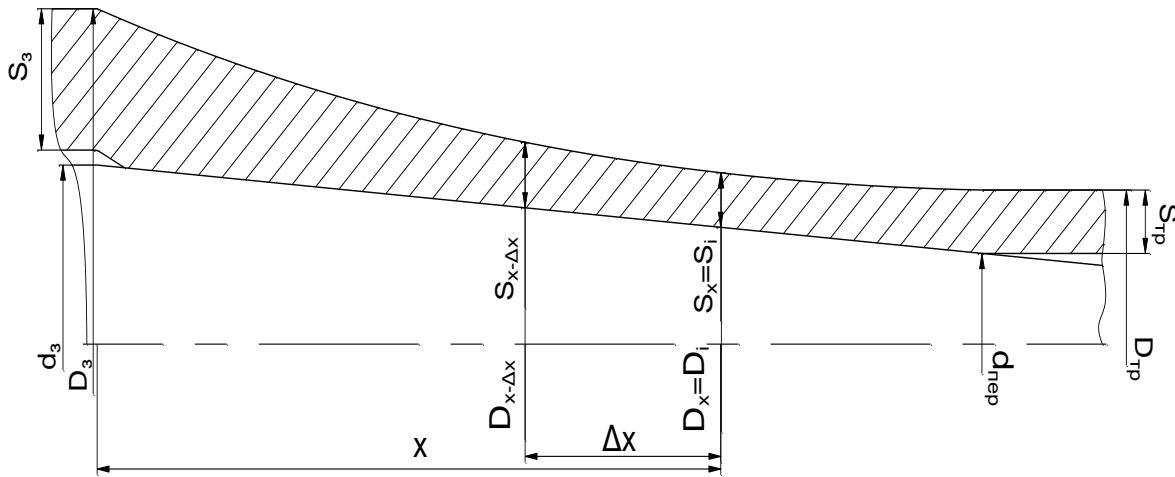


Рис. 1. – Схема к расчету величины обжатия вдоль конуса деформации при пильгерном процессе [10]

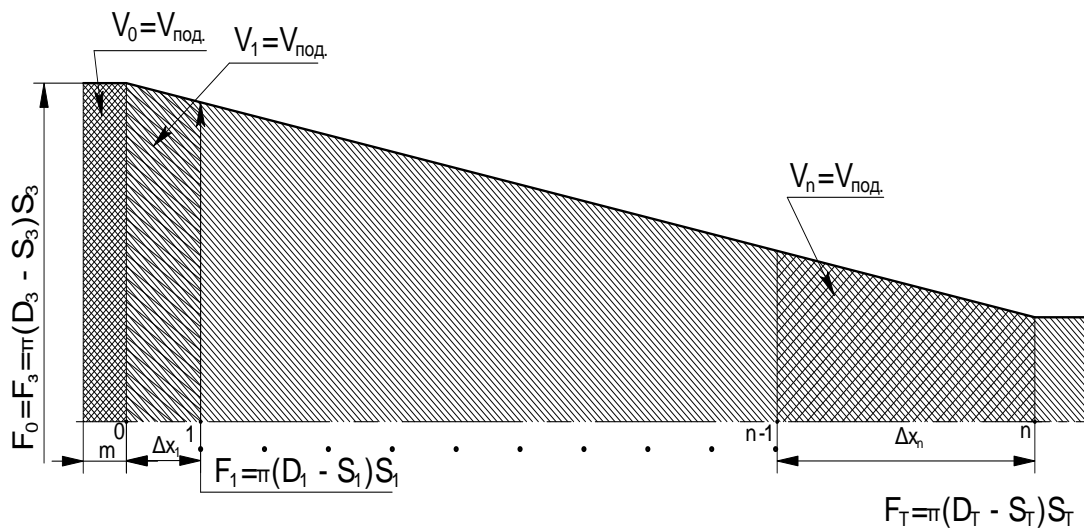


Рис. 2. – К определению числа циклов обжатий при периодической прокатке [10]

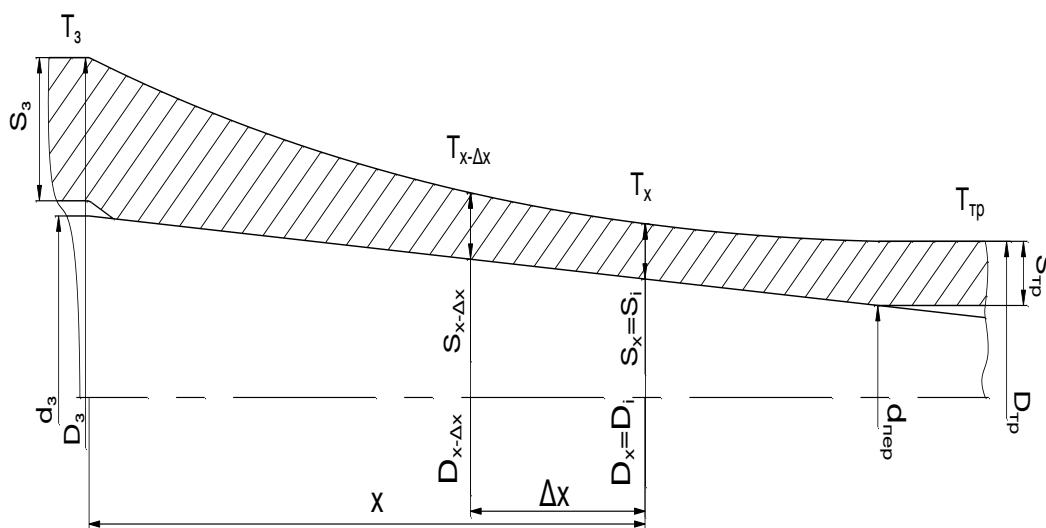


Рис. 3. – Схема к расчету величины приращения температуры металла в сечениях конуса деформации при пильгерном процессе

Расчет температуры в сечениях конуса деформации с применением формулы (12) выглядит следующим образом: рассчитываются изменения всех геометрических и деформационных параметров вдоль конуса деформации [9, 10]; рассчитываются изменения величины Δx (ф. 11) от сечения 0 (входа металла в конус деформации) до сечения n (рис. 3) (выхода металла из конуса деформации); определяются приращения температуры от тепловыделений из-за пластической деформации (ф. 1 или ф. 3) и поверхностного трения в сечениях x (ф. 8); пошагово, от сечения $x-\Delta x$ до соответствующего ему сечению x (рис. 3), начиная от сечения входа рассчитываются значения температуры (ф. 12) начиная от заданной величины температуры заготовки; корректируются величины потерь на конвекцию, и теплопередачу (ф. 9 и 10).

Для анализа корректности работы модели выбран маршрут прокатки труб из титанового сплава Gr-2 на стане ХПТ-32 - 25x3-16,15x1,63. Использовалась безэмульсионная прокатка. Была

рассчитана калибровка, на станках с ЧПУ изготовлен инструмент.

В ходе прокатки, пирометром с лазерным прицелом, произведены замеры температуры наружной поверхности конуса в трех характерных для калибровки точках (табл. 1): начале конуса деформации; двух точках вдоль зоны обжатия и в центре зоны калибровки. Точки выбраны из расчета более точного определения их места расположения на конусе деформации.

Далее, из параметров калибровки, согласно предложенного метода, рассчитано все необходимые геометрические, кинематические и силовые параметры, и как результат – смоделировано изменение величины температуры конуса деформации в контрольных сечениях зоны редуцирования и обжатия стенки (рис. 4).

Как видно из результатов моделирования (рис. 4), линия тренда значений замеров совпадает с результатами моделирования в достаточной для использования предложенного метода мере.

Таблица 1 - Температура в зонах конуса деформации при прокатке труб из сплава Gr 2 по маршруту 25x3-16,15x1,63 (подача 4 мм, 60 дв. ход.)

№ трубы от начала процесса прокатки	Колебания температуры поверхности трубы в зонах конуса деформации °С			
	Зона редуцирования (40-45 мм*)	Зона обжатия стенки (90-95мм*)	Зона обжатия стенки (200-205 мм*)	Зона калибровки (середина зоны)
4 и далее	120-132	207-219	242-259	101-112

* - расстояние от начала конуса деформации.

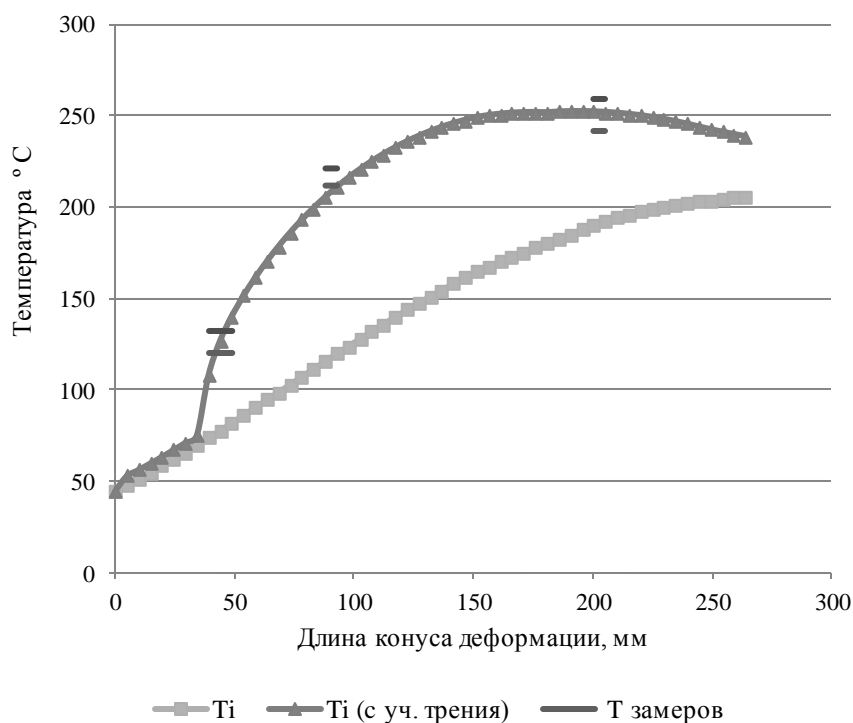


Рис. 4. – Результаты моделирования изменения температуры наружной поверхности конуса деформации в зонах редуцирования и обжатия стенки при прокатке трубы из титанового сплава Gr-2 на стане ХПТ-32 по маршруту - 25x3-16,15x1,63

Выводы

В статье предложено новый путь развития метода расчета тепловыделений от пластической деформации при холодной пильгерной прокатке труб. На основе имеющихся зависимостей предложен свой метод расчета тепловыделений, позволяющий более точно учитывать особенности процесса ХПТ. Результаты расчетов проверены в ходе практики холодной пильгерной валковой прокатки труб из титановых сплавов, что доказывают действенность метода. Из результатов моделирования величины тепловыделений можно сделать выводы, что при применении безэмульсионной прокатки значительная часть тепловыделений происходит от воздействия сил трения.

Список литературы

1. Журавлев, Г. М. Расчет температурного поля в зоне пластической деформации / Г. М. Журавлев, Дао Тиен Той // Известия ТулГУ. Технические науки. Сталь. – 2012. – №2. – С. 221-227.
2. Смирнов, В. С. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия. – 1973. – 796 с.
3. Томленов, А. Д. Теория деформирования металлов. М.: Металлургия. – 1972. – 402 с.
4. Колмогоров, В. Л. Напряжения, деформации, разрушение. М.: Металлургия. – 1970. – 229 с.
5. Онищенко, И. И. Механика сплошной среды. Теория пластичности. К.: Издательство КР «Политех». – 1996. – 274 с.

6. Томсен, Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши // М.: Машиностроение. – 1969. – 504 с.
7. Яловой, Н. И. Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М.: Издательство «Высшая школа». – 1973. – 631 с.
8. Орро, П. И. Производство стальных тонкостенных труб: [Монография] / П.И. Орро, Я.Е. Осада. – М. Харьков: Металлургиздат. – 1951. – 416 с.
9. Шевакин, Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю. Ф. Шевакин. – М.: Металлургиздат. – 1963. – 269 с.
10. Тетерин, П. К. Теория периодической прокатки / П. К. Тетерин. – М.: Металлургия. – 1978. – 256 с.

Bibliography (transliterated)

1. Zhuravlyov, G. M., Dao Tiyen Toy Raschyot temperaturnogo polia v zone plasischeskoj deformatsii [Calculation of the temperature field in zone of the plastic deformation] *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. Stal*, 2012, 2, 221-227.
2. Smirnov, V. S. Teoriya obrabotki metallov davleniyem [Theory of metal forming]. Moscow: Metallurgiya, 1973, 796 p.
3. Tomlyonov, A. D. Teoriya deformirovaniya metallov [Theory of metal deforming]. Moscow: Metallurgiya, 1972, 402 p.
4. Kolmogorov, V. L. Napryazheniya, deformatsii, razrusheniye [Stresses, deformations, destruction]. Moscow: Metallurgiya, 1970, 229 p.
5. Onishtshenko, I. I. Mekhanika sploshnoj sredy. Teoriya plastichnosti. [Mechanics of continuous medium. Theory of plasticity]. Kyiv: Izd-vo KR "Polytekh", 1996, 274 p.
6. Thomsen, E., Yuang, Ch., Kobayashi, Sh. Mekhanika

- plasticheskikh deformatsij pri obrabotke metallov [Mechanics of plastic deformations at processing of metals] Moskow: Mashinostroyeniye, 1969, 504 p.
7. **Yalovoj, N. I.** Teplovy protsessy pri obrabotke metallov i splavov davleniyem [Heat processes at the forming of metals and alloys]. Moskow: Izd-vo "Vysshaya shkola", 1973, 631 p.
 8. **Orro, P. I., Osada, Ya. Ye.** Proizvodstvo stalnykh tonkostennykh trub: Monografiya [Manufacture of the steel thin-walled tubes: Monography]. Moskow, Kharkov: Metallurgizdat, 1951, 416 p.
 9. **Shevakin, Yu. F.** Kalibrovka i usiliya pri kholodnoj prokatke trub [Roll pass design and forces at the cold tube rolling]. Moskow: Metallurgizdat, 1963, 269 p.
 10. **Teterin, P. K.** Teoriya periodicheskoy prokatki [Theory of the die forging]. Moskow: Metallurgiya, 1978, 256 p.

Сведения об авторах (About authors)

Пилипенко Станислав Владимирович – кандидат технических наук, докторант кафедры Управления проектами Национальной металлургической академии Украины; Днепр, Украина; E-mail: 44-08@mail.ru.

Pylypenko Stanislav Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine, doctoral student in project management of the Dnipro, Ukraine.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пилипенко, С. В. Расчет тепловыделений от пластической деформации при холодной пильгерной прокатке труб / **С. В. Пилипенко** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 97-102. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.16.

Please cite this article as:

Pylypenko, S. V. Calculation method for heat emission during plastic shaping in cold pilger rolling of pipes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 97–102, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.16.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пилипенко, С. В. Розрахунок тепловиділень від пластичної деформації при холодній пильгерній прокатці труб / **С. В. Пилипенко** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 97-102. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.16.

АНОТАЦІЯ Процес холодної пильгерної валкової прокатки широко застосовується для виробництва холодно - і теплодеформованих прецизійних труб широкого спектру марок сталей і сплавів. В процесі ХПТ застосовують холодну, теплу, беземульсійну види прокатки. Процес ХПТ характеризується великою динамічністю, в сучасних станах кількість подвійних ходів сягає 280 і більше ходів в хвилину. Навіть при відносно невеликих величинах подачі (2-4 міліметра), з огляду на довжину конуса деформації (300-500 мм), метал деформується в досить жорстких умовах. Це може викликати значні тепловиділення від пластичної деформації. Причому ця температура виділяється в миттєвому осередку деформації за лічені частки секунди. Все це необхідно враховувати при розрахунку силових і деформаційних параметрів цього процесу. У статті розглянуті основні існуючі на даний момент залежності, що дозволяють правильно розрахувати тепловиділення від пластичної деформації при даному виді ОМД. Також розглянуті залежності, що дозволяють врахувати теплові втрати від конвекції і теплопередачі. На основі наявних залежностей запропонований свій метод розрахунку тепловиділень, що дозволяє більш точно враховувати особливості процесу ХПТ. Результати розрахунків перевірені в ході практики холодної пильгерної валкової прокатки і доводять дієвість методу.

Ключові слова: Холодна пильгерна прокатка; пластична деформація; миттєвий вогнище деформації; тепловиділення; беземульсійна прокатка.

Поступила (received) 21.12.2016

THE SOFTWARE METHODS OF ASSESSING PERFORMANCE, QUALITY AND FUNCTIONALITY OF THE FRAME CONFIGURATION EQUIPMENT

S. M. PIVEN*, V. V. RACHINSKIY

Department of transport system and technical services, Kherson National Technical University, Kherson, UKRAINE
*email:pivensn@ukr.net

ABSTRACT The problems associated with using of software-hardware provision of mechanisms with parallel structure in computer-aided simulation are considered. A comprehensive methodology for assessing and comparing new configurations mechanism parallel structure machine-tool equipment created. This methodology can be used for reconfiguration calculation in order to direct selection of technical features at the early stages of design. A new complex assessment approach to evaluate performance, quality and functionality of the equipment frame configurations is shown. Mathematical and software methods of kinematics problems solution and drives control; elastic (rigidness) state evaluation are presented. The model and hierarchical multimodal application is developed for any new parallel structure mechanism machine-tool configurations, with simultaneous parameter estimation and dynamic rigidness response simulation is presented by line of computer programs "Tools Glide", "Tools Response", "Tools App". These programs allow analyzing of any designed layout properties and making choice of structural components, blocks and links during design process. The kinematic and kinetostatic analysis methods assessing performance, quality and functionality options and calculated data can be obtained by the line of "Tools" software products. Test calculations and test processing using different scenarios shows compliance to expected results, constructional algorithm of equation system, synthesis easiness for equations with different types of connections that gives possibility of successful use of these software products in automated modelling systems and CAM systems. This software tested as external post-processor on drilling - milling machine-tool prototypes with mechanism of parallel structure in the mechanical laboratory

Keyword: mechanism parallel structure machine-tool; early stages of design; kinematic and kinetostatic analysis; computer programs "Tools Glide"; "Tools Response"; "Tools App".

ПРОГРАМНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ РОБОТИ, ЯКОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ОБЛАДНАННЯ КАРКАСНИХ КОМПОНОВОК

С. М ПИВЕНЬ, В. В. РАЧИНСЬКИЙ

Кафедра транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет, Херсон, УКРАЇНА

АННОТАЦІЯ Створено методику оцінки і порівняння якості нових компоновок верстатного обладнання з механізмами паралельної структури без детального конструкторського опису із врахуванням їх реконфігурації для спрямованого відбору очікуваних технічних характеристик на ранніх стадіях проектування. Розроблено модель та базатомодульну ієрархічну програму для створення програм керування нових компоновок верстатів з механізмами паралельної структури з одночасною оцінкою параметрів жорсткості і динамічного відгуку ланок при виконанні технологічних переходів обробки складнопрофільних поверхонь. Розглянуті питання, пов'язані з програмно-апаратним забезпеченням механізмів паралельної структури в системах автоматизованого моделювання. Розроблено програму для розрахунку зворотної задачі кінематики для механізмів паралельної структури, яка в свою чергу може використовуватися як пост-процесор для визначення працездатності будь-якої нової компоновки верстатів. Наведено варіанти методів аналізу кінематики і розрахунку даних, отриманих в системах комп'ютерної математики на прикладі лінійки програм розроблених на кафедрі транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету «Tools Glide», «Tools Response», «Tools App». Також перевірена робота цих програм як зовнішнього пост-процесору на дослідних зразках свердлильно-фрезерних верстатів з механізмами паралельної структури, що використовуються в механічній лабораторії кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету

Ключові слова: механізми паралельної структури; відбір очікуваних технічних характеристик на ранніх стадіях проектування; лінійка програм «Tools Glide»; «Tools Response»; «Tools App».

Introduction

Modern market gives tasks for manufacturing plants, the nature of which is changing very rapidly. Plants have to get processing equipment with variety of machine-tools which allow to fulfill customer new requirements with minimum investment in new machine-tool equipment. This problem can be solved by using a multi-dimensional hinge rod mechanisms with parallel

structure (MPS) combined with limited number of modules in machine-tool frame layout and with possibility of restructuring (reconfiguration) them in new frame layout [1]. Time limit for the design forces to use computer programs to assess performance, quality and functionality of the equipment frame configurations.

The purpose of the work

The first and most important stage of the design phase is a selection of main layout (configuration). However, there is a problem not only for prediction the necessary functionality for future layout, but also ensuring technical characteristics of the machine-tools with MPS at early stages of design [2]. The aim is to create comprehensive methodology for assessing and comparing new configurations parallel structure machine-tool. This system has to include mathematical and software methods of kinematics problems solution and drives control; elastic (rigidness) state evaluation are presented.

The main material

As synthesis basis is a combination of frame and guide mounting multivariateness, defined as

$$C(n, m) = (n + m - 1)! / m!(n - 1)!$$

where n - number of rods (rails) m - permutation capacity. The geometrical properties of machine-tool base are determining the quantity of permutation variety m . Therefore the presence of quite many variants force to give up the algorithm of manual sorting and abandon the using of engineering intuition to select the most optimal choice. Also the presence of a huge amount of information that should be analyzed in the process of selecting configurations push to look for a new complex assessment approach to evaluate performance, quality and functionality of the equipment frame configurations [3]. This analyze includes: structural circuit synthesis procedures based on processed work-piece geometric image; mathematical and software methods of kinematics problems solution and drives control; elastic (rigidness) state evaluation and machine-tools with MPS dynamic responses in the equipment ranges of operations [4]. Take for example several options where immobile kinematic structure and traditional fixed bearing base workspace layouts limits the equipment in its internal space [5]. Genetic inversion operator [6] used for solving this problem at MPS with constant length rods and give a possibility to obtain a line of new layout configurations [7] for objects manipulation equipment with enhanced functionality and new features (fig. 1).

At fig. 2 shows an example of frame layout that can be rebuilt in space in order to increase workspace of MPS and to manage elastic compliances of loading force at given direction action. The basis of valuation, quality and functionality of the equipment frame configurations assigned a set of programs developed at Kherson National Technical University Department of design together with National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI" Department of design tools and machines "Tools App" [8], "Tools Glide" [9], "Tools Response".

These computer programs based on methods of analytic geometry, vector analysis, calculus of variations, finite element, tensor calculus [10, 11, 12]. These programs allow to analyze of any designed layout

properties and makes choice of structural components, blocks and links during design process.

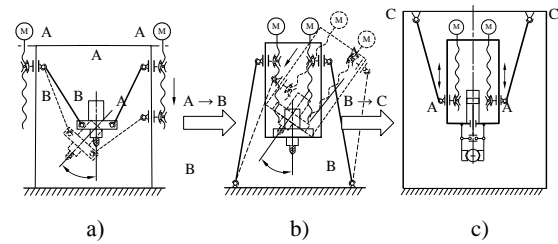


Fig. 1 – Circuit realization inversion for new properties manipulation systems with MPS (a) - traditional glide-layout; (b) – drives and carriage are moved to the mobile platform; (c) – rods fastening are transferred to another (any) surface [7]

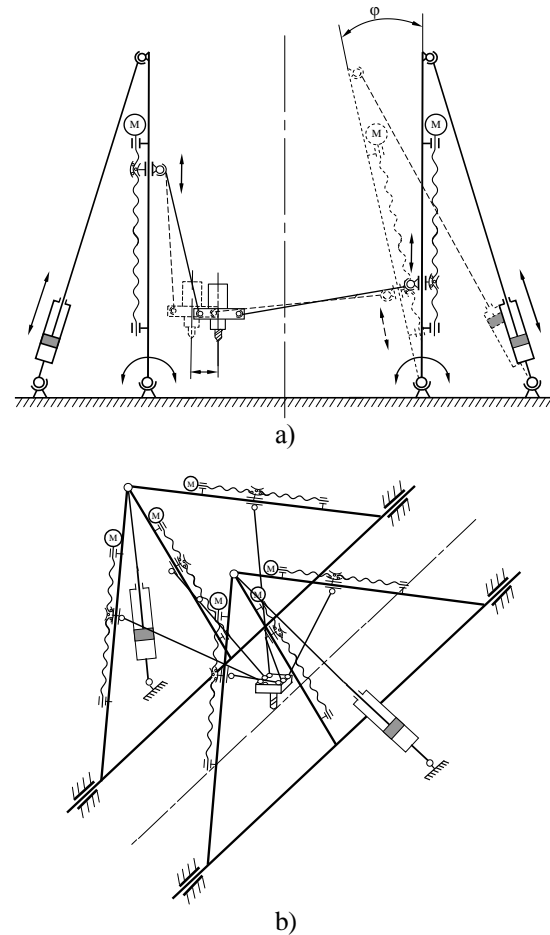


Fig. 2 – Frame layout of MPS with reconfiguration capacity: a) – structural scheme; b) – kinematic scheme [7]

The basic of work on CNC equipment is creating work-piece processing program, which is set to CAM surface processing module in order to receive a file called CL-data (cut-location data). This file presents coordinates of basic points of end-effectors trajectory with tool vectors. Based on this file computer program "Tools Glide" calculates kinematics inverse problem solution and calculates

corresponding machine-tool end-effector coordinate for each work-piece coordinate from CL-data list.

"Tools Response" calculates rigidity and compliance parameters, strength characteristics of complex multistage structures, interference with levels of mobility expectation for any components, assemblies and joints sets (fig. 3). Obtained data transmitted to analyze into "Tools App" dynamic properties module. Structure of software modules "Tools Glide" and "Tools Response" composed of blocks of kinematics and stiffness (compliance) blocks.

Kinematic block ("Tools Glide ") gives possibility of forming glide-equipment layout and kinematic calculation with "Tools Response" feedback module for simulating of various types hinges. Obtained data can be transferred to "Tools App" module, where technical system properties described as dynamic compliance function, which characterizes technical system response in the form of displacements for given force excitation.

There is an approach used to describe a trajectory of system with presence of holonomic constraints. This approach is an extension of the previous method, where holonomic constraint describes possible trajectory of a restrained point using the equation $f(x, y, z, t) = 0$. In terms of force holonomic constrain description, assume that movement deviation of the normal to surface allowed to move or curve allowed to move causes infinite by module forces acting against deviation. As a result, this force description has two problems: an infinite module forces is hard to fit with calculation algorithms, and change of force direction along allowed by restrain surface (curve) complicates the mathematical description. In addition holonomic constrain describes only geometry, without force description, also fails to take into account system inertial properties [13].

To simplify this task proposed to describe constrain reaction forces introducing, by analogy with virtual holonomic constrain, virtual potential which has minimum at constraint allowed space, and growing rapidly (ideally - drastically) with deviation [14, 15]. That provides force with zero value in allowed points and gives appearance of infinite force in efforts make movement by normal to allowed surface (curve). This growth is modeled using delta functions. It is easier to use for calculation one of the following delta function approximations:

either polynomial

$$\delta(x) = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \frac{\alpha}{\pi(1 + \alpha^2 x^2)};$$







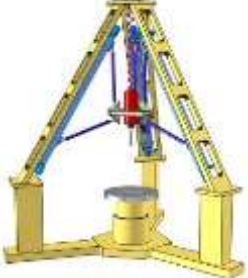
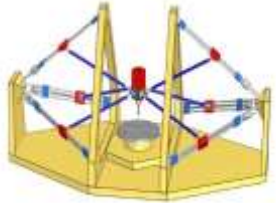
or exponential

$$\delta(x) = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} \exp(-\alpha^2 x^2);$$

where controlling the value of the parameter α it is possible to achieve required degree of approximation [16, 17].

Kinematic models analysis by the virtual potential method gives opportunity to narrow down possible solutions space and considers different hinges types kinematics property. "Tools Glide" implements this method as "Virtual potential scenario" option (fig 3. c).

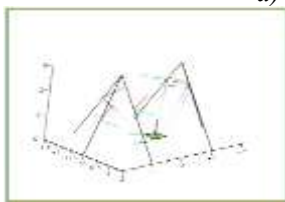
Table 1 – Selected basic layout (frame configuration) for machine-tools with parallel kinematic structure [1, 18, 19, 20]

Biglide with movable table 	Horizontal triglide 
Triglide-pyramid 	Tetraglide-pyramid 
Vertical triglide 	Tetraglide-wedge 
Hexaglide machine-tools with pyramidal frame layout 	
	

Last two methods used complex computer-aided modelling software "Tools" that allow to solve kinematic problem (direct and inverse problem) for machines with MPS, to calculate elastic (stiffness) and dynamic characteristics of the machine with consideration of different types of joints, to calculate cutting forces and moments tasks, to make equipment dynamic analysis, and to obtain frequency characteristics at the design stage of layout options research.



a)



b)



c)

Fig. 3 – "Tools Glide" main window interface (a), animated visualization "Tools Glide" processing strategy (b), models search and selection in decisions space (c) [9]

"Tools Glide" system (fig.3, a) conducted kinematic analysis by one of its mode either "Simple matrix scenario" or "Virtual potential scenario". (fig.3, c) In accordance with imported paths and tool orientations file (can be used CL-data file from another CAM systems) the program calculates inverse kinematic problem solution, exports data to the post processor, produces data for other types of analysis, and makes animation workflow (fig. 3 b). Also this software uses to analyze efficiency and design of control programs for pyramidal type machine-tools with mechanisms of parallel structure. The variants of layout of MPS from table 1 were simulated and calculated by line of "Tools" computer products. "Tools Glide", "Tools Response" and "Tools App" are used also as post-processor software for test-bench machine-tools (fig 4, 5) in a mechanical laboratory of Kherson National Technical University Department of transport system and technical services.

These are drilling-milling pyramidal type MPS machine-tool prototype SFVPK-3 (fig.4, a), drilling-milling pyramidal type MPS machine-tool prototype SFVPK-4 (fig.5 a, b) and hexaglide test-bench multi-purpose machine-tool (fig.4, b). These machine-tool prototypes with mechanism of parallel structure not only using for scientific and university research programs but also for familiarizing students with modern models of mechanisms with parallel structure.

One of aspect of testing was receiving of vibrograms by piezoelectric cells with the values of the

damping coefficient h and overall appearance of the stand to measure vibration by using high frequency accelerometers [13]. The same vibrograms were simulated by "Tools" software and total compliance to received by test results shown. Programs "Tools Glide", "Tools Response", "Tools App" were tested using different scenarios. Tests show compliance to expected results, constructional algorithm of equation system, and synthesis easiness for equations with different types of connections that gives possibility of successful use of programs "Tools Glide", "Tools Response", "Tools App" software products in automated modelling systems and CAM systems. Apart of using for early stages of design the software line "Tools" uses as one of many existing versions of CAM-processing programs testing on those machine-tools.



a)



b)

Fig. 4 – (a) drilling and milling machine-tool prototype with mechanism of parallel structure SFVPK-3 (b) - multi-purpose machine-tool hexaglide [19]



a)



b)

Fig. 5 – Drilling and milling machine-tool prototype with mechanism of parallel structure SFVPK-4 (a) scheme of the machine, (b) view

Dynamic model of program "Tools App" is based on second-order differential Lagrange equations. For n -

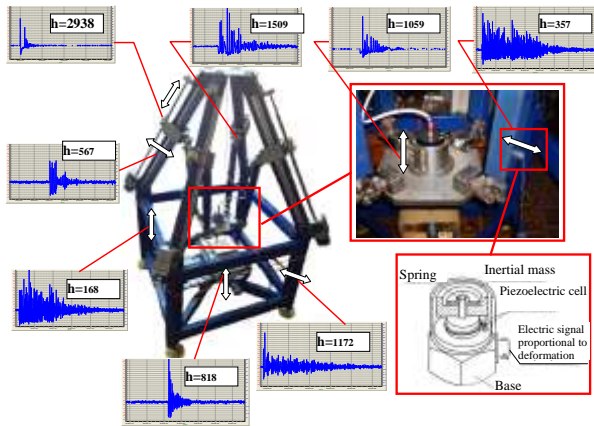


Fig. 6 – Vibrograms received by some elements of the machine-tool SFVPK-4 [14] (h – dumping coefficient, sec^{-1})

power mechanism mathematical model Lagrangian form is converted to the form [15, 16]:

$$\mathbf{I}(\mathbf{q}) \frac{d^2 \mathbf{q}}{dt^2} + \mathbf{h}(\mathbf{q}, \frac{d\mathbf{q}}{dt}) = \mathbf{Q},$$

where \mathbf{q} , $\frac{d\mathbf{q}}{dt}$, $\frac{d^2 \mathbf{q}}{dt^2}$ – respectively generalized coordinates vector ($n \times 1$), velocity vector ($n \times 1$) and acceleration vector ($n \times 1$); $\mathbf{I}(\mathbf{q})$ – mechanism inertia matrix; $\mathbf{h}(\mathbf{q}, \frac{d\mathbf{q}}{dt})$ – centrifugal vector ($n \times 1$), Coriolis force vector ($n \times 1$) and dissipative forces vector ($n \times 1$); \mathbf{Q} – forces sum vector ($n \times 1$) applied to mechanism links and joints.

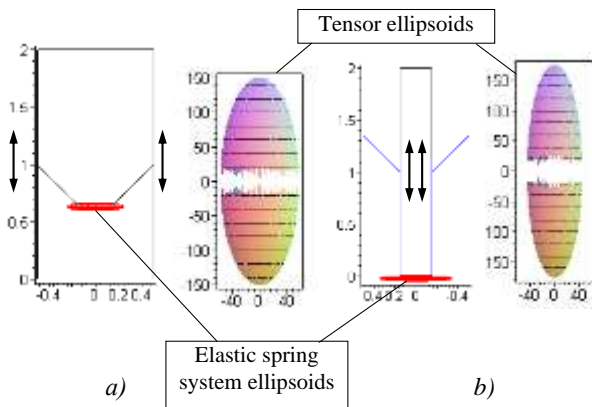


Fig. 7 – Results of program "Tools Response" calculation - compliance ellipsoids and elastic displacement of MPS frame configurations tensor ellipsoids: a - classical glide scheme with guide rails and carriages on stationary base (fig. 1, a); b – inverse glide scheme with the guide rails and carriages on a mobile platform (fig. 1, c)

At fig. 7 shows calculation and comparison of tensor ellipsoids $(\hat{T}r)r = 1$ of the two frame layouts of

machine-tools with the MPS (fig.1, a) - "classic scheme" and scheme obtained by inversion (fig.1 b, c) with the same physical properties of the elements. Where T – compliances tensor, r is force P vector, then $\hat{T}P = u$, where u is vector of displacement under force P action, and surface is surface $(TP)P = const$ is a level proportional to the given force effort executes given work in specified direction [18, 19].

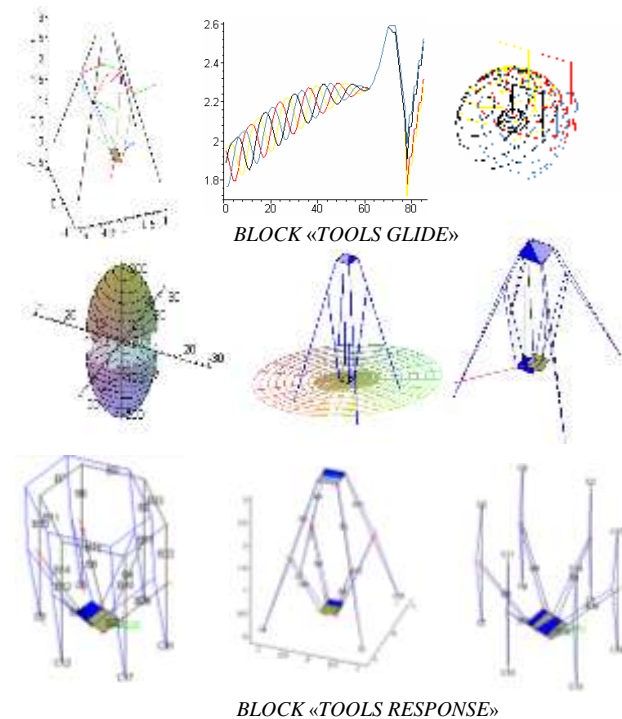


Fig. 8 – Intermediate graphics objects of "Tools Glide" and "Tools Response" blocks

Feedback between modules (import-export) provides ability to take into account mutual influence "kinematics - deformation response". This feature ensures optimal prognoses for different equipment configurations [19].

Obtained data can be transferred to "Tools App" module, where technical system properties described as dynamic compliance function, which characterizes technical system response in the form of displacements for given force excitation.

Each technological system has own response characteristic describing system features [20]. Therefore any technological equipment characteristic can be determined by a computer program, allowing to use the "Tools" software at primarily design stage for machine-tool with MPS.

Conclusions

A comprehensive methodology for assessing and comparing new configurations MPS machine-tool equipment created. This methodology does not need a detailed design description for reconfiguration calculation in order to direct selection of technical features that expected in the early stages of design. The model and hierarchical multimodal application is developed for any new MPS machine-tool configurations, with simultaneous parameter estimation and dynamic rigidity response during performing of technological processing complex geometry work-piece. The kinematic and kinetostatic analysis methods assessing performance, quality and functionality options and calculated data can be obtained by the line of "Tools" software products. Test calculations and test processing for different layout (frame configurations) using both scenarios (simple matrix and virtual potential) shows compliance to expected results, constructional algorithm of equation system, synthesis easiness for equations with different types of connections that gives possibility of successful use of programs "Tools Glide", "Tools Response", "Tools App" software products in automated modelling systems and CAM systems. This software tested as external post-processor on pyramidal type drilling - milling machine-tool prototypes with mechanism of parallel structure SFVPK-3, SFVPK-4, and the others in the mechanical laboratory of Kherson National Technical University.

Bibliography (transliterated)

1. **Kuznetsov, Yu. N., Dmitriev, D. A., Dinevich, G. Yu.** Configuration of machine-tools with mechanisms of parallel structure: Monograph. Kherson: *PE Vysheymyrs'kyi V.S.*, 2009, 456 p.
2. **Zhang, D.** Kinetostatic Analysis and Optimization of Parallel and Hybrid Architectures for Machine Tools, *Ph.D. Thesis, Laval University, Canada*, 2000, 288 p.
3. **Liu, X. J., Wang, J. S., Pritschow, G.** A new family of spatial 3-DoF fully-parallel manipulators with high rotational capability, *Mech. Theory*, 2005, **40**, 475–494. doi: 10.1016/j.mechmach.2004.10.001.
4. **Zhang, D., Bi, Z. M., Li, B. Z.** Design and kinetostatic analysis of a new parallel manipulator. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 2009, **25**(4-5), 782–791, doi: 10.1007/s10999-012-9197-3.
5. **Kuznetsov, Yu. N., Dmytriev, D. A., Rusanov, S. A., Piven', S. M.** Method of determining dynamic characteristics of machine with bar support system, *Journal of the Technical University of Gabrovo*, 2016, **52**, 18-23.
6. **Kuznetsov, Yu. N., Shinkarenko, V. F.** Genetic approach – key to creating complex technical systems. *Scientific journal "Technological complexes"*, 2012, **1,2**(5,6), 15 – 29.
7. **Kuznetsov, Yu. M., Bardachov, Yu. M., Dmitriev, D. O., Piven', S. M.** "Mekhanizm manipulyuvannya obektami v tekhnologichnomu obladnanni" [The mechanism of manipulating objects in technological equipment]. The application for invention number of a201512568 from 21/12/2015.
8. **Rusanov, S. A., Kuznetsov, Yu. M., Dmitriev, D. O., Podol's'kiy, M. I.** "Komp'yuterna programa «Tools App»

[Computer program« Tools App»] Certificate of registration of copyright – № 57913 from 29.12.2014 – State Intellectual Property Service.

9. **Rusanov, S. A., Kuznetsov, Yu. M., Dmitriev, D. O., Keba, P. V.** "Komp'yuterna programa «Tools Glide» [Computer program «Tools Glide»] Certificate of registration of copyright – № 66227 from 21.06.2016 – State Intellectual Property Service.
10. **Borisenko, A. I., Tarapov, I. E.** Vektorny analiz i nachala tenzornogo ischisleniya [Vector analysis and the beginning of the tensor calculus]. *Vysshaya shkola [High school]*. Moscow, 1966, 250 p.
11. **Svetlitskiy, V. A.** Mekhanika gibkikh sterzhney i nitey [Mechanics of flexible rods and threads]. Moscow: *Mashinostroenie*, 1978, 222 p.
12. **Poduraev, Yu. V.** Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye [Mechatronics: fundamentals, methods, application]. – Moscow: *Mashinostroenie*, 2006, 286 p.
13. **Dmitriev, D. O., Kuznetsov, Yu. M., Rusanov, S. A., Keba, P. V.** Perekhidni dinamichni protsesi v tekhnologichnomu obladnanni karkasnogo komponuvannya [Transient dynamic processes in technological equipment frame layout]. *Materiali konferentsii "Suchasni tekhnologii promislivogo kompleksu" [Proceedings of the conference "Modern technologies of industrial complex"]*, KhNTU, Kherson, Ukraina, 2016, 89-91.
14. **Maggiore, M., Consolini, L.** Virtual Holonomic Constraints for Euler–Lagrange Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2013, **58**(4),1001-1008, doi: 10.1109/TAC.2012.2215538.
15. **Baganov, Є. O., Rusanov, S. A., Piven', S. M.** Viktoristannya variatsiynogo pidkhodu dlya kinematchnogo analizu mekhanizmiv paralel'noi strukturi v sistemakh avtomatizovanogo modelyuvannya [Using variational approach for kinematic analysis of mechanisms of parallel structure in computer-aided simulation]. *Visnik Khmel'nits'kogo natsional'nogo universitetu [Bulletin of Khmelnytsky National University]*, 2016, **3**, 41-45.
16. **Gebel, E. S.** Mathematical Modeling of Dynamics of Multi-Lever Linkages, *Procedia Engineering*, 2015, **100**, 1562-1571, doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.529.
17. **Stachera, K., Schumacher, W.** Derivation and Calculation of the Dynamics of Elastic Parallel Manipulators. *Automation and Robotics*, 2008, doi: 10.5772/6108.
18. **Kuznetsov, Yu. N., Podolsky, M. I., Dmitriev, D. A., Rusanov, S. A.** Dynamic analysis of support lathe based parallel mechanisms of type "heksahlayd". *Interuniversity collection "Scientific notes"*. Lutsk, 2013, **41**(2), 69 - 73.
19. **Kuznetsov, Yu. N., Dmytriev, D. O.** Hybrid layout concept of machine-tools with parallel kinematic based on the modular principle. *Proceedings of international scientific conference "Technique, technology and systems Tekhsis 2009"*, Plovdiv, Technical University Sofia, 2009, 19-36.
20. **Dmytriev, D. O.** Description configurations of machine-tools with the mechanisms of parallel structure. *Scientific journal "Technological Complexes"*. 2011, **3**, 18-30.

Список літератури

1. **Кузнєцов, Ю. М.** Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / **Ю. М. Кузнєцов, Д. О. Дмитрієв, Г. Ю. Діневич**; під ред. Ю.М. Кузнєцова // Херсон: *ПП Вишемирський В.С.* – 2009. – 456 с.

2. **Zhang, D.** Kinetostatic Analysis and Optimization of Parallel and Hybrid Architectures for Machine Tools, *Ph.D. Thesis, Laval University, Canada*. – 2000. – 288 p.
3. **Liu, X. J.** A new family of spatial 3-DoF fully-parallel manipulators with high rotational capability / **X. J. Liu, J. S. Wang, G. Pritschow** // *Mech. Mach. Theory*, 2005, – No 40, – P. 475-494. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2004.10.001.
4. **Zhang, D.** Design and kinetostatic analysis of a new parallel manipulator / **D. Zhang, Z. M. Bi, B. Z. Li** // *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* – 2009. – № 25 (4-5), P. 782–791. – doi: 10.1007/s10999-012-9197-3.
5. **Kuznetsov, Yu. N.** Method of determining dynamic characteristics of machine with bar support system / **Yu. N. Kuznetsov, D. A. Dmytriev, S. A. Rusanov, S. M. Piven** // *Journal of the Technical University of Gabrovo*. – 2016. – Vol. 52. – P. 18-23.
6. **Кузнецов, Ю. Н.** Генетический подход – ключ к созданию сложных технических систем / **Ю. Н. Кузнецов, В. Ф. Шинкаренко** // *Науковий журнал «Технологічні комплекси»*. – 2012. – №1,2(5,6). – С. 15 – 29.
7. **Кузнецов, Ю. М., Бардачов, Ю. М., Дмитрієв, Д. О., Півень, С. М.** "Механізм маніпулювання об'єктами в технологічному обладнанні", Заявка на винахід № а201512568 від 21.12.2015.
8. **Русанов, С. А., Кузнецов, Ю. М., Дмитрієв, Д. О., Подольський, М. І.** "Комп'ютерна програма «Tools App» – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 57913 від 29.12.2014 – Державна служба інтелектуальної власності.
9. **Русанов, С. А., Кузнецов, Ю. М., Дмитрієв, Д. О., Кеба, П. В.** "Комп'ютерна програма «Tools Glide» – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 66227 від 21.06.2016 – Державна служба інтелектуальної власності.
10. **Борисенко, А. И.** Векторный анализ и начала тензорного исчисления / **А. И. Борисенко, И. Е. Тарапов** // *Высшая школа*. – М.: 1966. – 250 с.
11. **Светлицкий, В. А.** Механика гибких стержней и нитей. – М.: Машиностроение. – 1978. – 222 с.
12. **Подураев, Ю. В.** Мехатроника: основы, методы, применение. – М.: Машиностроение – 2006. – 286 с.
13. **Дмитрієв, Д. О.** Перехідні динамічні процеси в технологічному обладнанні каркасного компонування / **Д. О. Дмитрієв, Ю. М. Кузнецов, С. А. Русанов, П. В. Кеба** // *Матеріали конференції "Сучасні технології промислового комплексу"*. – ХНТУ, Херсон, Україна. – 2016. – P. 89-91.
14. **Maggiore, M.** Virtual Holonomic Constraints for Euler–Lagrange Systems / **M. Maggiore, L. Consolini** // *IEEE Transactions on Automatic Control*. – 2013. – № 58(4). – P. 1001-1008. – doi:10.1109/TAC.2012.2215538.
15. **Баганов, Є. О.** Використання варіаційного підходу для кінематичного аналізу механізмів паралельної структури в системах автоматизованого моделювання / **Є. О. Баганов, С. А. Русанов, С. М. Півень** // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2016. – №3. – С. 41-45.
16. **Gebel, E. S.** Mathematical Modeling of Dynamics of Multi-Lever Linkages / **E. S. Gebel** // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 100. – P. 1562-1571. – doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.529.
17. **Stachera, K.** Derivation and Calculation of the Dynamics of Elastic Parallel Manipulators / **K. Stachera, W. Schumacher** // *Automation and Robotics*. – 2008. – doi: 10.5772/6108.
18. **Kuznetsov, Yu. N.** Dynamic analysis of support lathe based parallel mechanisms of type "heksahlayd" / **Y. N. Kuznetsov, M. I. Podolsky, D. A. Dmytriev, S. A. Rusanov** // *Interuniversity collection "Scientific notes". Lutsk*. – 2013. – №41 Vol. 2. – С. 69 - 73.
19. **Kuznetsov, Yu. N.** Hybrid layout concept of machine-tools with parallel kinematic based on the modular principle / **Yu. N. Kuznetsov, D. O. Dmytriev** // *Proceedings of international scientific conference "Technique, technology and systems Tekhsis 2009"*, Plovdiv, Technical University Sofia. – 2009. – P. 19-36.
20. **Dmytriev, D. O.** Description configurations of machine-tools with the mechanisms of parallel structure / **D. O. Dmytriev** // *Scientific journal "Technological Complexes"*. – 2011. – №3. – P.18-30.

Сведения об авторах (About authors)

Півень Сергій Миколайович – аспірант, кафедра транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет; г. Херсон, Україна; e-mail: pivensn@ukr.net

Serhiy Piven – postgraduate student, department of transport system and technical services, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine; e-mail: pivensn@ukr.net

Рачинський Володимир Витальєвич – аспірант, кафедра транспортних систем і технічного сервісу, Херсонський національний технічний університет; г. Херсон, Україна; e-mail:

Vladimir Rachinskiy – postgraduate student, department of transport system and technical services, Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine; e-mail:

Please cite this article as:

Piven, S. M., Rachinskiy, V. V. The software methods of assessing performance, quality and functionality of the frame configuration equipment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 103–110, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.17.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Півень, С. М. Програмні методи оцінки роботи, якості та функціональності обладнання каркасних компоновок / **С. М. Півень, В. В. Рачинський** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 103-110. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.17.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Пивень, С. Н. Программные методы оценки работоспособности, качества и функциональности оборудования каркасных компоновок / **С. Н. Пивень, В. В. Рачинский** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 103-110 – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.17.

АННОТАЦИЯ Создана методика оценки и сравнения качества новых компоновок станочного оборудования с механизмами параллельной структуры без детального конструкторского описания с учетом их реконфигурации для направленного отбора ожидаемых технических характеристик на ранних стадиях проектирования. Разработана модель и многомодульная иерархическая структура для создания программ управления новых компоновок станков с механизмами параллельной структуры одновременно с оценкой параметров жесткости и динамического отклика звеньев механизма при выполнении технологических процессов обработки сложнопрофильных поверхностей. Рассмотрены вопросы, связанные с программно-аппаратным обеспечением механизмов параллельной структуры в системах автоматизированного моделирования. Разработана программа для расчета обратной задачи кинематики для механизмов параллельной структуры, в свою очередь, может использоваться как пост-процессор для определения работоспособности любой новой компоновки станков. Приведены варианты методов анализа кинематики и расчета данных, полученных в системах компьютерной математики на примере линейки программ разработанных на кафедре транспортных систем и технического сервиса Херсонского национального технического университета «Tools Glide», «Tools Response», «Tools App». Также проверена работа этих программ как внешнего пост-процессора на опытных образцах сверлильно-фрезерных станков с механизмами параллельной структуры, используемые в механической лаборатории кафедры транспортных систем и технического сервиса Херсонского национального технического университета.

Ключевые слова: механизмы параллельной структуры; отбор ожидаемых технических характеристик на ранних стадиях проектирования; линейка программ «Tools Glide»; «Tools Response»; «Tools App».

Поступила (received) 19.11.2016

УДК 622.834:622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18

ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОКОВЫХ ПОРОД В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

И. И. ПУГАЧ¹, С. В. ПОДКОПАЕВ², И. В. ИОРДАНОВ², Д. А. ЧЕПИГА^{2*}

¹ГВУЗ «НГУ», г.Днепр, УКРАИНА

²ГВУЗ «ДонНТУ» МОН Украины, г.Покровск, УКРАИНА

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

АННОТАЦИЯ В данной статье рассматриваются вопросы исследования устойчивости боковых пород горных выработок в условиях разработки крутых пластов. На основе выполненных исследований дается сравнение способов управления кровлей – полным обрушением и удержанием на кострах, а также закладкой выработанного пространства как средств, ограничивающих деформацию боковых пород. Представив породы кровли в виде балки и применив основные положения теории сопротивления материалов, выполнена оценка напряженно-деформируемого состояния пород и сделан вывод об эффективности применения закладки выработанного пространства.

Ключевые слова: призабойное пространство; травматизм; управление кровлей; сдвигание горных пород; полное обрушение; костры; эпюры изгибающих моментов.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF WALL ROCKS IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

I. PUGACH¹, S. PODKOPEV², I. IORDANOV², D. CHEPIGA^{2*}

¹Public higher education institution National Mining University, Dnepr, UKRAINE

²Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

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

ABSTRACT The aim of the research is to study the stability of the wall rocks of mine workings in the conditions of development of steep seams. On the basis of the research compares the roof control methods - a complete collapse and holding at the chocks, as well as laying out space as a means of limiting the deformation of the wall rocks. Applying an optical method for studying the basic tenets of the theory of strength of materials and presenting rock roof in the form of beams, the estimate of the stress-strain state of the rocks and that the efficacy of stowing was concluded. It is proved that in comparative terms, geomechanical indicators application stowing much more efficient than traditional methods of control rock pressure. It was found that the filling mass prevents not only the displacement of rocks in the neighborhood of the mine workings, but also helps to eliminate the negative reasons in the virgin coal that can provoke the collapse of the wall rocks.

Key words: rate of accidents; strata control; chock; bending moment diagram; face space.

Введение

В настоящее время работа предприятий угольной промышленности Украины осуществляется в постоянно ухудшающихся горно-геологических условиях. Для угольных месторождений Донбасса характерна малая мощность разрабатываемых пластов, повышенная геологическая нарушенность и тектоническая трещиноватость вмещающих пород. Горные выработки проводятся и поддерживаются в боковых породах, представленных глинистыми и песчано-глинистыми сланцами (около 49 %), в том числе, ниже средней устойчивости (около 27 %), песчаными сланцами (28 %) и песчаниками (23 %). Опыт работы шахт Донбасса показывает, что эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ в угольных шахтах в значительной степени зависит от состояния горных выработок. Неудовлетворительное состояние последних повышает уровень травматизма

горнорабочих, особенно в условиях отработки пластов в сложных горно-геологических условиях.

Общеизвестно, что с ростом глубины горных работ в выработках начинает проявляться такой негативный природный фактор, как обрушения боковых пород. Аварии, связанные с обрушениями боковых пород, по числу смертельно травмированных стоят на первом месте на одну аварию и на втором месте по тяжести последствий после аварий, связанных со взрывами угольной пыли и газа. Причинами аварий являются нарушения паспортов крепления (62 %), несоответствие паспортов крепления горно-геологическим условиям (8 %) и отсутствие и неисправность крепи (23 %) [1, 2, 3]. Достигнутый уровень травматизма по исследуемому фактору (за последние 10 лет удельный вес смертельного травматизма при проведении и перекреплении выработок составляет около 34 %, на сопряжении выработок - 12 %) позволяет считать, что действующие меры по предотвращению обвалов и

обрушений в угольной отрасли являются недостаточными.

В реальных условиях разработки крутых пластов, связанных с углами их падения, имеют место не только обрушения пород кровли, но и сползания пород почвы. Причем, в одних случаях обрушения боковых пород распространяются на призабойное пространство лавы, часто по всей ее длине, что способствует частичному или полному завалу как очистного забоя, так и подготовительных выработок. В других случаях, эти явления происходят за лавой и приводят только к завалу подготовительных выработок. Во всех приведенных случаях имеет место потеря регламентированного ПБ сечения штреков, что в свою очередь способствует увеличению уровня травматизма на протяжении горных выработок.

Анализ применяемых способов управления горным давлением и охраны пластовых выработок при разработке пластов крутого падения показал, что применяемые способы, являясь эффективными для конкретных горно-геологических условий, теряют свою эффективность при их изменении. Тем не менее, детальный анализ аварий позволяет сделать вывод о том, что во многих случаях основными причинами травматизма по исследуемому опасному производственному фактору является недостаточная изученность природы обрушений и, в связи с этим, принятие ошибочных технических и технологических решений. Поэтому разработка эффективных мероприятий, направленных на повышение устойчивости боковых пород при разработке крутых угольных пластов в сложных горно-геологических условиях, будет способствовать повышению безопасности труда горнорабочих, обеспечивающих добычу угля, проведение и поддержание горных выработок.

Анализ исследований и публикаций

Традиционно считается, что проявления горного давления в выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым следует относить напряженное состояние горных пород и их физико-механические свойства. Изучение особенностей поведения горных пород в условиях больших глубин и разработанные на этой основе прочностные характеристики [4, 5, 6, 7, 8, 9] позволили установить специфичность условий негативных проявлений горного давления в угленосном массиве, в котором проводятся и поддерживаются выработки.

Известно [10], что наличие зон разгрузки способствует расслоению боковых пород, их проскальзыванию на контактах надработанных и подработанных слоев, проявлению и раскрытию трещин, нормальных к напластованию и зачастую не совпадающих с природными трещинами. Обрушения и обвалам, как показывает практика, связанным с отрывом некоторого объема пород от остального

массива, всегда предшествует их расслоение. В формировании условий расслоения важную роль составляют такие факторы как наличие прослоев и плоскостей скольжения на контакте слоев. В зонах разгрузки, глинистые породы, увеличиваясь в объеме во времени, отрывают слои более прочных пород и формируют условия их обрушений [9]. Исследования смещений пород с помощью реперов показали, что процесс расслоения начинается впереди лавы [1, 12].

При традиционных способах управления кровлей полным обрушением или удержанием на кострах, учитывая особенности разработки крутых пластов, связанные с углами их падения, превышающих углы внутреннего трения пород, под действием сил гравитации расслоившиеся боковые породы верхней части лавы всегда смещаются вниз [13]. Такое положение способствует сокращению площади обрушения непосредственной кровли в нижней части очистного забоя на величину подбученной части выработанного пространства.

Подработанные породы непосредственной кровли, оседающие на хаотически обрушенные слои представляют собой блочный массив, состоящий из балок различной длины. Причем породы непосредственной кровли изгибаются и неконтролируемо оседают позади очистного забоя, создавая неблагоприятную геомеханическую обстановку. Негативные последствия создавшейся геомеханической обстановки могут проявляться в том, что основная кровля разрабатываемого пласта, не имея подпора в выработанном пространстве, внезапно обрушается. При ее внезапном обрушении, последняя может неконтролируемо перемещаться в призабойное и выработанное пространство, что может способствовать завалу выработок.

Анализ случаев завалов штреков на шахтах Украины, разрабатывающих крутые пласты, за период с 1978 по 2014 гг. свидетельствует о том, что наибольшее число завалов приходится на сопряжение с лавой (табл. 1).

Таблица 1 – Случаи завалов штреков на шахтах, разрабатывающих крутые пласты (1978-2014)

Обрушения	Количество завалов		Всего
	на сопряжении	позади лавы	
Кровля	32	18	50
Почва	18	14	32
Итого	50	32	82

Как видно из табл.1, наибольшее число завалов происходит на сопряжении штрека с лавой. Это происходит за счет обрушений пород кровли (64 % случаев) и пород почвы (36 % случаев). Позади лавы завалы штреков составляют 39 % случаев.

Довольно большое число завалов штреков приходится на случаи, когда проведение горных выработок осуществляется в боковых породах ниже средней устойчивости. Опыт работы на пластах с

такими горно-геологическими условиями показал, что там, где для охраны откаточного штрека выкладывались искусственные сооружения (кусты, накатные костры), наблюдались не только обрушения пород кровли, но и сползания пород почвы. В табл. 2 представлено распределение забоев по способам управления кровлей на пластах крутого падения.

Таблица 2 – Распределение забоев по способам управления кровлей

Способ управления кровлей, (%)	Годы				
	1970	1980	1990	2000	2014
Удержание на кострах	66,4	70,3	62	67,8	74
Полное обрушение (в т.ч. в забоях с щитовыми агрегатами)	23,1	24,7	35	32,2	26
Закладка выработанного пространства	10,5	5,0	3,0	-	-

В силу различных причин, как видно из табл.2 способ управления кровлей полной закладкой выработанного пространства, в настоящее время не применяется, хотя при его использовании исключались обрушения непосредственной и осадки основной кровли, а так же сползания пород почвы. Очевидно, при полной закладке у боковых пород отсутствует возможность перемещения в разные стороны и они работают на сжатие. Поэтому безопасность ведения горных работ в значительной степени определяется способом управления кровлей в очистном забое. Известно [12, 14], что наиболее интенсивно процесс сдвижения под- и надработанной толщи развивается и протекает при способе управления кровлей в лаве полным обрушением или удержанием кровли на кострах (на практике эти способы не отличаются друг от друга) наименее интенсивно – при полной закладке выработанного пространства.

Постановка задачи

Для исследования устойчивости боковых пород на пластах с крутым залеганием были выполнены лабораторные исследования на моделях из оптических материалов. Исследования проводились на экспериментальных образцах, позволяющих моделировать напряженно-деформированное состояние массива пород в окрестности горной выработки при способах управления кровлей полным обрушением и закладкой выработанного пространства. Моделируемая глубина отвчала условиям 800 м и 1200 м, угол падения пласта 60° , мощность пласта 1,0 м. Мощность пород непосредственной кровли и почвы, составляла 2м, основной - 6м, где m –

мощность угольного пласта (м). При этом, породы непосредственной кровли и почвы по своим свойствам соответствовали породам типа глинистый сланец средней устойчивости, породы основной кровли и почвы – песчаный сланец средней устойчивости. Боковые породы условно расчленили на блоки, которые взаимодействовали между собой подобно механической системе, позволяющей выявить в первом приближении механизм раскрытия и закрытия трещин разлома. В качестве оптически чувствительного материала использовали игдантин. Было отработано 4 модели. Моделирование выполнено в соответствии с рекомендациями [15, 16].

Оптический метод, в данном случае, позволяет установить исходную картину распределения напряжений в среде, которая формируется во вмещающих породах в первый период времени после выемки угля. Для определения главных напряжений в модели использовали поле изоклин, представляющих собой геометрическое место точек, в которых направления главных напряжений одинаковы [16].

Изложение материала и результаты

Результаты моделирования представлены на рис. 1 а, б. Анализ статического поля касательных напряжений указывает на то, что при способе управления кровлей полным обрушением (при удержании на кострах) имеем максимальную концентрацию касательных напряжений в блоках пород непосредственной кровли, а так же наличие в них зияющих трещин. В наиболее неблагоприятных условиях находятся подготовительные выработки, в окрестности которых породные слои изгибаясь и зависая на значительной площади, способствуют росту максимальных касательных напряжений.

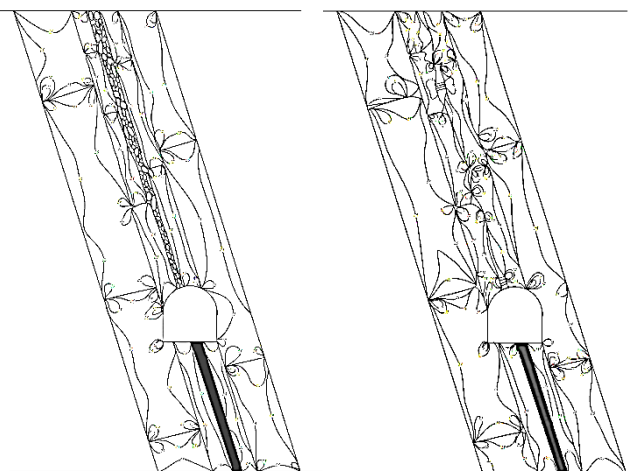


Рис. 1 – Статическое поле касательных напряжений на глубине 1200 м в окрестности горной выработки при способе управления кровлей:
а - полным обрушением;
б – закладкой выработанного пространства.

Изложенные геомеханические особенности поведения пород практически полностью устраняются или сводятся к минимуму при способе управления кровлей закладкой выработанного пространства. Данные моделирования (рис. 1,б) показывают, что применение закладки выработанного пространства снижает концентрацию напряжений во вмещающих породах. Контактирующие между собой породные блоки обеспечивают увеличение сжимающих напряжений в плоскости напластования, что способствует сохранению сплошности блочной структуры внутри рассматриваемой системы. В окрестности подготовительных выработок концентрация напряжений сводится к их минимальным значениям из-за плавного прогиба боковых пород. При этом площадь фактического касания практически не изменяется, а происходит лишь перераспределение напряжений на границе контакта. Сплошность под- и надработанных пород обеспечивается за счет увеличения сил трения и зацепления между породными блоками в кровле и почве пласта. Проведенный лабораторный комплекс исследований показал, что увеличение глубины разработки способствует росту концентрации максимальных касательных напряжений не только по контуру горных выработок, но и вглубине массива. Чем выше напряженность углепородного массива, тем больше уровень концентрации напряжений в породах кровли и почвы, а, следовательно, вероятность их обрушений.

При использовании оптического метода, применительно к решаемой задаче, считается, что концентрация напряжений приводит к пластическим деформациям, с течением времени, в местах концентрации сжимающих и растягивающих напряжений имеет место разрушение осадочного массива [21, 22].

Для того, чтобы доказать положительное влияние закладочного массива на состояние боковых пород используем некоторые положения теории сопротивления материалов [17, 18, 19, 20]. Представим породы кровли в виде балки, заделанный одним концом и нагруженный по всей длине равномерно распределенной нагрузкой q , (Н/м²) (рис. 2). Считаем, что на свободном конце балки действует сила P , (Н), причем, в разных направлениях, в зависимости от рассматриваемых условий исследований (рис. 2, а). В некоторых случаях свободный конец балки опирается на податливую опору.

Применительно к рассматриваемой задаче для достижения поставленной цели целесообразно применение известного метода сложения действия сил [17]. Установлено, что эпюра моментов от действия равномерно распределенной нагрузки имеет вид параболы, а от действия сосредоточенной силы – изменяется по прямолинейному закону. В результате сложения действия сил, приложенных к балке, нами были получены эпюры, изображенные на рис. 2, б, в, при различных условиях опирания балки.

Анализ эпюр изгибающих моментов (рис. 2 б, в) позволяет считать, что в данной системе, в результате действия на балку равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенной силы, образуется свод, внутри которого сплошность пород сохраняется. Внутри этого свода действуют сжимающие усилия, способствующие увеличению сил трения и зацепления между породными блоками. При этом, позади очистного забоя в выработанном пространстве, создаются зоны устойчивых боковых пород. Однако в месте жесткого защемления балки, последняя испытывает незначительные растягивающие напряжения, величину которых можно свести к минимуму или устранить при наличии податливой опоры на ее свободном конце (кривая 1, рис. 2, в). Наличие в выработанном пространстве податливой опоры, в виде закладочного массива, обеспечивает плавный прогиб пород и их лучшую устойчивость. Соответственно при ее минимальном отставании от очистного забоя.

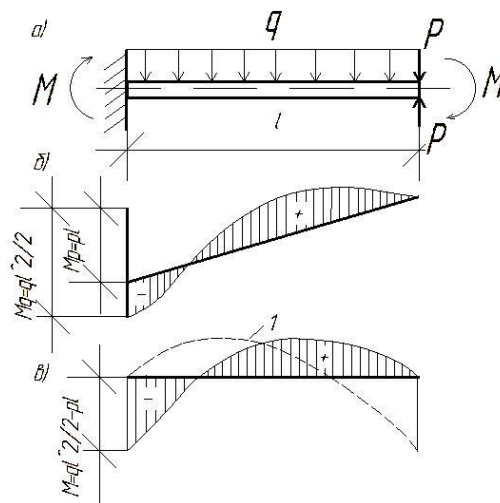


Рис. 2 – Расчетная схема к определению напряженно-деформированного состояния пород кровли (а) и эпюры изгибающих моментов (б, в);

1 – при опоре балки на податливую конструкцию.

Данные аналитических исследований позволяют сделать вывод о том, что в сравнимых условиях, геомеханические показатели применения широких податливых опор (закладочного массива) позади очистного забоя (в выработанном пространстве) улучшаются по мере увеличения жесткости закладочного массива и уменьшения ширины поддерживаемого призабойного пространства. Именно действия сжимающих напряжений в плоскости напластования обеспечивает сплошность пород кровли разрабатываемого пласта.

Таким образом, в результате выполненного комплекса исследований установлено, что механизм взаимодействия закладочного массива с оседающими породами кровли заключается в закрытии над податливым массивом трещин разлома пород и сохранении сплошности подработанной толщи. При

этом в плоскости напластования наблюдается увеличение сжимающих усилий, которые и способствуют сохранению устойчивости пород непосредственной кровли.

Вывод

В сложных горно-геологических условиях разработки крутых угольных пластов необходимо ориентироваться на способ управления кровлей закладкой выработанного пространства, или на применение широких податливых полос. При этом предварительно необходимо установить оптимальные параметры средств охраны. Закладочный массив предотвращает не только сдвигение горных пород в окрестности поддерживаемых горных выработок, но и устраняет негативные причины, которые могут проявляться в углепородном массиве и провоцировать внезапные обрушения пород как основной, так и непосредственной кровли пласта.

Список литературы:

1. **Александров, С. С.** Обґрунтування та розробка способів забезпечення безпеки праці при підтримці виробок крутих угольних пластів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01 / **Сергій Сергійович Александров**; ДВНЗ «ДонНТУ». – Красноармійськ. – 2015. – 24 с.
2. **Левкин, Н. Б.** Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / **Н. Б. Левкин** // *Монография. – Донецк: Донбасс. – 2002. – 393 с.*
3. **Радченко, В. В.** Предотвращение травматизма от обвалов и обпущений на угольных шахтах / **В. В. Радченко, Э. Н. Медведев, Н. С. Кузьменко.** – К. – 2010. – 372 с.
4. **Викторов, С. Д.** Сдвигение и разрушение горных пород / **С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров.** – М.: Наука. – 2005. – 277 с.
5. **Bieniawski, Z. T.** Estimating the Strength of Rock Materials / **Z. T. Bieniawski** // *J. S. Afr. Min. Metall.* – Vol. 74. – 1974. – P. 312-320. – doi:10.1016/0148-9062(74)91782-3.
6. **Hoek, E.** Practical estimates of rock mass strength / **E. Hoek, E. T. Brown** // *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1997. – № 34 (8). – P. 165-168. – doi:10.1016/S1365-1609(97)80069-X.
7. **Alber, M.** Investigation of Limestone Pillar Failure / **M. Alber, J. Heiland** // *Rock Mech. Rock Engng.* – 2001. – № 34 (3). – P. 167-186. – doi:10.1007/s006030170007.
8. **Шашенко, А. Н.** Масштабный эффект в горных породах / **А. Н. Шашенко, Е. А. Сдвижкова, С. В. Кужель.** – Днепропетровск.: АРТ-Пресс. – 2004. – 132 с.
9. **Николин, И. В.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / **И. В. Николин, С. В. Подкопаев, А. В. Агафоноф.** – Донецк: Норд-Пресс. – 2005. – 232 с.
10. **Александров, С. С.** Изучение процессов расслоения боковых пород при отработке крутых пластов на современных глубинах // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках / **С. С. Подкопаев, А. Н. Михайлов, Т. О. Худолей** – Симферополь: Таврический нац. ун-т. – 2009. – С. 236-238.
11. **Александров, С. С.** Изучение склонности боковых пород к обрушениям на пластах крутого падения / **С. С. Александров** // *Вісті Донецького гірничого інституту.* – 2001. – № 2. – С. 236-240.
12. **Андрушко, В. Ф.** Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях / **В. Ф. Андрушко, С. А. Саракитянец, Ю. Г. Спицын.** – К.: Техника. – 1985. – 372 с.
13. **Жуков, В. Е.** Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов // *Уголь Украины.* – 2001. – № 7. – С. 6-10.
14. **Зборщик, М. П.** Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства / **М. П. Зборщик, С. В. Подкопаев** // *Уголь Украины.* – 1992. – № 5. – С. 20-23.
15. **Методические указания** по изготовлению моделей из оптически чувствительных материалов для исследования проявлений горного давления. – Л.: ВНИМИ. – 1970. – 180 с.
16. **Хаймова-Малькова, Р. И.** Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. – Наука. – 1970. – 194 с.
17. **Беляев, Н. М.** Сопровождение материалов / **Н. М. Беляев.** – М.: Наука. – 1965 – 856 с.
18. **Beer, F. P.** *Mechanics of Materials.* 7th Edition / **F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. De Wolf, D. F. Mazurek.** – New York: McGraw-Hill Educations. – 2016. – 896 p.
19. **Ramachandran S. et al.** *Mechanics of Solids (Strength of Materials).* – Airwalk Publications. – 2016. – 838 p.
20. **Subramanian, R.** *Strength of Materials.* 2nd Edition. – Oxford University Press, UK. – 2010. – 1041 p.
21. **Баклашов, И. В.** Геомеханика. Т.1. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та. – 2004. – 208 с.
22. **Баклашов, И. В.** Деформируемость и разрушение породных массивов. – М.: Недра. – 1988. – 271 с.

Bibliography: (transliterated)

1. **Aleksandrov, S. S.** Obgruntuvannya ta rozrobka sposobiv zabezpechennya bezpeky pratsi pry pidtrymtsi vyrobok krutykh vuhil'nykh plastiv: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 05.26.01 / Serhiy Serhiyovych Aleksandrov; DVNZ «DonNTU, Krasnoarmiys'k, 2015, 24 p.
2. **Levkin, N. B.** Predotvrashhenie avarij i travmatizma v ugoľnyh shahtah Ukrainy. Monografija. Doneck: Donbass, 2002, 393 p.
3. **Radchenko, V. V., Medvedev, Je. N., Kuz'menko, N. S.** Predotvrashhenie travmatizma ot obvalov i obpushenij na ugoľnyh shahtah. Kyiv, 2010, 372 p.
4. **Viktorov, S. D., Iofis, M. A., Goncharov, S. A.** Sdvizhenie i razrushenie gornyh porod. Moskov: Nauka, 2005, 277 p.
5. **Bieniawski Z.T.** Estimating the Strength of Rock Materials. *J.S.Afr.Min.Metall.*, 1974, 74, 312-320.
6. **Hoek E., Brown E.T.** Practical estimates of rock mass strength. - *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* – 1997, № 34 (8) – p.p. 165-168.
7. **M. Alber and J. Heiland:** Investigation of Limestone Pillar Failure. *Rock Mech. Rock Engng.* - 2001. - № 34 (3) – p.p. 167-186.
8. **Shashenko, A. N., Sdvizhikova, E. A., Kuzhel', S. V.** Masshtabnyj jeffekt v gornyh porodah. Dnepropetrovsk: ART-Press, 2004, 132 p.
9. **Nikolin, I. V., Podkopae, S. V., Agafonof, A. V.** Snizhenie travmatizma ot projavlenij gornogo davlenija. Doneck: Nord-Press. 2005, 232 p.
10. **Aleksandrov, S. S., Mihajlov, A. N., Hudolej, T. O.** Izuchenie processov rassloenija bokovyh porod pri otrabotke krutyh plastov na sovremennyh glubinah // Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami i dinamicheskie javlenija

- v gornyh porodah i vyrabotkakh. Simferopol': Tavricheskij nac. un-t. 2009, 236-238.
11. **Aleksandrov, S. S.** Izuchenie sklonnosti bokovih porod k obrushenijam na plastah krutogo padenija. *Visti Doneckogo girnichogo institutu*, 2001, 2, 236-240.
 12. **Andrushko, V. F., Sarakitjanc, S. A., Spicyn, Ju. G.** Upravlenie krovlej v slozhnyh gorno-geologicheskikh uslovijah. Kyiv: Tehnika, 1985, 372 p.
 13. **Zhukov, V.E.** Ob odnoj strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutyh plastov. *Ugol' Ukrainy*. 2001, 7, 6-10.
 14. **Zborshhik, M. P., Podkopaev, S. V.** Mehanizm povyshenija ustojchivosti krovli v lavah pri primenenii zakladki vyrabotannogo prostranstva *Ugol' Ukrainy*, 1992, 5, 20-23.
 15. Metodicheskie ukazaniya po izgotovleniju modelej iz opticheski chuvstvitel'nyh materialov dlja issledovanija proyavlenij gornogo davlenija. Lviv: VNIMI, 1970, 180 p.
 16. **Haimova-Mal'kova, R. I.** Metodika issledovanija naprjazhenij poljarizacionno-opticheskim metodom, Nauka, 1970, 194 p.
 17. **Beljaev, N. M.** Soprotivlenie materialov. Moskow: Nauka, 1965, 856 p.
 18. **Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., Mazurek, D. F.** Mechanicson of Materials. 7th Edition. *New York: McGraw-Hill Educations*, 2016, 896 p.
 19. **Ramachandran, S.** et al. Mechanics of Solids (Strength of Materials). *Airwalk Publications*, 2016, 838 p.
 20. **Subramanian, R.** Strength of Materials. 2nd Edition. – Oxford University Press, UK, 2010, 1041 p.
 21. **Baklashov, I. V.** Geomehanika. Moskow: *Izd-vo Moskovskogo gos. gornogo un-ta*, 2004, T.1, 208 p.
 22. **Baklashov, I. V.** Deformiruemost' i razrushenie porodnyh massivov. Moskow: Nedra, 1988, 271 p.

Сведения об авторах (About authors)

Пугач Иван Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»; г. Днепр, Украина; e-mail: pugachivan@ukr.net.

Pugach Ivan – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Public higher education institution National Mining University, Днепр, Ukraine; e-mail: pugachivan@ukr.net.

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.

Podkopaev Sergey – 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

Iordanov Igor – 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.

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

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пугач, И. И. Исследования устойчивости боковых пород в сложных горно-геологических условиях / **И. И. Пугач, С. В. Подкопаев, И. В. Иорданов, Д. А. Чепига** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

Please cite this article as:

Pugach, I., Podkopaev, S., Iordanov, I., Chepiga, D. Investigation of the stability of wall rocks in difficult mining and geological conditions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 42 (1214), 111–116, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пугач, І. І. Дослідження стійкості бічних порід в складних гірничо-геологічних умовах / **І. І. Пугач, С. В. Подкопаєв, І. В. Іорданов, Д. А. Чепіга** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.18.

АНОТАЦІЯ У даній статті розглядаються питання дослідження стійкості бічних порід гірничих виробок в умовах розробки крутих пластів. На основі виконаних досліджень дається порівняння способів управління покрівлею - повним обваленням і утриманням на костах, а також закладкою виробленого простору як засобів, що обмежують деформацію бічних порід. Представивши породи покрівлі у вигляді балки і застосувавши основні положення теорії опору матеріалів, виконана оцінка напружено-деформованого стану порід і зроблено висновок про ефективність застосування закладки виробленого простору.
Ключові слова: призабійний простір; травматизм; управління покрівлею; зрушення гірських порід; повне обвалення; костри.

Поступила (received) 13.12.2016

КОНТРОЛЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ

Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА*, Н. О. МАТВИЄНКО

Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: eechaikovskaya@gmail.com

АНОТАЦІЯ Запропонована інтегрована система підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника контура охолодження двигуна. Прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника надає можливість підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти при використанні підігріву масла теплою біодизелею. Такий підхід дозволяє, наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи номінальною потужністю 451 кВт знизити собівартість виробництва енергії в межах 20–30 %.

Ключові слова: когенераційна установка; біодизельне паливо; контроль працездатності; прийняття рішень.

CONTROL WORKING ABILITY OF THE COGENERATION SYSTEM ON BIODIESEL FUEL

E. CHAIKOVSKAYA *, N. MATVIENKO

Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The proposed architecture of the cogeneration system, which is the basis integrated dynamic subsystem – cogeneration plant, heat exchanger cooling circuit of the engine, biodiesel plant, heat exchanger heating oil heat biodiesel and power, charge, discharge, assessment of functional performance that are agreed upon interaction with dynamic subsystem. Complex mathematical modeling speakers exchanger cooling circuit of the engine allows define tolerances to temperature change local water levels established for the operation. A complex mathematical and logical modeling efficiency cogeneration control system for obtaining functional evaluation of local water temperature changes. Block diagram of temperature maintenance of local water-level decision-making to determine the final information on the decision to change the number plates of the heat exchanger by comparing the coolant temperature, the heating, the outlet of the heat exchanger cooling circuit of the engine, measured from the reference value. The proposed integrated system of support for local water temperature when measured coolant temperature, the heating, the outlet of the heat exchanger cooling circuit of the engine. Deciding to change the number plate heat exchanger allows you to maintain the ratio of production of electricity and heat using heating oil heat biodiesel. Ensured continuous operation of the cogeneration system to be able to develop additional energy savings gained equivalent fuel and cash income. The presented research is a continuation of work towards harmonization of production and consumption of biofuels can be used for cogeneration systems with different power related performance biodiesel plants in their composition. This approach allows, for example, in terms of functioning cogeneration system nominal capacity of 451 kW reduce the cost of energy production within 20-30%.

Keywords: cogeneration plant; biodiesel; control of operation; making decisions.

Вступ

В умовах ресурсо та енергозбереження основною перевагою когенераційних технологій щодо виробництва електричної енергії та теплоти від одного первинного джерела енергії є можливість використання біопалива як відновлюваного джерела енергії [1,2]. Більш того, реалізація виробленої енергії за “зеленим тарифом” є достатньо стимулюючим фактором щодо удосконалення систем підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти при не постійності їх споживання [2]. При виробництві біодизелю застосовують як традиційні, так і новітні технології. Так, наприклад, в ультразвукових реакторах інтенсифікація тепломасообміну процесу етерифікації дозволяє зменшити кількісний склад допоміжних речовин та скоротити термін виходу біодизелю, але значно здорожує виробництво [3]. Роторно-

пульсаційні апарати дозволяють локально уводити енергію та дискретно її розподіляти щодо імпульсного впливу на перемішування складових хімічної реакції. Але такий метод може викликати пульсацію потоків робочих тіл, що ускладнює процес етерифікації та працездатність обладнання [4]. Підвищенню ефективності виробництва біодизелю, наприклад, присвячена робота [5], в якій представлено обґрунтування переробки побічного продукту – гліцерину в метанол без передбачуваного зневоднення з використанням спеціального каталізатора. В роботах [6, 7] досліджено вплив якості сировини на склад продуктів згоряння біодизелю, а в роботах [8, 9] встановлено вплив оптимізації процесу спалювання біодизелю на зміну шкідливих викидів. Запропоновані системи підтримки функціонування біодизельних установок не враховують значну теплову акумулюючу ємність масла та базуються на вимірюванні температури масла щодо зміни

витрати масла для підтримки процесу етерифікації, що може порушити необхідний баланс потоків щодо постійного виходу біодизелю. При використанні біодизелю, виробництво якого потребує до 20% виробленої енергії на підтримку процесу етерифікації щодо підігріву масла, необхідно, включивши до складу біодизельної установки теплообмінник підігріву масла біодизелем, забезпечити підтримку температури місцевої води контуру охолодження двигуна когенераційної системи в умовах підтримки співвідношення споживання теплоти та електричної енергії. Цілодобове ж функціонування біодизельних установок дозволяє розширити термін функціонування когенераційних систем щодо додаткового вироблення енергії при гарантованому забезпеченні біодизелем. Так, в роботі [10] запропонована технологія функціонування біодизельної установки, яка дозволяє підтримувати підігрів масла в теплообміннику, що входить до її складу, при вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника. Використання інтегрованої системи оцінки зміни температури масла, здобутої на основі математичного та логічного моделювання у складі когенераційної системи, надає можливість приймати рішення на зміну кількості пластин теплообмінника для забезпечення постійного виходу біодизелю та своєчасну зміну підігрітого та свіжого масла.

Мета роботи

Мета роботи – розробка інтегрованої системи підтримки температури місцевої води контуру охолодження двигуна в умовах підігріву масла теплотою біодизелю щодо узгодження виробництва та споживання енергії. З цієї ціллю необхідно виконати комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо прогнозування зміни температури місцевої води при вимірюванні температури теплоносія, що гріє на виході з теплообмінника та температури зворотної води; розробити структурні схеми комплексного математичного та логічного моделювання щодо контролю працездатності когенераційної системи, прийняття рішень та ідентифікації нових умов функціонування при зміні споживання теплоти, що обумовлено підігрівом масла теплотою біодизелю.

Контроль працездатності когенераційної системи на біодизельному паливі

Для здобуття еталонної та функціональної інформації щодо прийняття рішень на підтримку температури місцевої води в контурі охолодження двигуна запропонована архітектура когенераційної системи, основою якої є інтегрована динамічна підсистема – (когенераційна установка, теплообмінник контуру охолодження двигуна, біодизельна установка, теплообмінник підігріву масла теплотою біодизелю) та блоки, заряду, розряду, оцінки функціональної ефек-

тивності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою (рис. 1).

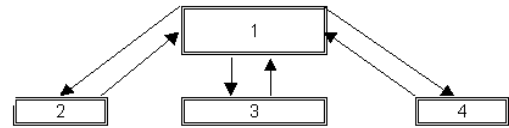


Рис. – 1. Архітектура когенераційної системи: 1 – динамічна підсистема (когенераційна установка, теплообмінник контуру охолодження двигуна, біодизельна установка, теплообмінник підігріву масла теплотою біодизелю); 2 – блок розряду; 3– блок заряду; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи:

$$CS = ((D(P(\tau)(x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau))), Z(\tau), P(\tau)), R(\tau), (P_i(\tau)(x_i(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau))))).$$

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема (когенераційна установка, теплообмінник контуру охолодження двигуна, біодизельна установка, теплообмінник підігріву масла теплотою біодизелю); P – властивості елементів когенераційної системи; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; R –логічні відносини в CS ; τ – час, с. Індекси: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Основою для підтримки температури місцевої води щодо здобуття як гранично припустимої, так і функціональної інформації є математична модель динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна когенераційної системи, що оцінює зміну температури місцевої води як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком потоку руху середовища та представлена передатною функцією за каналом «температура місцевої води – температура теплоносія, що гріє», від контуру охолодження двигуна:

$$W_{i-9_i} = \frac{K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{L_b \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma_i \xi}),$$

де $K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}$; $\varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{b0} h_{b0}}$;

$$L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1}; \quad L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}; \quad L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}};$$

$$\beta = T_m S + \varepsilon^* + 1; \quad T_m = \frac{g_m C_m}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad \varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_3^*);$$

$$\gamma = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{L_b \beta}; \quad T_b = \frac{g_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}};$$

$$\gamma_1 = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{\beta}; \quad \xi = \frac{z}{L_b},$$

де t , σ , θ – температура місцевої води, теплоносія, що гріє, поділяючої стінки, К, відповідно; G – витрата речовини, кг/с; C – питома теплоємність, кДж/(кг·К); α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); h – питома поверхня, м²/м; g – питома маса речовини, кг/м; z – координата довжини теплообмінника, м; T_b , T_m – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність робочого тіла, метала, с; m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; S – параметр перетворення Лапласа. Індеси: в – внутрішній потік– місцева вода, м – металева стінка, з – зовнішній потік–теплоносій, що гріє; 0, 1 – початкові умови, вхід в теплообмінник, відповідно.

Після математичної обробки здобутої функції виділено дійсну частину, $O(\omega)$, що має такий вигляд:

$$O(\omega) = \frac{(L_1 A_1) + (M_1 B_1) K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{(A_1^2 + B_1^2)}.$$

Температура поділяючої стінки θ , що входить до складу коефіцієнта K_3 :

$$\theta = (\alpha_b (\sigma_1 + \sigma_2) / 2) + A(t_1 + t_2) / 2 / (\alpha_b + A)$$

де $A = 1 / (\delta_m / \lambda_m + 1 / \alpha_z)$,

δ – товщина стінки теплообмінника, м;
 α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К);
 λ – теплопровідність металу стінки теплообмінника, кВт/(м·К);

σ_1 , σ_2 – температура теплоносія, що гріє, на вході, та на виході із теплообмінника, К;

t_1 , t_2 – температура місцевої води на вході та на виході із теплообмінника, К;

Для одержання коефіцієнтів у складі дійсної частини $O(\omega)$ здобуто такі вирази:

$$A_1 = \varepsilon^* - T_b T_m \omega^2; \quad A_2 = \varepsilon^* + 1;$$

$$B_1 = T_b \varepsilon \omega - T_b \omega + T_m \omega; \quad B_2 = T_m \omega;$$

$$C_1 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}; \quad D_1 = \frac{A_2 B_1 + A_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2};$$

$$L_1 = 1 - e^{-\xi C_1} \cos(-\xi D_1); \quad M_1 = -e^{-\xi C_1} \sin(-\xi D_1).$$

З використанням інтеграла переходу з частотної області до області часу зміна температури місцевої води як за часом, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника має такий вид:

$$t(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} O(\omega) \sin(\tau\omega / \omega) d\omega.$$

Для здобуття гранично припустимої оцінки зміни температури місцевої води розроблено структурну схему, що представлена для вихідних даних когенераційної системи з використанням біодизельної установки продуктивністю 24000 л/добу біодизелю.

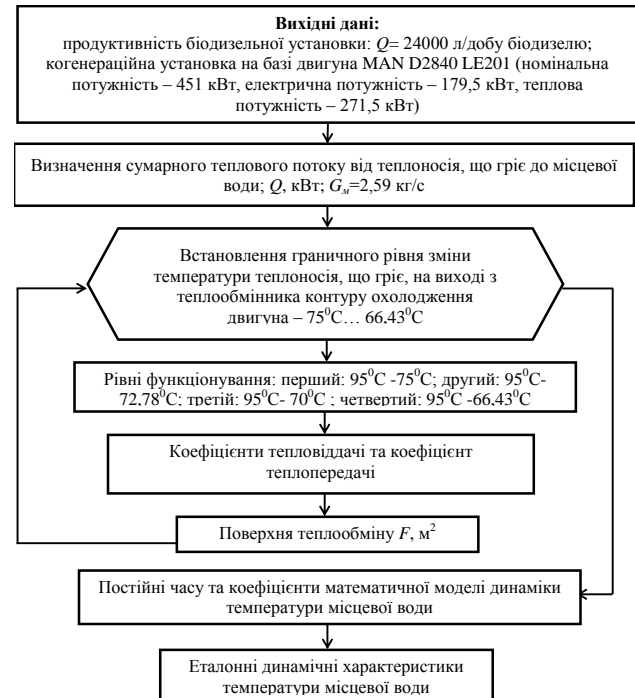


Рис. – 2. Структурна схема комплексного математичного моделювання теплообмінника контуру охолодження двигуна; G_m – витрата місцевої води, кг/с

В межах запропонованої циклічної структури для підтримки температури підігріву місцевої води з 30°C до 55°C встановлено наступні рівні функціонування когенераційної системи щодо зміни температури теплоносія, що гріє на виході з теплообмінника: перший рівень: 95°C– 75°C; другий рівень: 95°C– 72,78°C; третій рівень: 95°C–70°C; четвертий рівень: 95°C–66,43°C, які відповідають зміні поверхні теплообміну щодо зміни кількості пластин теплообмінника: 46, 40, 34, 26. В табл. 1, 2, 3 представлені результати комплексного математичного моделювання динаміки контуру охолодження двигуна щодо здобуття еталонної та функціональної інформації.

Таблиця 1 – Параметри теплообміну в теплообміннику контуру охолодження двигуна

Рівні функціонування	Параметр		
	α_z , Вт/(м ² ·К)	α_b , Вт/(м ² ·К)	k , Вт/(м ² ·К)
Перший рівень	11105,41	8302,588	4136,66
Другий рівень	11411,22	9117,61	4375,2
Третій рівень	11785,71	10166,47	4662,85
Четвертий рівень	12239,66	11578,85	5017,16

Примітка: α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, що гріє до стінки теплообмінника, $Вт/(м^2 \cdot К)$; $\alpha_в$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до місцевої води, $Вт/(м^2 \cdot К)$; k – коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot К)$.

Таблиця 2 – Постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки температури місцевої води

Рівні функціонування	$T_{в, с}$	$T_{м, с}$	ϵ	ϵ^*
Перший рівень	0,595	0,217	1,62	1,60
Другий рівень	0,542	0,198	1,52	1,50
Третій рівень	0,486	0,177	1,41	1,38
Четвертий рівень	0,427	0,156	1,28	1,25

Таблиця 3 – Постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки температури місцевої води

Рівні функціонування	$L_3, м$	$L_в,$	$L_3^*,$	ζ
Перший рівень	68,33	88,62	0,0144	0,649
Другий рівень	59,85	80,69	0,0164	0,680
Третій рівень	51,51	72,37	0,0190	0,720
Четвертий рівень	43,40	63,54	0,0225	0,772

Представлена структурна схема (рис. 2) дозволяє, здобувши постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки температури місцевої води, визначити гранично припустиму зміну температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування (рис. 3).

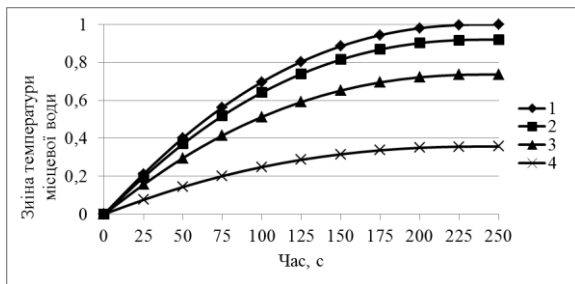


Рис. 3. – Допуски на граничну зміну температури місцевої води: 1, 2, 3, 4 – перший, другий, третій, четвертий рівні функціонування, відповідно

Для контролю працездатності когенераційної системи запропоновано структурну схему комплексного математичного та логічного моделювання з використанням метода графа причинно-наслідкових зв'язків [2, 10] щодо здобуття функціональної інформації (рис. 4).

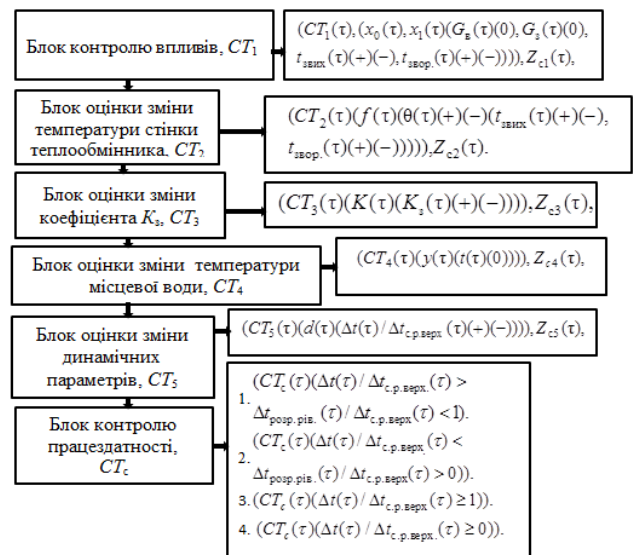


Рис. 4. – Структурна схема комплексного математичного та логічного моделювання:
 $t_{з.вих}$ – температура теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника, $К$; CT – контроль події; Z – логічні відносини; d – динамічні параметри; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; y – вихідні параметри; K – коефіцієнти математичного опису;
 $K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}$ – коефіцієнт математичної моделі динаміки теплообмінника, де, θ – температура стінки теплообмінника, $^{\circ}C$; G_3 – витрата теплоносія, що гріє, $кг/с$. Індеси: c – контроль працездатності; $з. вих.$ – температура теплоносія, що гріє на виході з теплообмінника; $звор.$ – температура зворотної води; $с. р. верх.$ – стале розрахункове значення параметра першого рівня функціонування; $роз. рів.$ – розрахункове значення параметра рівня функціонування; $0, 1, 2$ – початковий стаціонарний режим, зовнішні, внутрішні параметри; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри

При безперервному вимірюванні температури теплоносія, що гріє на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна, що порівнюються з еталонним значенням рівня функціонування, з використанням логічної структури в межах циклу запропоновано виконувати включення чи відключення пластин теплообмінника щодо підігріву місцевої води на основі здобутої інформаційної оцінки (1), (2), відповідно (рис. 5).

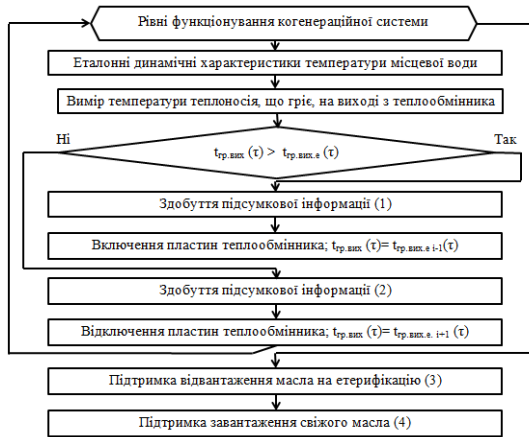


Рис. 5. – Структурна схема підтримки температури місцевої води на рівні прийняття рішень: $t_{гр.вих}$, $t_{гр.вих.е}$ – функціональна та еталонна температура теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника; τ – час, с. Індекси: i – число рівнів функціонування

Підтвердження правильності прийнятих рішень виконано на основі запропонованої структурної схеми ідентифікації стану когенераційної системи (рис. 6), що розроблена на основі графа причинно-наслідкових зв'язків [2, 10].

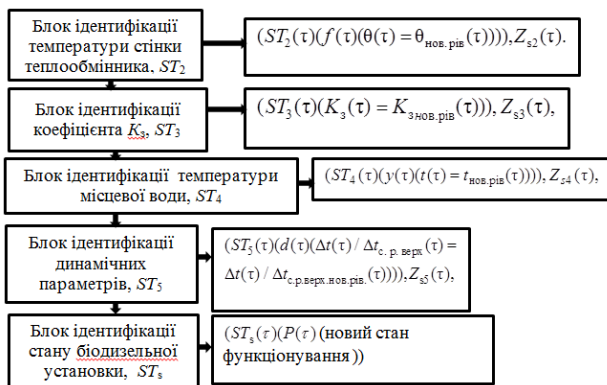


Рис. 6. – Структурна схема логічного моделювання ідентифікації стану когенераційної системи: ST – ідентифікація стану; P – властивості когенераційної системи; Z – логічні відносини; d – динамічні параметри; t – температура місцевої води, K ; f – параметри, що діагностуються; y – вихідні параметри; K – коефіцієнти математичного опису; $K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}$ – коефіцієнт

математичної моделі динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна, де, θ – температура стінки теплообмінника, K , відповідно; G – витрата теплоносія, що гріє, кг/с; Індекси: s – стан; верх. – перший рівень функціонування; нов. рів. – новий рівень функціонування; с. р. верх. – стале розрахункове

значення параметра першого рівня функціонування; 0, 2 – початковий стаціонарний режим, внутрішні параметри; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри

Так, наприклад, підвищення температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна з 66,43°C до 68,5°C та температури зворотної води з 30°C до 32°C потребує прийняття рішення на зміну кількості пластин теплообмінника з 26 на 34 щодо переходу з четвертого рівня функціонування на третій (рис. 7).

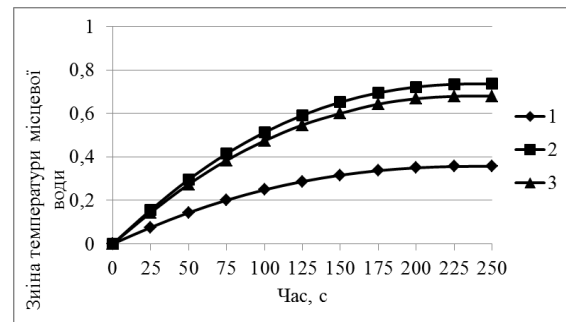


Рис. 7 – Контроль працездатності та підтвердження стану когенераційної системи при переході з четвертого рівня функціонування на третій: 1, 2 – допуски четвертого та третього рівнів функціонування, відповідно; 3 – прийняття рішення та ідентифікація нових умов функціонування щодо зміни кількості пластин з 26 на 34

Здобуття ж підсумкової інформації (3) при досягненні температури теплоносія, що гріє на виході з теплообмінника – 77 °C, а температури зворотної води до 34 °C свідчить про завершення підігріву масла теплотою біодизелю та надає можливість з використанням інформаційної оцінки (4) входження в допуск четвертого рівня функціонування включенням 26 пластин теплообмінника для підтримки завантаження свіжого масла на підігрів теплотою біодизелю (рис. 8).

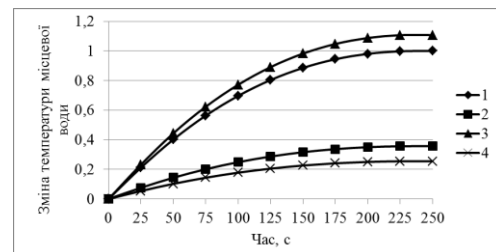


Рис. 8 – Контроль працездатності та підтвердження стану когенераційної системи щодо зміни режимних умов функціонування: 1, 2 – допуски першого та четвертого рівнів функціонування, відповідно; 3, 4 – підтвердження відвантаження підігрітого масла та завантаження свіжої сировини, відповідно

На основі запропонованої архітектури когенераційної системи (рис. 1) та розроблених структурних схем (рис. 2, 4, 5, 6), що апробовані для підтримки функціонування когенераційної системи для фіксованого інтервалу часу, розроблено інтегровану систему підтримки температури місцевої води (рис. 9), що надає можливість приймати рішення на зміну поверхні теплообміну теплообмінника контуру охолодження двигуна при впродовж терміну підігріву масла теплою біодизелем [10] при безперервному вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна та температури зворотної води.

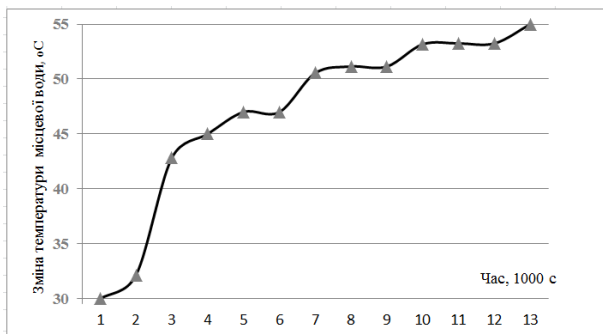


Рис. 9 – Інтегрована система підтримки температури місцевої води у складі когенераційної системи

Запропонована система дозволяє узгоджувати заряд – розряд біодизельної установки щодо підігріву масла біодизелем [10] із зарядом – розрядом когенераційної системи з урахуванням терміну подачі підігрітого масла до біодизельного реактора та завантаженням свіжого масла.

Обговорення результатів

В результаті проведених досліджень збута аналітична оцінка зміни температури місцевої води, встановлено допуски на граничну працездатність когенераційної системи при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, контуру охолодження двигуна та температури зворотної води. Розроблено системи контролю підтримки зміни температури місцевої води для фіксованого інтервалу часу та впродовж терміну підігріву масла теплою біодизелем, що дозволяє підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти. Забезпечено безперервне функціонування когенераційної системи для можливості додаткового вироблення енергії, збуто економію умовного палива та грошовий прибуток. Представлені дослідження, що є продовженням роботи в напрямку узгодження виробництва та споживання біопалива [2, 10], можуть бути апробовані для когенераційних систем різної потужності з відповідною продуктивністю біодизельних установок у їх складі.

Висновки

1. Запропоновано структурну схему комплексного математичного моделювання динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна, що надає можливість визначати граничну зміну температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування.

2. Запропоновані структурні схеми комплексного математичного та логічного моделювання щодо контролю працездатності та ідентифікації стану когенераційної системи для здобуття функціональної оцінки зміни температури місцевої води.

3. Запропоновано структурну схему підтримки температури місцевої води рівні прийняття рішень. Особливістю цієї схеми є порівняння температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна, що вимірюється, з еталонним значенням та визначення підсумкової інформації щодо прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника.

4. Запропоновано інтегровану систему підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна та температури зворотної води, що дозволяє, наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи номінальною потужністю 451 кВт знизити собівартість виробництва енергії в межах 20–30 %.

Список літератури

1. Гелетуха, Г. Г. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2 / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, П. П. Кучерук, Е. Н. Олейник, А. В. Грибой // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 65–73.
2. Чайковська, Є. Є. Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system / Є. Є. Чайковська // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – Т. 3, № 8 (81). – С. 42–46. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.
3. Maghami, M. Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods / M. Maghami., S. M. Sadrameli, B. Ghobadian // *Applied Thermal Engineering*. – 2015. – Vol. 75. – P. 575–579. – doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.062.
4. Долинский, А. А. Инновационные тепломассобменные технологии производства биотоплива из растительного сырья / А. А. Долинский, Л. Н. Грабов, В. И. Мерций, Т. Л. Грабова // *Промышленная теплотехника*. – 2006. – № 5. – С. 70–75.
5. Osman, S. More efficient production of plant biodiesel / S. Osman // *Nature Middle East*. – 2015. – doi: 10.1038/nmiddleeast.2015.171.
6. Patel, N. K. Biodiesel from Plant Oils / N. K. Patel, S. N. Shah // *Food, Energy, and Water*. – 2015. – P. 277–307. – doi: 10.1016/b978-0-12-800211-7.00011-9.
7. Kovacs, A. The effect of biodiesel by – products on germination and plant growth / A. Kovacs // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2015. – Vol. 13, Issue 4. – P. 1171–1181. – doi: 10.15666/aeer/1304_11711181.

- 8 **Hawrot-Paw, M.** Influence of diesel and biodiesel fuel-contaminated soil on microorganisms, growth and development of plants / **M. Hawrot-Paw, A. Wijatkowski, M. Mikiciuk** // *Plant, Soil and Environment*. – 2015. – Vol.61, Issue 5. – P.189–194. – doi: 10.17221/974/2014-pse.
- 9 **Lambosi, L.** Emission and Performance Characteristic of Biodiesel Burner System / **L. Lambosi, A. Khalid, B. Manshoor** // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 773-774. – P.540–544. – doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.540.
- 10 **Чайковська, Є. Є.** Розробка енергозберігаючої технології підтримки функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи / **Є. Є. Чайковська** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – 2016. – № 1/8 (79). – С.4 – 11. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479.
- Engineering*, 2015, **75**, 575–579, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.062.
- 4 **Dolinski, A. A., Grabov, L. N., Merchi, V. I., Grabova, T. L.** Innovative heat and mass transfer technology of biofuel production from plant material. *Industrial Heat*, 2006, **5**, 70–75.
- 5 **Osman, S.** More efficient production of plant biodiesel. *Nature Middle East*. 2015, doi: 10.1038/nmiddleeast.2015.171.
- 6 **Patel, N. K., Shah, S. N.** Biodiesel from Plant Oils. *Food, Energy, and Water*, 2015, 277–307, doi: 10.1016/b978-0-12-800211-7.00011-9.
- 7 **Kovacs, A.** The effect of biodiesel by – products on germination and plant growth. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2015, **13**(4), 1171–1181, doi: 10.15666/aeer/1304_11711181.
- 8 **Hawrot-Paw, M., Wijatkowski, A., Mikiciuk, M.** Influence of diesel and biodiesel fuel-contaminated soil on microorganisms, growth and development of plants. *Plant, Soil and Environment*, 2015, **61** (5), 189–194, doi: 10.17221/974/2014-pse.
- 9 **Lambosi, L., Khalid, A., Manshoor, B.** Emission and Performance Characteristic of Biodiesel Burner System: A Review. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, **773-774**, 540–544, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.540.
- 10 **Chaikovskaya, E. E.** The development of energy-saving technology support operation of biodiesel plant of the composition of cogeneration system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **1/8**(79), 4–11, doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Heletuha, H. H. Gelieznaia, T. A. Kuchtruk, P. P. Olienic, E. N. Triboi, A. B** Bioenergy in Ukraine: Current State and Prospects for Development. Part 2. *Industrial Heat Engineering*, 2015, **3**(37), 65 - 73.
- 2 **Chaikovskaya, E. E.** Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **3/8**(81), 42–46, doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.
- 3 **Maghami, M., Sadrameli, S. M., Ghobadian, B.** Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods. *Applied Thermal*

Відомості про авторів (About authors)

Чайковська Євгенія Євстафіївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5663-2707>.

Chaikovskaya Eugene – PhD, Senior Reseacher, Odessa National Polytechnic University, Associate Professor, Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa, Ukraine, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com

Матвієнко Наталія Олексіївна – магістр, Одеський національний політехнічний університет, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна, e-mail: nata08031994@yandex.ua

Matvienko Natalia – magister, Odessa National Polytechnic University, Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa, Ukraine, e-mail: nata08031994@yandex.ua

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чайковська, Є. Є. Контроль працездатності когенераційної системи на біодизельному паливі / **Є. Є. Чайковська, Н. О. Матвієнко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 117-123. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.19.

Please cite this article as:

Chaikovskaya Eugene, Matvienko Natalia Control working ability of the cogeneration system on biodiesel fuel. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 117–123, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.19.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чайковская, Е. Е. Контроль работоспособности когенерационной системы на биодизельном топливе / **Е. Е. Чайковская, Н. А. Матвиенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 117-123. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.19.

АННОТАЦІЯ Предложена интегрированная система поддержания температуры местной воды при измерении температуры греющего теплоносителя на выходе из теплообменника контура охлаждения двигателя. Принятие решений на изменение количества пластин теплообменника позволяет поддерживать соотношение производства электрической энергии и теплоты при использовании подогрева масла теплотой биодизеля. Такой подход, например, в условиях функционирования когенерационной системы номинальной мощностью 451 кВт обеспечивает снижение себестоимости производства энергии в пределах 20-30%.

Ключевые слова: когенерационная установка; биодизельное топливо; контроль работоспособности; принятие решений

Надійшла (received) 13.12.2016

УДК 621.314.25

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.20

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА И МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ

Е. В. ЯГУП*Кафедра «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика», УкрДУЗТ, г. Харьков, УКРАИНА*

АННОТАЦИЯ Рассматривается оптимизация режима работы трехфазной сети электроснабжения с неравномерной активно-индуктивной нагрузкой. Возникающая при этом несимметрия сетевых токов и реактивная мощность устраняются с помощью активного фильтра, представляющего собой мостовой инвертор на IGBT-транзисторах. Управление ключами инвертора осуществляется системой управления с использованием широтно-импульсной модуляции по гистерезисному принципу. Для оптимизации режима системы используется соответствующая визуальная модель и оптимизационный алгоритм деформируемого многогранника. Оптимизация режима осуществляется путем стабилизации напряжения на накопительном конденсаторе.

Ключевые слова: активный фильтр; оптимизация; несимметрия; реактивная мощность; система электроснабжения.

OPTIMIZATION OF MODE OF UNBALANCED THREE-PHASE SYSTEM USING ACTIVE FILTER AND MODIFY CONTROL ALGORITHM

E. YAGUP*Department "Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics", Ukrainian State University of Railway Transport (USURT), Kharkov, UKRAINE*

ABSTRACT The optimization of operating modes of three-phase power supply network with unbalance active-inductive load is considered. Increase of line currents amplitudes and emergence of reactive power take place in such mode. These cases cause as losses in power line, as harm for its consumers. Therefore the problem, which is under consider, is actual. The resulting asymmetry of this line currents and reactive power are compensated with using a parallel active filter, which is a bridge inverter on the IGBT-transistors. Control of inverter keys is carried out by the control system with the implementation of the pulse-width modulation on hysteresis principle. A result of comparison of line current and signal from the reference current source is supplied on hysteresis element. Whereby pulses of various widths are formed, which control inverter switches so as to form an acceptable mode of operation of the network. The corresponding visual model and the optimization algorithm of the flexible polyhedron are used to optimize the system mode. The optimization is carried out by stabilization of the voltage reservoir capacitor, and optimization parameters are the amplitude of signal of reference current source and the initial capacitor voltage. The stabilization of capacitor voltage is realized by means of mathematical operations with the values of the capacitor voltage measured at the end of each oscillation period. As a result of search optimization take place complete balancing of the network currents, their amplitude decreased in four times, the reactive power has been reduced to zero, and the optimal initial voltage of the capacitor has reduced the transient current amplitude and in its mode.

Keywords: active filter; search optimization; unbalance; reactive power; the system of electric supply.

Введение

Несимметричный режим работы систем электроснабжения распространен в системах железнодорожного транспорта, сельскохозяйственных системах, а так же в системах электроснабжения коммунального хозяйства, где преобладает нагрузка одной из фаз. Это вызывает такие негативные последствия, как возникновение реактивной мощности, увеличение амплитуд сетевых токов, что в свою очередь приводит к потерям в электрической сети, и так же сокращению срока службы оборудования, подключенного к таким сетям. Поэтому проблема симметрирования токов и компенсация реактивной мощности в сетях с неравномерной нагрузкой фаз является актуальной.

Анализ последних публикаций

Для оптимизации работы сети электроснабжения с несимметричной нагрузкой используются симметрирующие устройства, которые представляют собой межфазные конденсаторы [1, 2]. В последнее время стали широко применяться силовые активные фильтры, представляющие собой мостовые инверторы [3 – 11]. Управление такими фильтрами выполняется широтно-импульсной модуляцией, реализация которой осуществляется с помощью достаточного сложных систем управления, например основанный на теории мгновенной мощности с преобразованием сигналов трехфазной системы в двухфазную [5, 9, 10].

Для управления активным фильтром в [11, 12] успешно использовались оптимизационные алгоритмы. Однако в [12] рассматривалась однофазная

© Е. В. ЯГУП, 2016

система. В [11] оптимізація здійснювалася по критерію урівнювання активних потужностей на стороні навантаження і на стороні джерел електричної енергії системи електропостачання. При цьому початкове напруга на накопительному конденсаторі задавалось рівним нулю, що приводило до зростання амплітуд мережних токів в процесі переходного процесу. Слід зауважити, що в [11] зазначається, що виконання оптимізації можна так само виконувати по критерію встановлення напруги на накопительному конденсаторі активного фільтра.

Цілью статті є розробка методу оптимізації режиму несиметричної трифазної мережі з використанням активного фільтра на візуальній моделі

Основной материал статьи

Система живлячих напруг симетрична, амплітуди напруг рівні 100 В, а зсув фаз напруг джерел відносно одне одного становить 120 ел. градусів. Навантаження в системі розподілені нерівномірно: $z_a = (0.7 + j0.005)$, $z_b = (0.1 + j0.01)$, $z_c = (2 + j0.04)$, що призводить до значущої несиметрії токів в системі, а індуктивний характер навантаження обумовлює зсув фаз живлячих напруг і мережних токів в одноимених фазах. На рис. 1 зображені часові діаграми мережних токів в розглянутому несиметричному режимі.

Токи фаз відрізняються в декілька разів, а зсув фази живлячого напруги і мережного струму значущий. Такий режим роботи є небажаним як для самої мережі, так і для споживачів і вимагає виконання симетризації струмів і компенсації реактивної потужності.

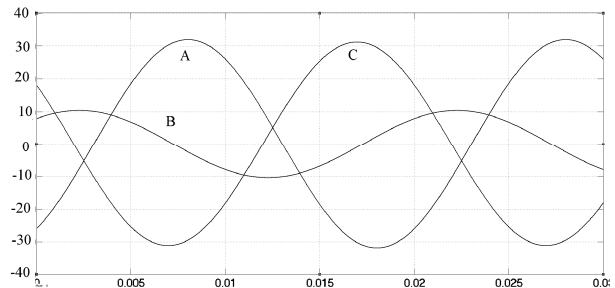


Рис. 1 – Временные диаграммы сетевых токов системы электропитания с неравномерной нагрузкой фаз

На рисунке 2 зображена візуальна модель системи електропостачання з активним фільтром, підключеним паралельно навантаженню. Силовий активний фільтр представляє собою інвертор, виконаний на IGBT-транзисторах з накопительним конденсатором. Сформовані сигнали поступають в силову частину схеми через спеціальні дроселі.

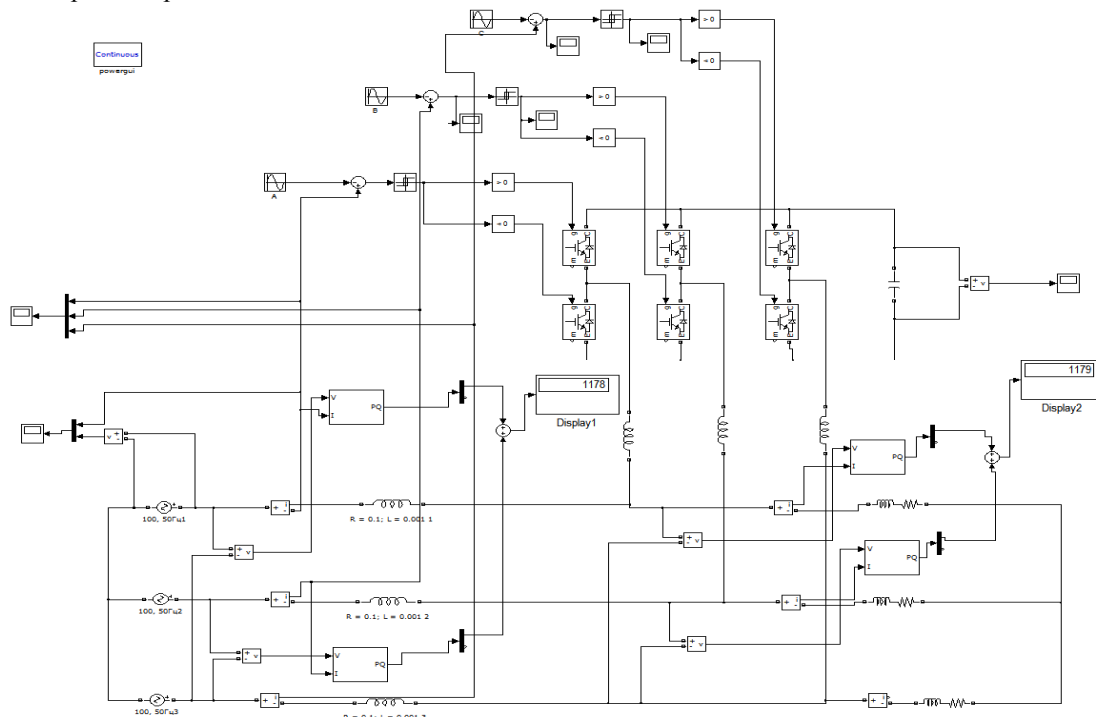


Рис. 2 – Візуальна модель системи електропостачання з активним фільтром

Управління ключами інвертора здійснюється широтно-імпульсною модуляцією з гистерезисною модуляцією [13]. Узел порівняння

виділяє різницю між сигналом генератора еталонного струму і струмом мережі електропостачання. Отримане значення поступає на гистерезисний

элемент, на выходе которого формируются импульсы, равные +1 и -1. Ширина гистерезисной зоны по входному сигналу задана равной 0.5. Далее с помощью элемента сравнения, происходит распределение положительных и отрицательных импульсов таким образом, что первая часть осуществляет управление верхним транзистором плеча, а вторая – нижним. Таким образом, формируются три канала управления ключами фильтра, которые корректируют токи в трех фазах системы электроснабжения.

Признаком входа в оптимальный режим является установление напряжения на накопительном конденсаторе фильтра. Для обеспечения таких условий активный фильтр должен сформировать соответствующие корректирующие токи. При выполнении поисковой оптимизации параметрами оптимизации зададим амплитуду сигнала генератора эталонного тока (эта величина одинакова для всех трех генераторов фаз) и начальное напряжение на накопительном конденсаторе. Следует отметить, что при нулевом начальном напряжении конденсатора в системе происходит переходный процесс, в котором амплитуды сетевых токов превышают установившееся значение в 2,5 раза [11]. Поэтому определение начального значения напряжения конденсатора способствует улучшению качества электрической энергии в сети.

При формировании целевой функции возникает проблема измерения напряжения на конденсаторе, так как эта величина не является постоянной, а изменяется по периодическому закону. Поэтому целесообразно выполнять измерение напряжения в конце каждого периода колебания, и из полученных значений сформировать целевую функцию. Имеет смысл значения напряжений при компьютерном вычислении записывать в вектор. Целевая функция вычисляется по формуле

$$N = \sqrt{(V_{C2} - V_{C3})^2 + (V_{C3} - V_{C4})^2}, \quad (1)$$

где V_{C2}, V_{C3}, V_{C4} – напряжения на конденсаторе в конце 1, 2 и 3-го периодов колебания.

Время работы модели установлено равным 0,03 сек, что является достаточным для выхода системы на установившейся режим. Период колебания напряжения на накопительном конденсаторе составляет 0.01 сек, и это время задано в блоке Vc, который передает в рабочее пространство MATLAB значения напряжений в конце каждого периода в соответствующий вектор.

В листинге 1 приведен текст основной программы, выполняющей оптимизацию. В первой строке в качестве глобальных переменных заданы параметры оптимизации, номер итерации Nst и вектор значений напряжений на накопительном конденсаторе Vc. Оптимизация выполняется специальной встроенной в MATLAB функцией fminsearch(), параметрами которой являются имя файл-функции и начальные значения параметров оптимизации.

```
global I VC0 Nst Vc
SOP = 0.5
L = 0.001
Nst=0
Y=fminsearch('func_s3fnesim',[ 13.8984 150 ])
Nst
```

В Листинге 2 приведен текст файл-функции, вызов которой осуществляется из основной программы. В первой строке функции присваивается имя файл-функции с параметром, который равен вектору значений параметров оптимизации. Далее идет дублирование как и в головной программе глобальных переменных программы, а затем эти параметры нормируются. Вызов модели осуществляется с помощью команды sim. Затем по формуле (1) вычисляется целевая функция, значения которой представляют собой значения вектора напряжений на накопительном конденсаторе Vc.

```
function Nev=func_s3fnesim(x)
global I VC0 Nst Vc
I=abs(x(1)*1E-0)
VC0 = abs(x(2)*1E-0)
sim model1
Nev = sqrt((Vc(2)-Vc(3))^2+(Vc(3)-Vc(4))^2)
x
Nst=Nst+1
```

Анализ результатов

После выполнения оптимизации значения параметров оптимизации приняли следующие значения: амплитуда эталонного синусоидального сигнала $I = 7.7420$, начальное напряжение на конденсаторе $VC0 = 205.2681$. Измерители мощностей на стороне питания сети и на стороне нагрузки показали уравнивание активных мощностей.

На рисунке 3 приведены временные диаграммы сетевых токов при начальном напряжении на накопительном конденсаторе равным 0.

На рисунке 4 показаны временные диаграммы токов после проведения оптимизации. Амплитуды токов снизились до 8 А, в установившемся режиме, в то время как в несимметричном режиме максимальная амплитуда составляла 32 А. В переходном режиме при задании начального напряжения на накопительном конденсаторе равным 205.2681. В максимальная

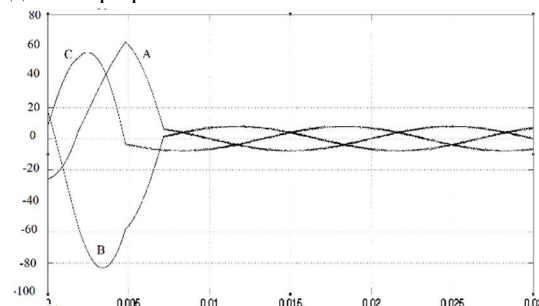


Рис. 3 – Временные диаграммы сетевых токов после выполнения оптимизации при начальном напряжении на конденсаторе равным нулю.

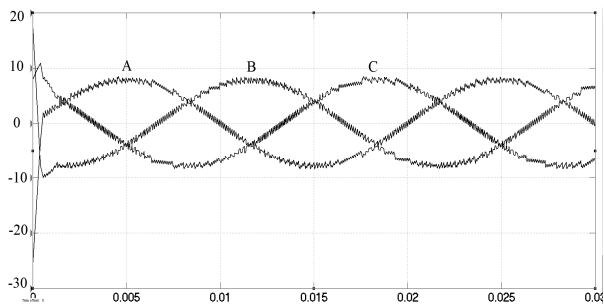


Рис. 4 – Временные диаграммы сетевых токов после выполнения оптимизации при начальном напряжении на конденсаторе равным 205.2681 В.

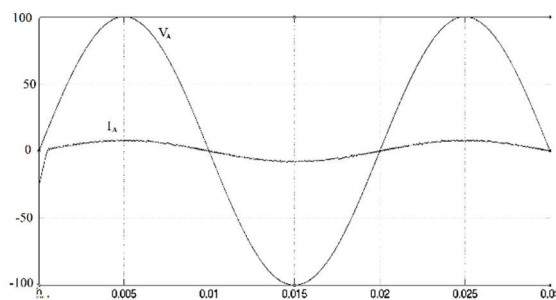


Рис. 5 – Временные диаграммы напряжения и тока фазы А.

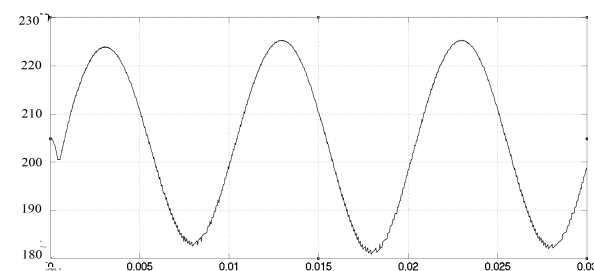


Рис. 6 – Временная диаграмма напряжения на накопительном конденсаторе активного фильтра

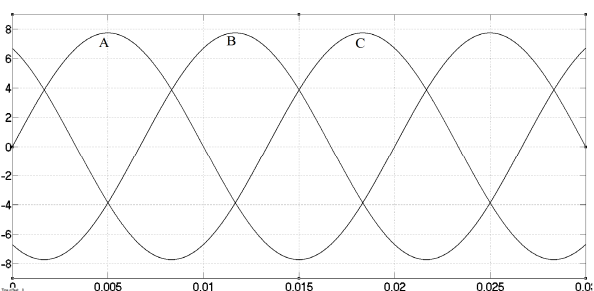


Рис. 7 – Корректирующие токи силового активного фильтра

величина амплитуды сетевого тока снизилась со значения 82 А до 25 А. При этом сократилась длительность переходного процесса с 0.002 сек до 0.005 сек. На рис. 5 изображены напряжение источника э.д.с и сетевого тока в фазе А. Временная диаграмма

демонстрирует сведение к нулю фазового сдвига между этими величинами.

Рис. 6 демонстрирует установление напряжения на накопительном конденсаторе. На рис. 7 изображены корректирующие токи силового активного фильтра.

Выводы

1. Сформирован критерий целевой функции, в основу которого положен модифицированный алгоритм управления активным фильтром.
2. Проведение компьютерного эксперимента продемонстрировало, что для симметрирования токов в сети, снижения их амплитуд и сведения реактивной мощности в сети до нуля, достаточно стабилизировать напряжение на накопительном конденсаторе фильтра.
3. Задание оптимального начального значения напряжения на конденсаторе способствует снижению длительности переходного процесса, и уменьшению максимальных токов в линии электропередачи.

Список литературы

1. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко. – М.: Энергия. – 1977. – 128 с.
2. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях // А. К. Шидловский В. Г. Кузнецов. – К.: Наукова думка. – 1985. – 268 с.
3. Akagi, H. Modern active filters and traditional passive filters / H. Akagi // *Bulletin of the Polish Academy of sciences, Technical sciences*. – 2006. – V. 54. – P. 255 – 269.
4. Akagi, H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E. H. Watanabe, M. Aredes // *IEEE Press*. – 2007. – 379 p.
5. Agrawal, A. Comparison of Various Configurations of Hybrid Active Filter With Three Different Control Strategies / A. Agrawal // *International Journal of Engineering Research & Technology*. – 2014. – V. 3, Is. 5. – P. 1672 – 1678. – doi: 10.1109/PrimeAsia.2012.6458630
6. Dell'Aquila, A. A current control for three-phase four-wire shunt active filters / A. Dell'Aquila, A. Lecci // *Automatika*. – 2003. – V. 44, N 3-4. – P. 129–135.
7. Murat Kale An adaptive band current controller for shunt active power filter / Murat Kale, Engin Ozdemir // *Electric Power Systems Research*. – 2005 – N. 73. – P. 113 – 119. – doi: 10.1016/j.epsr.2004.06.006.
8. Yiauw, K. H. A Novel Three-Phase Power Filter / K. H. Yiauw, M. S Khanniche // *Power Engineering*. – 2001 – P. 77 – 84.
9. Sozański, K. Digital Control Circuit for Active Power Filter with Modified Instantaneous Reactive Power Control Algorithm / K. Sozański, R. Strzelecki, A. Kempski // *33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference - PESC '02*, Cairns, Australia – 2002.
10. Rajashekar1, B. Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter with a New Selective Harmonic Mitigation Technique to Meet Grid Codes Under Non-Equal Dc Link Voltages with Power Quality Enhancement / B. Rajashekar1, T. Praveen Kumar, R. Ramesh // *IJIRSET*. – 2014. – Vol. 3, Is. 9. – P. 15857 – 15863.

11. Ягуп, В. Г. Модель активного фильтра для трехфазной электрической системы с несимметричной нагрузкой и управлением по оптимизационному алгоритму / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2015. – Випуск 3 (31). – С. 103 – 109.
12. Ягуп, Е. В. Моделирование системы электроснабжения с активным фильтром, управляемым по оптимизационному алгоритму / Е. В. Ягуп // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – Вып. №8 (79), том 1. – С. 52 – 58. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59538
13. Розанов, Ю. К. Современные методы регулирования качества электроэнергии средствами силовой электроники / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк // *Электротехника*. – 1999. – Вып. 4. – С. 28–32.
6. Dell'Aquila, A. A., Lecci, A. Current control for three-phase four-wire shunt active filters. *Automatika*. 2003, **44**(3-4), 129–135.
7. Murat Kale, Engin Ozdemir An adaptive band current controller for shunt active power filter. *Electric Power Systems Research*. 2005, **73**, 113 – 119, doi: 10.1016/j.epsr.2004.06.006.
8. Yiauw, K. H., Khanniche, M. S. A Novel Three-Phase Power Filter. *Power Engineering*. 2001, 77 – 84.
9. Sozanski, K., Strzelecki, R., Kempski, A. Digital Control Circuit for Active Power Filter with Modified Instantaneous Reactive Power Control Algorithm. *33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference - PESC '02*, Cairns, Australia, 2002.
10. Rajashekar1, B., Praveen Kumar T., Ramesh, R. Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter with a New Selective Harmonic Mitigation Technique to Meet Grid Codes Under Non-Equal Dc Link Voltages with Power Quality Enhancement. *IJIRSET*. 2014, **3**(9), 15857 – 15863.
11. Yagup, V. G., Yagup, E. V. Model' aktivnogo fil'tra dlya trekhfaznoy elektricheskoy sistemy s nesimmetrichnoy nagruzkoy i upravleniem po optimizatsionnomu algoritmu. *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*. 2015, **3** (31), 103 – 109.
12. Yagup, E. V. Modelirovanie sistemy elektrosnabzheniya s aktivnym fil'trom, upravlyaemym po optimizatsionnomu algoritmu. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2016, **8** (79 (1)), 52 – 58, doi: 10.15587/1729-4061.2016.59538.
13. Rozanov, Yu. K., Ryabchitskiy, M. V., Kvasnyuk, A. A. Sovremennye metody regulirovaniya kachestva elektroenergii sredstvami silovoy elektroniki. *Elektrotehnika*. 1999, **4**, 28–32.

Bibliography (transliterated)

1. Zhezhelenko, I. V. Pokazateli kachestva elektroenergii na promyshlennykh predpriyatiyakh. Moscow: Energiya. 1977, 128 p.
2. Shidlovskiy, A. K., Kuznetsov, V. G. Povyshenie kachestva energii v elektricheskikh setyakh. Kyiv: Naukova dumka. 1985, 268 p.
3. Akagi, H. Modern active filters and traditional passive filters. *Bulletin of the Polish Academy of sciences, Technical sciences*. 2006, **54**, 255 – 269.
4. Akagi, H., Watanabe, E. H., Aredes, M. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. *IEEE Press*. 2007, 379 p.
5. Agrawal, A. Comparison of Various Configurations of Hybrid Active Filter With Three Different Control Strategies. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2014, **3**(5), 1672 –1678, doi: 10.1109/PrimeAsia.2012.6458630.

Сведения об авторах

Ягуп Екатерина Валериевна – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика» г. Харьков, Украина; e-mail: yag.kate@rambler.ru.

Yagup Kate Valeriivna – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Electric Power, Electrician and Electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport, pl. Feyyerbakha, 7, Kharkov, 61050, Ukraine. E-mail: kate.yag@rambler.ru

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ягуп, Е. В. Оптимизация режима несимметричной трехфазной сети с использованием активного фильтра по усовершенствованному алгоритму / **Е. В. Ягуп** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 124-128. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.20.

Please cite this article as:

Yagup, K. Optimization of mode of unbalanced three-phase power supply by active filter using advanced algorithms. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 124–128, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.20.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ягуп, К. В. Оптимізація режиму несиметричної трифазної мережі з використанням активного фільтра по вдосконаленому алгоритму / **К. В. Ягуп** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 124-128. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.20.

АНОТАЦІЯ Розглядається оптимізація режиму роботи трифазної мережі електропостачання з нерівномірним активним індуктивним навантаженням. Несиметрія мережевих струмів і реактивна потужність компенсуються за допомогою активного фільтра, що представляє собою мостовий інвертор на IGBT-транзисторах. Управління ключами інвертора здійснюється системою керування з реалізацією широтно-імпульсної модуляції за гістерезисним принципом. Для оптимізації режиму системи використовується відповідна візуальна модель і оптимізаційний алгоритм деформованого багатогранника. Оптимізація режиму здійснюється шляхом стабілізації напруги на накопичувальному конденсаторі.

Ключові слова: активний фільтр; оптимізація; несиметрія; реактивна потужність; система електропостачання.

Поступила (received) 14.12.2016

УДК 004.94+001:372.82

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.21

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗАЛИШКОВИХ ЗНАТЬ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІН КАФЕДРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

С. І. ЖИДЧЕНКО, Т. М. ДУБОВИК

Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС), Українського державного хіміко-технологічного університету, Дніпро, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ. Актуальність матеріалу, викладеного у статті, зумовлена потребами професійної освіти в проведенні моніторингових досліджень, оскільки вони є одним із шляхів розширення доступу до Європейської освіти і мобільності студентів.

Ключові слова : моніторинг; розробка програмного модуля; клієнт; сервер.

DEVELOPMENT SOFTWARE MODULE MONITORING OF RESIDUAL STUDENTS' KNOWLEDGE OF DISCIPLINES SPECIALIZED COMPUTER SYSTEMS

S. ZHYDCHENKO, T. DUBOVIK

Department of the Specialized Computer Systems (SCS), Ukrainian state Chemical Engineering University, Dnipro, UKRAINE.

ABSTRACT. The relevance of the material presented in the article, due to the needs of vocational training in conducting monitoring studies, as they are one of the ways of improving access to the European education and student mobility. Development of software module consists of the creation of a client-server application to a server in Java using the Spring framework and client Android.

Using the developed software module for monitoring of residual knowledge of students of specialized computer systems contribute to its effective functioning and optimal solution to the question about the quality of training of future specialists.

The results of this study can be used to assess residual knowledge of students. The product being offered, which is a test. Using software automates the process of testing and analysis of results. A potential customer can perform any educational organization.

The software package has educational scope. One effective way to address the problem of automating verification of residual knowledge of students is to create a program that allows you to create tests, take and analyze their results. Their work is to use client-server technology for fulfilling the above operations. Requirements to software systems:

- Small installation file size;
- intuitive interface;
- speed.

The biggest demand for software module in education. Servicing is required for the computer used as a server.

Keywords: monitoring; software development module; client; server.

Вступ

Одним із механізмів забезпечення якості освіти є педагогічний (освітній) моніторинг. Моніторинг – це спеціально організований, постійний, цільовий контроль і діагностика стану освіти на базі систематизації існуючих джерел інформації, а також спеціально організованих досліджень і вимірювань з метою порівняння реального стану з очікуваними результатами, відстеження ходу будь-яких процесів за чітко визначеним показником [7].

Мета моніторингу – об'єктивне, інформаційне відображення стану й динаміки якості освіти, ефективності управління, якості підготовки фахівців в університеті [7].

Моніторинг якості знань студентів здійснюється з метою виявлення реального рівня навчальних досягнень студента і передбачає такі процедури як:

- діагностика вхідного рівня знань студентів;
- встановлення відносних показників навчальних досягнень;
- рівень сформованості комплексних компетенцій майбутніх фахівців;
- вимірювання залишкових знань студентів [7].

На основі моніторингу і аналізу результатів встановлюється результативність навчальної роботи [7].

Тестування як одна з форм моніторингу якості знань студентів [8].

Тестування є однією з найбільш технологічних форм проведення контролю з керованими параметрами якості. В цьому сенсі жодна з відомих форм контролю знань студентів, не може зрівнятися з тестуванням. Правильно побудований і добре складений тест, що відповідає не тільки предмету навчання, але і його завданням, може стати одним з основних інструментів вимірювання академічних досягнень студентів [8].

© С. І. ЖИДЧЕНКО, Т. М. ДУБОВИК, 2016

Тести – це стандартизовані методики психодіагностики, що дозволяють отримати порівняльні кількісні та якісні показники ступеня розвиненості досліджуваних властивостей. Стандартизованість методики означає, що вона повинна застосовуватися завжди і скрізь однаковим чином, від початку ситуації до способу інтерпретації результатів.

Тести можна класифікувати по різному, в залежності від того, яка ознака буде взята за основу поділу [9].

Мета статті

Метою даного дослідження є розробка програмного модуля моніторингу залишкових знань студентів з дисциплін кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС). Для реалізації даного програмного модуля використовується клієнт-серверний додаток, з сервером на Java та клієнтом Android.

Виклад основного матеріалу

Розробка програмного модуля складається зі створення клієнт-серверного додатку з сервером Java та клієнтом Android.

Архітектура клієнт-сервер є одним із архітектурних шаблонів програмного забезпечення та є домінуючою концепцією у створенні розподілених мережних застосунків і передбачає взаємодію та обмін даними між ними [10].

Вона передбачає такі основні компоненти:

- сервер, для надання інформації або інші послуги програмам, які звертаються до сервера;
- набір клієнтів, які використовують сервіси, що надаються сервером;
- мережа, яка забезпечує взаємодію між клієнтами та сервером.

Сервер є незалежними. Клієнти також функціонують паралельно і незалежно один від одного. Немає жорсткої прив'язки клієнтів до сервера. Більш ніж типовою є ситуація, коли один сервер одночасно обробляє запити від різних клієнтів; з іншого боку, клієнт може звертатися то до одного сервера, то до іншого. Клієнти мають знати про доступні сервери, але можуть не мати жодного уявлення про існування інших клієнтів [10].

Приклад клієнт – серверної архітектури зображено на рисунку 1.

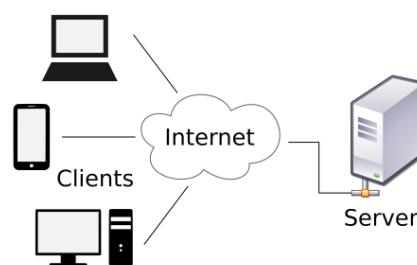


Рис. 1 – Клієнт-серверна архітектура

Сервер даного програмного модулю реалізований мовою Java з використанням Spring framework [11].

Spring framework - це вільно поширюваний фреймворк, створений Родом Джонсоном (Rod Johnson). Він був створений з метою усунути складності розробки корпоративних додатків і зробити можливим використання простих компонентів JavaBean. Однак область застосування Spring не обмежується розробкою програмних компонентів, що виконуються на стороні сервера. Будь-який Java-додаток може використовувати переваги фреймворка в плані простоти, тестованості і слабкою пов'язаності [11].

Spring Framework забезпечує вирішення багатьох завдань, при створенні інформаційної системи, заснованій на платформі Java. Через широкую функціональність важко визначити найбільш значущі структурні елементи, з яких він складається.

Spring Framework, ймовірно, найбільш відомий як джерело розширень (features), потрібних для ефективної розробки складних бізнес-додатків поза великоагових програмних моделей.

Цей фреймворк пропонує послідовну модель і робить її придатною до більшості типів додатків, які вже створені на основі платформи Java.

Вважається, що Spring Framework реалізує модель розробки, засновану на кращих стандартах індустрії, і робить її доступною в багатьох областях Java [12].

«Клієнт» реалізовано на Android. На сьогоднішній день більшість смартфонів та планшетів випускаються на базі операційної системи (ОС) Android [12].

Основні причини поширення даної операційної системи полягають в наступному:

- Android підтримує велику кількість пристроїв різних виробників;
- Android характеризується високою доступністю засобів розробки;
- більшість пристроїв мають привабливу для користувача вартість;
- засоби розробки для платформи Android безкоштовні, тоді як розробка, наприклад, під iPhone (від компанії Apple) вимагає чималих початкових фінансових вкладень.

Крім того, перевагою ОС Android є наявність безкоштовних бібліотек для роботи зі сторонніми

ресурсами (Yandex MapKit, Google Map API, ін.), у той час як для Windows Phone Mobile такі бібліотеки не поширені [12].

Обговорення результатів

На ринку програмного забезпечення існує ціла множина систем тестування знань студентів, кожна з них має переваги та недоліки. До переваг розробленого програмного модуля моніторингу залишкових знань студентів відносяться:

- серверна частина має API, одже можна створити клієнт на будь-яку платформу: Web, ios, Android [13]. Приклад серверної частини рисунок 2;
- клієнт для даного програмного модуля створено на Android рисунок 3,4;
- порівняно з іншими програмами тестування, розроблений програмний модуль має простий інтерфейс і не потребують багато часу на оволодіння інструментами та методичними прийомами роботи з ними;
- малий розмір інсталяційного файлу;
- модуль дозволяє зручно і швидко переключатися між результатами різних тестувань, швидко знаходити необхідну інформацію;
- статистика тестувань представлена в зручному для розуміння вигляді. Недоліками системи є:
- неможливість задання рівня складності запитань;
- ймовірність випадкового вибору правильної відповіді.

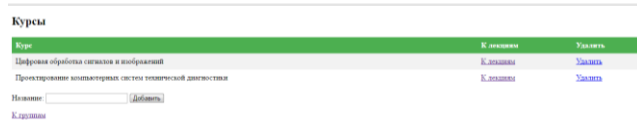


Рис. 2 – Серверна частина програмного модуля моніторингу залишкових знань студентів

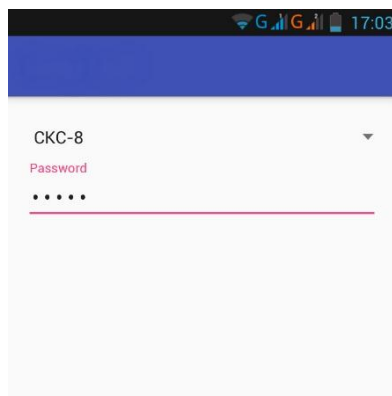


Рис. 3 – Форма реєстрації

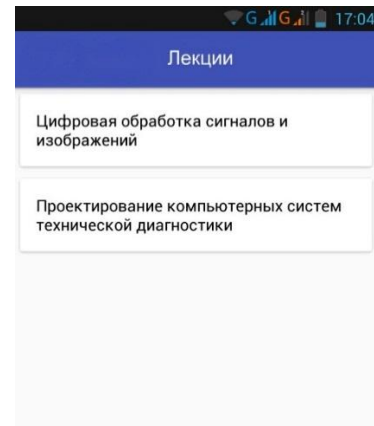


Рис. 4 – Дисципліни кафедри СКС

Створення та проходження тестів здійснюється однією з ролей: викладач чи студент. Викладач може створювати групи, базу питань та контролювати процес тестування. Приклад питань зображено на рисунку 5.

Роль студента надає можливості із проходження тестів та перегляду результатів тестування. Даний модуль передбачає можливість створення тестів таких категорій: питання з однією чи декількома правильними відповідями; введення відповіді з клавіатури.



Рис. 5 – Приклад питань для моніторингу залишкових знань студентів

Висновок

Розроблено програмний модуль моніторингу залишкових знань студентів з дисциплін кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем. Для реалізації даного програмного модуля використовується клієнт-серверний додаток, з сервером на Java та клієнтом Android.

Результати даного дослідження можуть використовуватися для оцінки залишкових знань студентів. Виріб, який пропонується, є тестовим. Використання програмних продуктів автоматизує процес тестування та аналізу результатів. Потенційним замовником може виступати будь-яка навчальна організація.

Програмний комплекс має навчальну сферу застосування. Одним з ефективних способів вирішення

проблеми автоматизації перевірки залишкових знань студентів є створення програми, що дозволяє створювати тести, проходити їх та аналізувати результати. Принцип їх роботи полягає у використанні клієнт-серверних технологій для виконання перерахованих вище операцій. Вимоги, що пред'являються до програмних комплексів:

- малий розмір інсталяційного файлу;
- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- швидкість роботи.

Найбільший попит на програмний модуль в галузі освіти. Сервісне обслуговування потрібне для комп'ютера, що використовується у якості серверу.

Список літератури

1. **Bachman, L.** The use of test methods in the content analysis and design of EFL proficiency tests / **L. Bachman, F. Davidson, M. Milanovich** // *Language Testing*. – 1996. – Edn. 13. – P. 125–150.
2. **Kaplan, R. M., Saccuzzo, D. P.** Psychological Testing / **R. M. Kaplan, D.P. Saccuzzo** // *Belmont, CA: Wadsworth*. – 2009.
3. **Hartwig, M.** General knowledge monitoring as a predictor of in-class exam performance / **M. Hartwig, C. Was, R. Isaacson, J. Dunlosky** // *British Journal of Educational Psychology*. – 2012. – No 82. – P. 456–468. – doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02038.x.
4. **Tobias, S.** Knowing what you know and what you don't: Further research on metacognitive knowledge monitoring / **S. Tobias, H. T. Everson** // *College Board Report No. 2002-3*. – New York, NY: The College Board. – 2002. – 25 p.
5. **Gutierrez, F.** Pro Spring Boot / **Felipe Gutierrez**. – 2016. – 365 p.
6. **Griffiths, D.** Head First Android Development / **D. Griffiths, D. Griffiths**. – 2016. – 704 p.
7. **Путилова, Л. А.** Мониторинг качества знаний студентов вуза / Современные системы оценки качества знаний о высшем профессиональном образовании: проблемы и перспективы / **Л. А. Путилова** // *Сб. статей по итогам межрегионального научно-методического семинара*. – Тюмень: ТюмГУ. – 2007. – С. 56–59.
8. **Дубовик, Т. Н.** Использование тестовых систем для повышения качества обучения / **Т. Н. Дубовик, О. В. Сергеева Д. Д. Дубовик** // *Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Наука: теория и практика - 2012» Przemysł Nauka i studia*. – 2012. – No 88. – С. 31 – 33.
9. **Аванесов, В. С.** Научные основы тестового контроля знаний / **В. С. Аванесов**. – М.: *Исследовательский центр*. – 1994. – 135 с.
10. **Камер, Э. Д.** Сети TCP/IP. Разработка приложений типа клиент/сервер для Linux / *POSIX - Изд. Вильямс, М.-СПб-Киев*. – 2002. – Т. 3. – 576 с.
11. **Уоллс, К.** Spring в действии / **К. Уоллс**. – Москва: *ДМК Пресс*. – 2015. – 762 с.
12. **Wilde, E.** REST: From Research to Practice / **E. Wilde, C. Pautasso** // *Springer Science & Business Media*. – 2011. – 528 p.
13. [Web] <https://ru.wikipedia.org/wiki/API>.
14. **Golhar, R.** Design and implementation of android base mobile app for an institute / **R. Golhar, P. Vyawahare, P. Borghare** // *IEEE*. – 2012. – No 24. – P. 3–5. – doi: 10.1109/ICSEOT.2016.7755391.
15. **Radhakrishnan, J.** Huffman coding and decoding using Android / **Janaki Radhakrishnan, S. Sarayu, K. George Kurian, Deepak Alluri, R. Gandhiraj** // *IEEE*. – 2016. – P. 0361 – 0365. – doi: 10.1109/ICCSP.2016.7754156.
16. **Mengping, T.** Applying computer-based mathematics testing on mobile tablets for elementary students / **Tsuei Mengping**. // *IEEE Conference Publications*. – 2013. – P. 1 – 7. – doi: 10.1109/CICEM.2013.6820167.

Bibliography (transliterated)

1. **Bachman, L., Davidson, F., Milanovich, M.** The use of test methods in the content analysis and design of EFL proficiency tests. *Language Testing*, 1996, **13**, 125-150.
2. **Kaplan, R. M., Saccuzzo, D. P.** Psychological Testing. *Belmont, CA: Wadsworth*, 2009.
3. **Hartwig, M., Was, C., Isaacson, R., Dunlosky, J.** General knowledge monitoring as a predictor of in-class exam performance. *British Journal of Educational Psychology*, 2012, **82**, 456-468, doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02038.x.
4. **Tobias, S., Everson, H. T.** Knowing what you know and what you do not: Further research on metacognitive knowledge monitoring. *College Board Report*, New York, NY: The College Board, 2002, **3**, 25 p.
5. **Gutierrez, F.** Pro Spring Boot, 2016, 365 p.
6. **Griffiths D.** Head First Android Development, 2016, 704 p.
7. **Putilova, L. A.** Monitoring kachestva znaniy studentov vuza / Sovremennyye sistemy otsenki kachestva znaniy o vysshem professional'nom obrazovanii: problemy i perspektivy [Monitoring the quality of knowledge of students of high school. Current system of quality assessment of knowledge of higher professional education: problems and prospects]. *Sb. Articles on the basis of inter-regional seminar nauchnometodicheskogo*. Tyumen: TSU, 2007, 56-59.
8. **Dubovik, T. N., Sergeev, O. V., Dubovik, D. D.** Ispol'zovanie testovykh sistem dlya povysheniya kachestva obucheniya [Use of test systems for improving the quality of education]. *Materialy VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka: teoria i praktyka - 2012» Przemysł Nauka i studia*, 2012, **88**, 31 – 33.
9. **Avanesov, V. S.** Nauchnye osnovy testovogo kontrolya znaniy [Scientific basis of the test control of knowledge]. *Moscow: Research Center*, 1994, 135 p.
10. **Camera, E. D.** Seti TCP/IP. Razrabotka prilozheniy tipa klient/server dlya Linux / POSIX [TCP / IP network. Developing client applications such as / server for Linux / POSIX]. *Ed. Williams, M-SPb, Kiev*, 2002, **3**, 576 p.
11. **Walls, K.** Spring v deystvii [Spring in Action]. *Moscow: DMK Press*, 2015, 762 p.
12. **Wilde, E., Pautasso, C.** REST: From Research to Practice. *Springer Science & Business Media*, 2011, 528 p.
13. [Web] <https://ru.wikipedia.org/wiki/API>.
14. **Golhar, R., Vyawahare, P., Borghare, P.** Design and implementation of android base mobile app for an institute. *IEEE*. 2012, **24**, 3-5, doi: 10.1109 / ICSEOT.2016.7755391.
15. **Radhakrishnan, J., Alluri, D.** Huffman coding and decoding using Android. *IEEE*, 2016, 0361 - 0365, doi: 10.1109 / ICCSP.2016.7754156.
16. **Mengping, T.** Applying computer-based mathematics testing on mobile tablets for elementary students. *IEEE Conference Publications*, 2013, 1 - 7, doi: 10.1109/CICEM.2013.6820167.

Відомості про авторів (About authors)

Жидченко Софія Ігорівна – студент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС); Український державний хіміко – технологічний університет УДХТУ, Дніпро (Дніпропетровськ), Україна; e-mail: szhidchenko@inbox.ru

Zhidchenko Sofiya Igorivna – a student of the Department of spetsializovanih Komp'yuterniy Systems (SCS); Reigning ukrainian himiko - tehnologichny University UDHTU, Dnipro (Dnipropetrovs'k), Ukraine; e- mail: szhidchenko@inbox.ru

Дубовик Тетяна Миколаївна – старший викладач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС); Український державний хіміко – технологічний університет УДХТУ, Дніпро (Дніпропетровськ), Україна; e- mail: tanya-dubovik@rambler.ru

Dubovik Tatiana - Senior Lecturer, Department of Specialized Computer Systems (SCS) Ukrainian State Chemical - Technological University UDHTU, Dnipro (Dnipropetrovsk), Ukraine; e- mail: tanya-dubovik@rambler.ru

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Жидченко, С. І. Розробка програмного модуля моніторингу залишкових знань студентів з дисциплін кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем / **С. І. Жидченко, Т. М. Дубовик** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 129-133. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.21.

Please cite this article as:

Zhydchenko, S. I., Dubovyk, T. M. Development of the module monitoring residual knowledge of students from disciplines specialized computer systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 129–133, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.21.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Жидченко, С. И. Разработка программного модуля мониторинга остаточных знаний студентов по дисциплинам кафедры специализированных компьютерных систем / **С. И. Жидченко, Т. М. Дубовик** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 129-133. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.21.

АННОТАЦИЯ Актуальность материала, изложенного в статье, обусловлена потребностями профессионального образования в проведении мониторинговых исследований, поскольку они являются одним из путей расширения доступа к Европейской образования и мобильности студентов.

Ключевые слова: мониторинг; разработка программного модуля; клиент; сервер.

Надійшла (received) 11.12.2016

УДК 005.8:005.41

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.22

РОЗВИТОК ЕЛЕМЕНТІВ КСУП НА БАЗІ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕАЛІЗАЦІ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ

В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ¹, І. І. ОБЕРЕМОК^{2*}, Н. В. ОБЕРЕМОК¹, Ю. Л. ХЛЕВНА¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

² Кафедра управління проектами, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, УКРАЇНА
*email: oberemokii@gmail.com

АНОТАЦІЯ Корпоративна система управління проектами є необхідною частиною системи управління будь-якої компанії. Ключовою умовою її ефективної роботи є її здатність забезпечувати реалізацію проектів компанії. Для підтримки ефективної роботи системи необхідно її безперервно розвивати. Інструментом розвитку корпоративної системи управління проектами компанії є результати реалізації процесів управління проектом. Проводячи аналіз результатів процесів управління в рамках реалізації процесів завершення команда управління формує рекомендації до поліпшення елементів корпоративної системи управління проектами.

Ключові слова: процеси управління проектом; корпоративна система управління проектами; ксуп; база знань; процеси завершення проекту

DEVELOPMENT OF CPMS ELEMENTS BASED ON THE RESULTS OF IMPLEMENTATION OF PROJECT MANAGEMENT PROCESSES

V. ZATSERKOVNYI¹, I. OBEREMOK^{2*}, N. OBEREMOK¹, Y. KHLEVNA¹

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

² Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, UKRAINE

АНОТАЦІЯ Corporate Project Management System is an essential part of any company's management system. A key condition for its efficient operation is its ability to ensure the realization of the company's projects. In order to maintain efficient operation of the system it is necessary to continuously develop. Tool development company's corporate project management systems are the result of the project management processes. Through analysis of the results management process in the framework of the completion of the process management team generates recommendations to improve elements of the corporate project management system. Under the elements of corporate governance refers to the processes, templates, tools and methods used for project management in the company. The analysis makes it possible to adapt the corporate project management system of the company to the characteristics of the projects and the requirements of stakeholders. The analysis is carried out all the members of the project management team, each in its own direction. Involving the project management team in the process of analyzing the effectiveness of the corporate project management system project office receives internal audit applicable tools and techniques of project management. The conclusions obtained on the basis of their analysis, make it possible to develop a comprehensive solution for the development of corporate project management system. On the basis of documents that are the result of the implementation of project management processes, project file is generated. Analysis archive project allows you to develop a comprehensive solution for the development of corporate project management system.

Keywords: processes of the project management; finish stage of project; business process modeling; knowledge base

Введення

З необхідністю впровадження корпоративної системи управління проектами (КСУП) зіткнулися більшість українських компаній. Ця необхідність пояснюється прийняттям більш якісних управлінських рішень керівництвом компанії. Від того наскільки своєчасно будуть прийняті необхідні рішення залежить ефективність роботи компанії. Створення та розвиток КСУП значною мірою базується на різних стандартах та описі знань з управління проектами [1-4]. Керуючись кращими практиками в області проектного управління консультанти і фахівці компанії прописують і налаштовують елементи системи з метою отримати максимальний ефект від її роботи. Виникає важливе питання наскільки побудована система відповідає вимогам ринку і запитам зовнішніх зацікавлених сторін. Особливо

якщо врахувати, що в сучасних умовах ситуація на ринку постійно змінюється, як і змінюються запити зовнішніх зацікавлених сторін. Необхідні інструменти, які б забезпечили зворотний зв'язок, на підставі якого проектний офіс компанії міг би розвивати КСУП.

Ціль роботи

Мета дослідження: описати підходи до розвитку КСУП на базі результатів реалізації процесів управління проектом.

Завдання дослідження:

1. Визначити нематеріальні результати проекту, що можуть бути використані для розвитку КСУП.
2. Визначити процеси реалізовані з метою розвитку корпоративної системи управління проектами.

© В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ, І. І. ОБЕРЕМОК, Н. В. ОБЕРЕМОК, Ю. Л. ХЛЕВНА, 2016

3. Визначити завдання кожного з учасників команди управління проекту в процесів формування рекомендацій щодо розвитку КСУП компанії.

4. Описати процес завершення проекту і його вплив на розвиток КСУП.

Виклад основного матеріалу

Вибір технології впровадження і розвитку корпоративної системи управління проектами залежить від того які елементи системи вважаються основними. При відношенні до системи управління проектами як до інформаційної системи планування та моніторингу буде застосовуватися технологія впровадження ІТ-систем. Ключовим елементом системи при цьому є інформаційна система управління проектами, яка повинна бути максимально інтегрована в загальну інформаційну систему компанії. При відношенні до інструментів і методів проектного управління як до додаткових навичок менеджерів компанії буде реалізований комплекс заходів, навчання проектного менеджменту.

Є також загальний підхід до впровадження всіх елементів системи відразу на всіх рівнях в повному обсязі [5]. Хоча такий підхід часто вимагає внесення значних змін в існуючу систему управління компанією. Такий підхід пов'язаний з великою кількістю конфліктних ситуацій що виникають при реалізації оновлених процесів управління.

Закордонними методологами пропонується поетапне впровадження корпоративної системи управління проектами [6]. Відповідно до цієї технології, впроваджуються інструменти і методи відразу з усіх галузей знань поступово заглиблюючись в детальний опис процесів, інструментів і методів. Цю технологію складно використовувати в умовах національних компаній України, так як в основі її лежить командний підхід, що не узгоджується з існуючою командно-адміністративною системою управління вітчизняних компаній.

Послідовний розвиток КСУП дозволяє оптимізувати бізнес-процеси управління проектами компанії. Оптимізація направлена на скорочення часу реалізації процесів управління проектами та забезпечення керівництва необхідною інформацією для прийняття рішень в проектах [7,8].

Позитивний досвід впровадження це гнучка технологія впровадження корпоративної системи управління проектами, згідно з якою в межах одного етапу впроваджується тільки частина областей знань проектного управління [9 - 11]. У перервах між етапами впровадження пропонується виділяти час на адаптацію і розвиток введених інструментів і методів проектного управління. На базі інформації отриманої при апробації впроваджених методів та інструментів проектного управління мають бути внесені зміни до елементів КСУП [12]. Залишаються невизначеними джерела адаптації та розвитку впроваджених інструментів і методів проектного управління.

Для оцінки якості розробки елементів системи управління і пошуку шляхів їх розвитку пропонується використовувати емпіричний підхід. Практичні результати роботи системи найбільш об'єктивно можуть вказати на слабкі місця в роботі системи і на шляхи зменшення їх негативного впливу.

Досвід показує, що побудована відповідно до кращих практик корпоративна система управління проектами далеко не одразу і не завжди приводить до очікуваного ефекту. Причина у нерівнозначних умовах використання рекомендованих інструментів і методів проектного управління. Існуюча система управління компанією, як і корпоративна культура компанії часто не відповідає впровадженим інструментам і методам проектного управління. Навіть впровадження базових інструментів та методів проектного управління вимагає адаптації до нових умов реалізації. Базою для розвитку адаптації, розвитку інструментів і методів проектного управління може стати управлінська інформація, отримана в результаті реалізації проектів. Ця інформація є невід'ємним результатом реалізації будь-якого проекту. Для запропонованого аналізу необхідно використати результати реалізації процесів управління проектами, програмами та портфелем проектів. До результатів процесів управління проектами можна віднести:

1. Плани-графіки проектів.
2. Статут та / або план управління проектом.
3. План управління витратами.
4. План руху коштів в проекті.
5. План управління ресурсами.
6. План управління взаємодією в проекті.
7. Реєстр запитів на зміни.
8. Реєстр вимог якості проекту.
9. План управління якістю в проекті.
10. Реєстр ризиків проекту.
11. План управління ризиками.
12. Звіти про хід реалізації проекту.
13. Протоколи нарад проектних команд.

Множину документів, що є результатом процесів управління проектами можливо представити наступним чином:

$$D_i = \{D_{i1}, \dots, D_{id}, \dots, D_{in}\} \quad (1)$$

де: D_i – множина документів, що є результатом процесів управління і-м проектом;

D_{id} – d-й документ, що є результатом процесів управління і-го проекту;

n – кількість документів результатів процесів управління.

Результати реалізації процесів управління проектом є результатом проекту незалежно від результатів реалізації предметної частини проекту.

Описані документи складаються з інформаційних блоків, кожен з яких містить чітко визначений тип інформації, а також в залежності від типу документу інформація являє собою або планові або фактичні данні. В процесі реалізації процесів

управління проектом інформація уточнюється і передається між інформаційними блоками документів. Опишемо документ як множину інформаційних блоків:

$$D_{id} = \{I_{id1}, \dots, I_{idj}, \dots, I_{idm}\} \quad (2)$$

де: I_{idj} – j-й інформаційний блок d-го документа процесу управління i-го проекту;

m – кількість інформаційних блоків d-го документу.

Загальну множину інформаційних блоків проекту опишемо використовуючи множини (1) та (2):

$$I_i = \{I_{i1}, \dots, I_{ik}, \dots, I_{is}\} \quad (3)$$

де: I_{ik} – k-й інформаційний блок i-го проекту;

s – загальна кількість інформаційних блоків проекту.

Загальна множина інформаційних блоків складає єдину інформаційну базу проекту. Інформаційний блок можливо описати наступними параметрами:

$$I_{ik} = \langle Tr_t, St, Inf_{ik} \rangle \quad (4)$$

де: Tr_t – t-й тип інформаційного блоку;

St – показник що показує стан інформаційного блоку, плановий чи фактичний. $St = \overline{0}, \overline{1}$;

Inf_{ik} – k-й інформаційний блок i-го проекту.

Аналізуючи відмінності між інформаційними блоками одного типу, які знаходяться в різному стані спеціалістами компанії пропонуються заходи щодо розвитку КСУП. Описати аналіз відхилення можливо за допомогою наступної функції:

$$F(I'_{ik}, I''_{ik}) \quad (5)$$

де: I'_{ik} – k-й інформаційний блок i-го проекту планового стану;

I''_{ik} – k-й інформаційний блок i-го проекту фактичного стану.

Використовуючи поняття інформаційного блоку можливо зробити припущення, що ціль роботи КСУП полягає в тому щоб забезпечити реалізацію проектів з мінімальними відхиленнями в інформаційних блоках.

Аналіз результатів реалізації процесів управління може проводитися:

1. **За запитом керівництва.** Вимоги до якості управління проектами від керівництва компанії змінюються в залежності від зовнішніх факторів. Забезпечення вимог потребує внесення змін в елементи КСУП. Джерелом інформації для розвитку є архів проектів, який формується з документів завершених або закритих проектів. Проводиться аналіз інформаційних блоків одного типу різних блоків з різних проектів. Опишемо цю функцію аналізу з використанням опису (5):

$$\sum_i^p F'_k(I'_{ik}, I''_{ik}) \quad (6)$$

де: F'_k – аналіз інформаційних блоків k-го типу всіх проектів;

p – кількість проектів в портфелі компанії.

2. **По завершенню проекту.** По завершенню реалізації проекту команда проекту проводить глибинний аналіз всіх результатів і дає оцінку прийнятим рішенням і ефективності роботи всієї КСУП. Проводиться аналіз різних типів інформаційних блоків створених в межах одного проекту. Подібний аналіз є більш цінним тому що базується на результатах реалізації реального завершеного проекту фахівцями, які беруть участь в його реалізації. Опишемо функцію аналізу з використанням опису (5):

$$\sum_k^s F'_i(I'_{ik}, I''_{ik}) \quad (7)$$

де: F'_i – аналіз всіх інформаційних типу i-го проекту;

p – кількість проектів в портфелі компанії.

В рамках цього дослідження буде розглянуто процес завершення проекту як інструмент формування пропозицій щодо розвитку КСУП компанії. Пропозиції, що формуються командою проекту, впливають на розвиток наступних елементів системи:

1. Шаблони-планів графіків типів проектів.
2. Бізнес-процеси управління проектами і портфелями проектів
3. Шаблони управлінських документів.
4. Корпоративний реєстр вимог якості.
5. Корпоративний реєстр ризиків компанії.

Кожен із представлених елементів є невід'ємною частиною КСУП, і при цьому може розвиватися до певної міри самостійно. Подібна гнучкість дає можливість розвивати КСУП безперервно не заважаючи роботі всієї системи в цілому. Зміни в елементи системи вносяться в залежності від переліку пропозицій, зазначених в звіті про реалізацію проекту. Крім цього в результаті реалізації процесу завершення формується база знань КСУП компанії.

Розглянемо процеси завершення:

1. **Процес «Формування підсумкового звіту».**

Команда управління проектом проводить всебічний аналіз результатів проекту та готує звіт про реалізацію проекту. При формуванні даного звіту використовуються всі документи процесів управління, ключовими з яких є: план-графік і реєстр запитів на зміни. Відповідальний за реалізацію процесу «Формування підсумкового звіту» є керівник проекту. Результуючим документом процесу є «Звіт про реалізацію проекту», в якому наводяться рекомендації щодо розвитку елементів КСУП.

Командою управління проектом виконуються наступні кроки:

- Команда управління проектом описує управлінські результати реалізації проекту. Члени проектної групи фіксують позитивний та негативний досвід отриманий в результаті реалізації проекту.

- Команда управління проектом формує рекомендації з розвитку елементів КСУП. Кожен з членів команди згідно своєї ролі пропонує зміни до існуючих елементів КСУП.

- Команда управління проектом формує рекомендації з розвитку процесів компанії не пов'язаних з проектним управлінням. Це можуть бути процеси, які пов'язані з процесами управління проектом. Цей зв'язок полягає в тому що деякі процеси компанії можуть бути постачальником або споживачем інформації для процесів управління проектом.

В залежності від ролі учасника команди управління проектом аналізується різна інформація з переліку управлінської документації. Розглянемо найбільш поширені ролі:

- Головний інженер проекту проводить аналіз ефективності управління змістом проекту. Аналізуючи технічне завдання, плани проекту та реєстр запитів на зміни головний інженер формує пропозиції щодо поліпшення якості управління змістом в проектах.

- Менеджер з планування проводить аналіз плану-графіка та реєстру запитів на зміни. В результаті аналізу він визначає неточності в оцінці тривалості робіт та зв'язків між роботами. Причиною відхилень, можуть бути помилки при плануванні технології реалізації робіт, неякісний процес формалізації продуктів проекту, а також недостатньо якісно проведена робота з планування ризиків.

- Адміністратор проекту аналізує виконання плану взаємодії проекту. В результаті чого робить висновки щодо ефективності запланованих дій із взаємодії з зацікавленими сторонами і учасниками проекту. В результаті аналізу розробляються пропозиції щодо покращення процесів, методів і інструментів взаємодії в проектах.

- Менеджер з витрат проводить аналіз якості планування, управління витрат та фінансування проекту. Він аналізує планові та фактичні данні витрат проекту та плану руху коштів. Відхилення фактичних даних від планових дозволяє визначити роботи та ресурси управління, вартість яких було проведено неефективно.

- Менеджер з трудових ресурсів проводить аналіз участі спеціалістів компанії в реалізації проекту. Аналізуючи ресурсний план проекту та порівнюючи планові та фактичні значення менеджер з трудових ресурсів визначає перелік критичних ресурсів, а також свої пропозиції щодо покращення процесів роботи з ними. Менеджер з трудових ресурсів може також запропонувати зміни до плану розвитку персоналу компанії.

- Менеджер з контрактів проводить аналіз реєстру договорів та ефективності процесів управління підрядниками та постачальниками в проекті. Аналізуючи результати проекту менеджер з контрактів може запропонувати пропозиції щодо змін процесів управління контрактами, процедур, що регламентують

діяльність конкурсної комісії, а також шаблони документів цих процесів.

- Менеджер з якості аналізує ефективність реалізації плану управління якістю. В результаті менеджер з якості поновлює процеси управління якістю проекту, шаблони документів процесу управління якістю, а також корпоративний реєстр якості.

- Менеджер з ризиків аналізує ефективність реалізації процесів ініціації та планування роботи з ризиками. В результаті аналізу менеджер з ризиків пропонує зміни: процесів управління ризиками, шаблони документів процесу управління ризиками, а також до корпоративного реєстру ризиків компанії.

- Керівник проекту проводить заключний аналіз в якому робить загальну оцінку ефективності реалізації процесів управління, а також методів та інструментів проектного управління. Керівник проекту вказує на важливі, на його погляд, рекомендації. Заключний аналіз керівника проекту дуже важливий, тому що саме він мав доступ до загальної інформації в проекті та може об'єктивно оцінити запропоновані його командою зміни.

Кожен фахівець формує свої пропозиції щодо розвитку КСУП, інших систем та процесів компанії, а керівник проекту дає їм свою оцінку. Процес формування підсумкового звіту забезпечує створення бази знань проектного управління компанії. Проводячи аналіз члени команди управління проектом фіксують рішення та досвід отриманий в процесі реалізації проекту.

Після чого звіт з реалізації проекту з рекомендаціями передається в архів. Основними споживачами звіту з реалізації проекту є спеціалісти проектного офісу, саме вони проводять аналіз і пропонують роботи з розвитку КСУП в компанії.

2. **Процес «Збір документів та передача в архів».** Адміністратор проекту збирає всі документи проекту, сформовані при реалізації проекту, та формує «Справу проекту». Після чого передає документи в архів компанії. Перелік документів, що мають вийти до справи проекту має бути чітко визначений. В залежності від типу проекту цей перелік може відрізнятися. Накопичення та систематизація результуючої інформації процесів управління проектами дозволяє створити єдину інформаційну модель проекту.

Використання інформаційної системи управління проектами дозволить перейти від паперового до електронного документообігу в проектах. Що в свою чергу дасть змогу автоматизувати компанії бізнес-процеси управління проектами. Цей процес складається з наступних кроків:

1. Розробка реєстру документів архіву для кожного з типів проектів. Розробка структури реєстру документів проводиться за рахунок аналізу типів інформаційних блоків, які використовуються в документах.

2. Аналіз інформаційних блоків одного типу, а також розробка або поновлення шаблонів документу, що описує ці інформаційні блоки. Вимоги щодо єдиного формату документів дозволить систематизувати документи, а також в процесі аналізу знаходити розбіжності в представленій інформації.

3. Заміна документів на електронні реєстри зберігання інформаційних блоків.

4. Автоматизація бізнес-процесів на базі розроблених реєстрів зберігання та обробки інформаційних блоків.

5. Створення єдиної інформаційної бази проекту за рахунок об'єднання всіх реєстрів інформації проекту.

Створення та розвиток єдиної інформаційної бази проектів дозволить накопичувати та аналізувати інформацію по проектам. Єдина інформаційна база проектів це множина інформаційних блоків різного типу всіх проектів компанії її представлення наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1. - Єдина інформаційна база проекти

	Проект 1	...	Проект і	...	Проект р
Тр ₁	I ₁₁	...	I _{1i}	...	I _{1p}
...
Тр _к	I _{1k}	...	I _{1k}	...	I _{1k}
...
Тр _s	I _{1s}	...	I _{1s}	...	I _{1s}

Накопичення інформації щодо результатів реалізації проектів дає змогу спеціалістам проектного офісу шукати шляхи покращення роботи КСУП. Аналіз інформації єдиної інформаційної бази дозволяє шукати розбіжності та розробляти більш ефективні плани майбутніх проектів. Крім того фактична інформація по проектам дає змогу слідкувати за тенденціями та своєчасно формувати пропозиції щодо змін існуючих інструментів і методів роботи КСУП в компанії. Своєчасність реакції на зміни зовнішнього середовища це життєво необхідна умова ефективної роботи сучасної системи управління компанією.

Висновки

В результаті проведеного дослідження було визначено підходи до розвитку КСУП на базі аналізу результатів реалізації процесів управління проектом. Аналіз результатів реалізації процесів управління проводиться: спеціалістами проектного офісу впродовж реалізації проекту, на запит від керівництва компанії, в межах процесів завершення проекту. Аналіз проводить вся команда управління проектом. Кожен член команди проводить аналіз в межах своєї компетенції та процесів, за які він ніс відповідальність. Рекомендації щодо розвитку КСУП направлені на зміну групи елементів: процесів управління, шаблони

документів, методи та інструменти управління проектами. Останні процеси дозволяють створити архів проектів таким чином, щоб в подальшому було можливо проводити аналіз, порівняння проектів та ситуації одного типу з метою формування додаткових покращень до КСУП. Розвиток архіву дозволяє в подальшому створити інструмент для наповнення єдиної інформаційної бази проекту, що в свою чергу поліпшує не лише аналіз майбутніх проектів, але й прийняття своєчасних правильних рішень і процесів їх реалізації.

Список літератури

1. IPMA Individual Competence Baseline for Project, Programme & Portfolio Management. – *International Project Management Association*. – 2015. – Version 4. – 415 p.
2. IPMA Organisational Competence Baseline (IPMA OCB). *International Project Management Association*, 2013. – 67 p.
3. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK) [Web]. – Project Management Institute, 2013. – 5-ое изд. – Режим доступа: http://kapponerko.ucoz.net/_ld/0/1_P-M-B-o-K-5-Rus.pdf
4. P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation» [Web] // Project Management Association of Japan. – 2016. – Available at: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html
5. **Богданов, В. В.** Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / **Вадим Богданов**. – М.: Манн, Иванов и Фербер. – 2012. – 248 с.
6. Стратегическое планирование для управления проектами с использованием модели зрелости: пер. с. англ. – М.: Компания АйТи; – М.: ДМК Пресс. – 2003. – 320 с.
7. **Гоц, В. В.** Структура информационной среды девелоперского проекта / **В. В. Гоц** // *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 70 (1043). – С. 97-102.
8. **Кондращенко, В. В.** Архитектура СППР для построения схемы финансирования инвестиционного проекта / **В. В. Кондращенко, В. В. Москаленко, Т. В. Захарова** // *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": Темат. вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии*. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 9. – С. 149-156.
9. **Оберемок, И. И.** Гибкий подход к внедрению корпоративной системы управления проектами / **И. И. Оберемок** // *Управление развитие сложных систем*. – 2014. – № 17. – С. 42 – 45.
10. **Оберемок, И. И.** Пути развития корпоративных систем управления проектами / **И. И. Оберемок** // *Управление развитие сложных систем*. – 2013. – №15. – С. 49 –52.
11. **Оберемок, И. И.** Развитие системы управление проектами на базе сбалансированной системы показателей оценки качества / **И. И. Оберемок, Н. В. Оберемок** // *Управление развитие сложных систем*. – 2011. – №8. – С. 35 –38.
12. **Бушуев, Д. А.** Нелинейная динамика развития организаций / **Д. А. Бушуев, С. Д. Бушуев** // *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПИ": Темат. вип.: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 1 (1173). – С. 3-8. – doi: 10.20998/2413-3000.2016.1173.1.

Bibliography (transliterated)

1. IPMA Individual Competence Baseline for Project, Programme & Portfolio Management. Version 4. *International Project Management Association*, 2015, 415 p.
2. IPMA Organisational Competence Baseline (IPMA OCB). *International Project Management Association*, 2013, 67 p.
3. Project Management Body of Knowledge (PMBOK®Guide). Ed. 5. Project Management Institute, 2013 [Web] http://kapponerko.ucoz.net/_ld/0/1_P-M-B-o-K-5-Rus.pdf
4. P2M «Program & Project Management for Enterprise Innovation». Project Management Association of Japan. 2016, [Web]: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html
5. **Bogdanov, V.** Project Management. Corporate System - Step by Step. *Mann, Ivanov and Ferber*, 2012, 248 p.
6. **Kercner, G.** Strategic planning for project management using a maturity model. *DMK Press*, 2003, 320 p.
7. **Гос, В.** The structure of the information environment development project. *National Technological University "KhPI"*, 2013, (1043), 97-102.
8. **Kondrachenko, V., Moskalenko, V., Zaxarova, T.** DSS architecture for building schemes of financing of the investment project. *Journal of the National Technological University "KhPI"*, 2010, **9**, 149-156.
9. **Oberemok, I.** A flexible approach to the implementation of corporate project management system. *Management of development of complex systems*, 2014, **17**, 42 - 45.
10. **Oberemok, I.** Ways of development of the corporate project management systems. *Management of development of complex systems*, 2013, **15**, 49 - 52.
11. **Oberemok I., Oberemok N.** Development of the project management system on the basis of a balanced assessment of the quality of the system of indicators. *Management of development of complex systems*, 2011, **8**, 35 - 38.
12. **Bushuev, D., Bushuev, S.** Non-linear dynamics of organization development. *Journal of the National Technological University "KhPI"*, 2016, **1** (1173), 3-8, doi: 10.20998/2413-3000.2016.1173.1.

Відомості про авторів (About authors)

Зацерковний Віталій Іванович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

Zatserkovnyi Vitalii – doctor of science, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kiev, Chief of geoinformatics department, Kiev City, Ukraine; E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

Оберемок Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри управління проектами, м. Київ, Україна; E-mail: oberemokii@gmail.com

Oberemok Ivan – Ph.d., associate professor, Kiev National University of Construction and Architecture, associate professor of project management department, Kiev City, Ukraine; E-mail: oberemokii@gmail.com

Оберемок Наталія Василівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, докторант кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; E-mail: oberemokn@gmail.com

Oberemok Nataliia – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of geoinformatics, Kiev City, Ukraine; E-mail: oberemokn@gmail.com

Хлевна Юлія Леонідівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, асистент кафедри технологій управління, м. Київ, Україна; E-mail: khlevna@yandex.ru

Khlevna Yuliia – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of project management, Kiev City, Ukraine; E-mail: khlevna@yandex.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Зацерковний, В. І. Розвиток елементів КСУП на базі результатів реалізації процесів управління проектом / **В. І. Зацерковний, І. І. Оберемок, Н. В. Оберемок, Ю. Л. Хлевна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 134-139. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.22.

Please cite this article as:

Zatserkovnij, V., Oberemok, I., Oberemok, N., Khlevna, Y. The development of IPM elements based on the results of the implementation of project management processes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 134–139, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.22.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Зацерковный, В. И. Развитие элементов КСУП на базе результатов реализации процессов управления проектами / **В. И. Зацерковный, И. И. Оберемок, Н. В. Оберемок, Ю. Л. Хлевна** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 134-139. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.22.

АННОТАЦИЯ Корпоративная система управления проектами является необходимой частью системы управления любой компании. Ключевым условием ее эффективной работы является ее способность обеспечивать реализацию проектов компании. Для поддержания эффективной работы системы необходимо ее непрерывно развивать. Инструментом развития корпоративной системы управления проектами компании являются результаты реализации процессов управления проектом. Проводя анализ результатов процессов управления в рамках реализации процессов завершения команда управления формирует рекомендации по улучшению элементов корпоративной системы управления проектами.

Ключевые слова: процессы управления проектом; корпоративная система управления проектами; ксуп; база знаний; процессы завершения проекта

Надійшла (received) 11.12.2016

УДК 004.94+001:372.82

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.23

ВІКОРИСТАННЯ RENDERSCRIPT НА ANDROID-ПРИСТРОЯХ

І. А. КУЧЕРЕНКО

Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС), Українського державного хіміко-технологічного університету, Дніпро, УКРАЇНА.

АНОТАЦІЯ. Сьогодні більшість смартфонів і планшетів виробляються на базі Android. Основними причинами поширення цієї операційної системи полягають в наступному.

Android підтримує велику кількість пристроїв від різних виробників. Android характеризується високою доступністю коштів розробки. Інструментальні засоби розробки для Android безкоштовні, в той час як розробка, наприклад, iPhone (від компанії Apple) вимагає значних початкових інвестицій.

Головні переваги портативних комп'ютерів наступному: розмір, тривалість роботи без підзарядки і, звичайно ж, багатфункціональність. Таким чином, ми повинні визнати, що майбутнє ПК - в портативній, легкій та функціональній техніці - планшети, електронні книги, нетбуки і смартфони – і все це в основному працює на операційній системі Android.

Ключові слова: Android; Renderscript; Java; компілятори; мова програмування; Android

APPLICATION FOR ANDROID-RENDERSRIPT DEVICES

І. А. KUCHERENKO

Department of Specialized Computer Systems (SCS), Chemical Engineering University, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT The article mentions the spread of Android on most portable devices. Among the reasons for this distribution is select, most manufacturers support platform, free distribution tool for development and a large community of supporters of free software. The main advantages of smartphones are size, duration of work without recharging and, of course, multi-functionality. Therefore, we must recognize that the future of PC - a portable, light and functional technology - tablets, e-books, netbooks and smartphones - all mostly working on operating system Android.

Apps for smartphones should work quickly so as not to violate ergonomic interface. Use basic package software developer Android interface does not use additional computing resources that a modern device. Therefore, to perform some operations to the more traditional low-level tools than Java. One solution is RenderScript, allowing better use of hardware capabilities without losing cross-platform.

For the purpose of the study was create by a software module that performs monochromaticism.

image. To perform this operation using different tools: Java and RenderScript. The article contains the results of the research, reflecting a significant increase in speed using a low-level tools for specific tasks.

Keywords: Android; Renderscript; Java; compilers; programming language; Android.

Вступ

За даними International Data Corporation (IDC), міжнародної компанії маркетингових досліджень, консультативних послуг, організатор конференцій в області інформаційних технологій, телекомунікацій і споживчої електроніки, світовий ринок смартфонів виріс на 0.7% у 2016 році. Пристрої під керуванням операційної систем (далі ОС) Android домінують за кількістю з часткою 87,6%. (рис. 1.) Це зростання відбувається в першу чергу за рахунок розвинених ринків, таких як США, Канада, Японія і Західна Європа.

Смартфони (з англ. *Smart* — розумний, і англ. *phone* — телефон) — окрема категорія телефонів, які — на відміну від простих стільникових телефонів — мають більше оперативної пам'яті і власний потужний, як для кишенькових пристроїв процесор, працюють під операційною системою Symbian 6.1 і вище, операційними системами платформи Windows Mobile 5 і вище або Palm OS, операційною системою

iOS, Android, Bada. Завдяки таким даним підтримують багато програм написаних на C++ та java, зокрема 3D-ігри. [1]

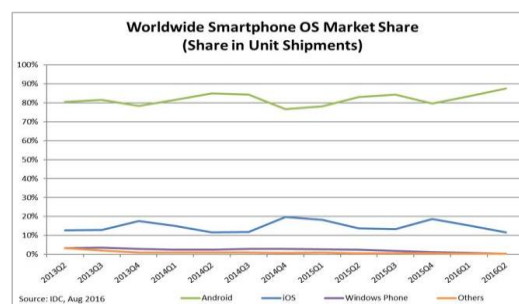


Рис. 1. — Частки пристроїв з різними ОС

Смартфони відрізняються від звичайних телефонів наявністю розвинутою операційною системою, можливістю встановлювати додаткове програмне забезпечення, найчастіше від сторонніх

розробників, для додавання нових можливостей. Розширення функціональності можливо за рахунок J2ME-програм, які підтримуються практично всіма мобільними телефонами, смартфонами і комунікаторами. Екран цілого ряду мобільних телефонів не поступається більшості смартфонів (останнім часом телефони оснащуються і сенсорними екранами), багато моделей оснащені роз'ємом для картки пам'яті. Смартфони в очах користувачів виглядають привабливішими за рахунок багатьох факторів (частково зумовлені просуванням смартфонів і комунікаторів виробниками), таких як: сучасні мультимедійні функції (якісніша камера, розширені можливості відтворення відеофайлів, поліпшені музичні здібності), Wi-Fi, GPS і інших.

Важливо відзначити, що програми, написані спеціально для операційної системи смартфона або комунікатора є повноцінними скомпільованими в двійковий код послідовностями низькорівневих мікропроцесорних команд. А з урахуванням того, що у всіх смартфонах встановлені потужніші процесори, ніж у мобільних телефонах, можливості програміста зі створення таких програм практично не обмежені. Спеціалізовані програми функціональніші й раціональніше використовують ресурси процесора, ніж «універсальні» J2ME-програми. Тому смартфони користуються популярністю серед розробників програмного забезпечення і ентузіастів. [2]

Користуватися смартфонами дуже зручно, адже вони дозволяють будь-де та будь-коли виконувати різноманітні операції: відправляти електронного листа, переглядати новини, створювати документи та навіть редагувати зображення чи відео. Проте розробникам мобільних додатків потрібно пам'ятати: перевагою ОС Android для таких пристроїв є націленість на пристрої з обмеженими ресурсами. Програми повинні виконувати свої функції швидко, не зловживаючи оперативною пам'яттю та запасом акумулятора.

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження компіляторів та мов програмування, які використовуються для створення мобільних додатків для ОС Android. Використовуючи інтегроване середовище розробки Android Studio в роботі створюється модуль, який містить функції, котрі виконують операцію створення монохромного зображення з кольорового та реалізовані засобами мов програмування RenderScript та Java.

Таким чином, проводиться порівняння продуктивності традиційних мов програмування та компілятора з більш низькорівневими засобами, які дають можливості для роботи з апаратним забезпеченням, для редагування зображень.

Виклад основного матеріалу

Основною мовою програмування для ОС Android є Java. Це об'єктно-орієнтована мова програмування, яка компілюється у байт-код, який при виконанні інтерпретується віртуальною машиною для конкретної платформи. Передусім Java розроблялась так, щоб працювати незалежно від цільової платформи, тому вона має менше низькорівневих можливостей для роботи з апаратним забезпеченням, що у певних ситуаціях дало б значний приріст продуктивності. Сучасні смартфони мають графічні та багатоядерні центральні процесори, але пакет програмного забезпечення Android не надає інтерфейсу для їх використання. Існують певні задачі такі як: обробка зображень чи великих масивів даних, що потребують багато обчислювальних ресурсів. За необхідності таких дій Java дозволяє викликати підпрограми, написані іншими мовами програмування, наприклад: C, C++, Assembler, Render Script.

Renderscript - це прикладний програмний інтерфейс (API), який включає функції для 2D/3D рендеринга і математичних обчислень з високою продуктивністю. Він дозволяє описати будь-яку задачу з однотипними незалежними обчисленнями над великим об'ємом даних і розбити її на однорідні підзадачі, які можуть бути виконані швидко і паралельно на багатоядерних Android-платформах [6].

Така технологія може підвищити продуктивність ряду Android-додатків, пов'язаних з обробкою зображень, розпізнаванням образів, фізичним моделюванням, клітинно-автоматної моделлю і ін., котрі, в свою чергу, не втраять апаратної незалежності [6].

Renderscript почав підтримуватися в версії Honeycomb/Android 3.0 (API 11). А саме, в Android SDK в директорії платформи-інструментів `llvm-rs-cc` (автономний компілятор) для компіляції Renderscript (*.rs файл) в байт-код (*.bc файл) і генерації Java класів об'єктів (*.java файли) для структур та глобальних змінних. Основною `llvm-rs-cc` є Clang — компілятор з невеликими змінами під Android, який являє собою front-end для LLVM компілятора [7].

В ОС Android з'явився фреймворк, побудований на базі LLVM back-end, який відповідає за компіляцію байт-коду під час виконання, лінковку з потрібними бібліотеками, запуск і контроль виконання Renderscript.(рис.2.) Цей фреймворк складається з наступних частин: `libbcc`, котрий займається ініціалізацією LLVM контексту відповідно до зазначених метаданих в байт-коді, компіляцією байт-коду і динамічної лінковкою з потрібними бібліотеками з `libRS`; `libRS` містить реалізацію бібліотек (`math`, `time`, `drawing`, `ref-counting`,...), структур і типів (`Script`, `Type`, `Element`, `Allocation`, `Mesh`, `various matrices`,...) (рис.3.) [7].

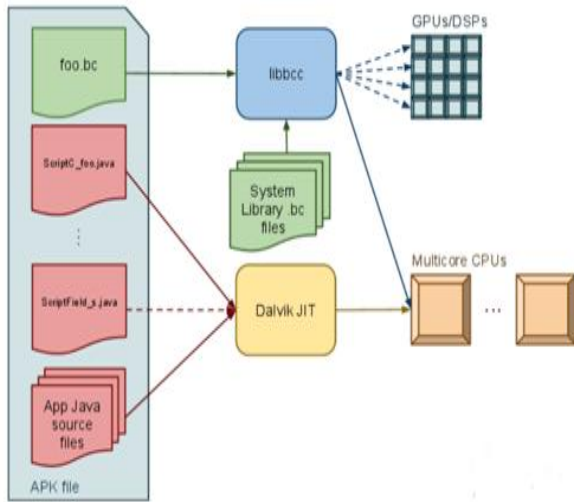


Рис. 2. – Схема back-end компіляції Render Script коду

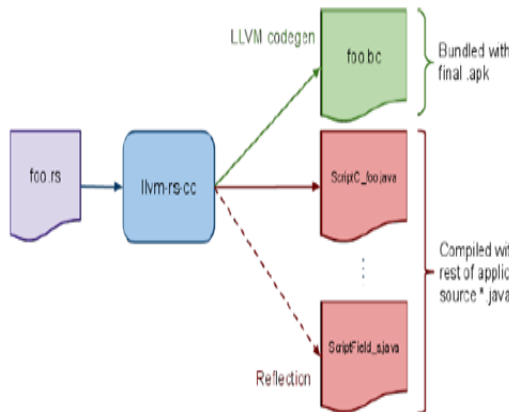


Рис. 3. – Схема front-end компіляції Render Script коду

Обговорення результатів

В роботі створюється монохромне зображення з кольорового. (рис.4.) Для цього було написано дві функції: javaMonoChromeFilter та renderScriptMonoChromeFilter. Перша була реалізована засобами мови програмування Java, а друга — Render Script. Для дослідження використовувався смартфон Meizu Pro 6 з наступними характеристиками:

- Центральний процесор Helio X25: 10 ядер: ARM Cortex-A53 1.4GHz x4 + ARM Cortex-A53 2.0GHz x4 + ARM Cortex-A72 2.5GHz x2
- GPU: Mali-T880
- Hi-Fi ЦАП: Cirrus Logic CS43L36
- Чип NXP Smart PA
- RAM: 4 Гб, LPDDR3



Рис. 4. – Графічний інтерфейс користувача програмного модулю

В таблиці 1 наведено результати тестування Android-додатку при різних розмірах оригінального зображення.

Таблиця 1– Результати тестування програмного модуля

Розмір зображення	960x54	700x39	500x28	300x16
1	4	1	9	
Render Script	156 мс	98 мс	52 мс	30 мс
Java	1083 мс	672 мс	366 мс	150 мс

З таблиці видно, що функція реалізована засобами Render Script працює швидше, ніж функція написана на Java. Поліпшення продуктивності досягається шляхом виконання нативного коду на пристрої. Однак, на відміну від NDK, це рішення кроссплатформенно. Мова розробки Renderscript - це C99 з деякими розширеннями, під час процесу розробки, він компілюється в апаратно-незалежному проміжному форматі і розміщується в пакеті програми. Слід зауважити, що час роботи Render Script-реалізації включає створення Render Script-контексту, виділення і ініціалізацію необхідної пам'яті, створення і прив'язку Render Script до контексту, а також що продуктивність можна підвищити, відмовившись від

точності арифметичних операцій з числами, що не принципово для даної задачі.

Преваги:

Апаратно-незалежний додаток. Renderscript байт-код, що знаходиться в APK файлі, під час виконання буде скомпільовано в машинний код того апаратно-обчислювального модуля (CPU) платформи, де буде запущений;

Швидкість виконання досягається завдяки паралельним обчисленням;

Недоліки:

Відсутність докладної документації для роботи з Renderscript ускладнює розробку додатків.

Відсутність підтримки виконання Renderscript потоків на GPU, DSP. Можливі проблеми під час виконання з балансуванням потоків в гетерогенному запуску, управлінням спільною пам'яттю.

Висновки

В результаті проведення дослідження виявлено, що використання Render Script дає певні переваги у продуктивності програмного модуля. У роботі були розглянуті ART(dalvik якщо запускати програму на пристрої з версією ОС Android < 5.0) і Render Script реалізації монохромної обробки зображень різних розмірів. За рахунок розпаралелювання, роботи компілятора і нативного виконання коду Render Script значно перевершує Java в продуктивності для зображень середніх розмірів. Даний дослід виявляє випадки, коли його застосування може дати підвищення продуктивності додатків, які при цьому залишаються апаратно-незалежними.

Список літератури

1. **Медник, З.** Программирование под Android / **З. Медник, Л. Дорнин.** – СПб.: Питер. – 2012. – 460 с.
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D1%84%D0%BE%D0%BD>
3. **Казанцев, Р.** Использование RenderScript на android-устройствах с процессорами Intel [Web]. – Назва з титул. екрана.
4. **Марчеті, А.** RenderScript: parallel computing on Android, the easy way: підручник / **А. Марчеті.** – Paperbook. – 2016. – 106 с.
5. **Васильев, А. Н.** Java. Объектно-ориентированное программирование: Учебное пособие / **А. Н. Васильев.** – СПб.: Питер. – 2011. – 400 с.
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/RenderScript>
7. <https://developer.android.com/guide/topics/renderscript/compute.html>
8. **Griffiths, D.** HeadFirst Android Development / **D. Griffiths, D. Griffiths.** – 2016. – 704 p.

Відомості про авторів (About authors)

Кучеренко Ігор Андрійович – студент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС), Українського державного хіміко-технологічного університету. Дніпро (Дніпропетровськ), Україна; e-mail: kuchernkoigor@gmail.com.

Igor Andreevich Kucherenko – student of the Department of Specialized Computer Systems (SCS), Ukrainian State Chemical Technology University. Dnipro (Dnipropetrovsk), Ukraine; e-mail: kuchernkoigor@gmail.com.

9. **Gutierrez, F.** Pro Spring Boot / **Felipe Gutierrez.** – 2016. – 365 p.
10. **Deitel, P.** Android 6 for Programmers: An App-Driven Approach / **P. Deitel, H. Deitel, A. Wald.** – 2015. – 480 p.
11. **Kendal, S.** Object Oriented Programming using Java / **Simon Kendal.** – 2016. – 216 p.
12. **Tanko, M.** A cloud-based Java compiler for smart devices / **M. Tanko, M. Hamada** // *International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET).* – 2016. – №15. – P. 1–6. – doi: 10.1109/ITHET.2016.7760742.
13. **Golhar, R.** Design and implementation of android base mobile app for an institute / **R. Golhar, P. Vyawahare, P. Borghare** // *IEEE.* – 2016. – №24. – P. 3–5. – doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7755391.
14. **Radhakrishnan, J.** Huffman coding and decoding using Android / **J. Radhakrishnan, D. Alluri** // *IEEE.* – 2016. – P. 0361 – 0365. – doi: 10.1109/ICCSP.2016.7754156.

Bibliography (transliterated)

1. **Medniks, Z., Dornin, L.** Programmirovanie pod Android [Programming for Android]. SanktPeterburb: Peter, 2012, 460 p.
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B0%D1%80%D1%82%D1%84%D0%BE%D0%BD>
3. **Kazantsev, R.** Ispolzovanie RenderScript na android-ustroystvakh s protsessorami Intel [Using RenderScript on android-devices with Intel processors] [Web]. Hosting Project s title. this function the.
4. **Marcheti, A.** RenderScript: parallel computing on Android, the easy way: pidruchnik. Paperbook, 2016, 106 p.
5. **Vasilev, A. N.** Java. Ob"ektno-orientirovanoe programmirovaniye: Uchebnoye posobie [Java. Object-oriented programming]. Textbook. SanktPeterburb: Peter, 2011, 400 p.
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/RenderScript>
7. <https://developer.android.com/guide/topics/renderscript/compute.html>
8. **Griffiths, D., Griffiths, D.** HeadFirst Android Development, 2016, 704, p.
9. **Gutierrez, F.** Pro Spring Boot, 2016, 365 p.
10. **Deitel, P., Deitel, H., Wald, A.** Android 6 for Programmers: An App-Driven Approach, 2015, 480 p.
11. **Kendal, S.** Object Oriented Programming using Java, 2016, 216 p.
12. **Tanko, M., Hamada, M.** A cloud-based Java compiler for smart devices. *International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET).* 2016, 15, 1- 6, doi: 10.1109/ITHET.2016.7760742.
13. **Golhar, R., Vyawahare, P., Borghare, P.** Design and implementation of android base mobile app for an institute. *IEEE.* 2016, 24, 3-5, doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7755391.
14. **Radhakrishnan, J., Alluri, D.** Huffman coding and decoding using Android. *IEEE.* 2016, 0361 - 0365, doi: 10.1109 / ICCSP.2016.7754156.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кучеренко, І. А. Використання renderscript на android-пристроях / **І. А. Кучеренко** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 140-144. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.23.

Please cite this article as:

Kucherenko, I. A. Use renderscript on android-devices / **I. A. Kucherenko** // *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 140–144, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.23.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кучеренко, И. А. Использование renderscript на android-устройствах / **И. А. Кучеренко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 140-144. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.23.

АННОТАЦИЯ. Сегодня большинство смартфонов и планшетов производятся на базе Android. Основными причинами распространения этой операционной системы являются в следующем.

Android поддерживает большое количество устройств от различных производителей. Android характеризуется высокой доступности средств разработки. Инструментальные средства разработки для Android бесплатны, в то время как разработка, например, iPhone (от компании Apple) требует значительных начальных инвестиций.

Главные преимущества портативных компьютеров следующем: размер, продолжительность работы без подзарядки и, конечно же, многофункциональность. Таким образом, мы должны признать, что будущее ПК - в портативной, легкой и функциональной технике - планшеты, электронные книги, нетбуки и смартфоны - и все это в основном работает на операционной системе Android.

Ключевые слова: Android; Renderscript; Java; компиляторы; язык программирования; Android.

Надійшла (received) 14.12.2016

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

С. В. ПОГРЕБНЯК*, О. О. ВОДКА

Кафедра динаміки та міцності машин, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*email: pogrebnyak.vetal@mail.ru

АНОТАЦІЯ Нейронні мережі знайшли своє використання в різних сферах комп'ютерного моделювання, в тому числі і в механіці. Вони часто використовуються, так як дають високу точність, швидкість і гнучкість роботи. Метою роботи є створення програмного забезпечення з використанням елементів штучного інтелекту, для апроксимації та інтерполяції експериментальних даних. Програмне забезпечення повинно коректно працювати, мати простий інтерфейс та видавати результати з мінімальною похибкою. Методом рішення було використання елементів штучного інтелекту, а точніше нейронних мереж прямого поширення. В роботі збудована та навчена нейронна мережа прямого поширення. Вона була навчена вчителем (вчитель з використанням метода зворотного розповсюдження похибки) на основі навчальної вибірки попередньо проведеного експерименту. Для перевірки мережі на коректність роботи та визначення величини похибки відповіді мережі, проводилась перевірка на відомих даних які не використовувалися для навчання, таким методом була проведена незалежна оцінка і визначена точність відповіді мережі та знайдена оптимальна зона роботи мережі. В статті детально описується тип мережі та її топологія, кількість вхідних та вихідних і прихованих нейронів, типи функції активації, способи навчання і підготовки навчальної вибірки, описані математично. В результаті проведеної роботи була збудована та протестоване програмне забезпечення з використанням штучних нейронних мереж, визначена величина похибки і зона її оптимальної роботи.

Ключові слова: штучна нейронна мережа; комп'ютерне моделювання; штучний інтелект; апроксимація; інтерполяція; програмне забезпечення.

DEVELOPMENT OF THE COMPUTER SYSTEM FOR PROCESSING EXPERIMENT RESULTS USING ARTIFICIAL WITH NEURAL NETWORKS

S. POGREBNIYAK, O. VODKA

Dynamics and Strength of Machine Department, National Technical University «KhPI», Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT Neural networks have found their use in various fields of computer modeling, including in mechanics. They are often used for enable high accuracy, speed and flexibility. The aim of the work is writing software using artificial intelligence for interpolation and approximation of experimental data. The software have to work correctly, has a simple interface and retrieve results with minimal error. The method of solution was the use of artificial intelligence, neural networks rather direct distribution. The neural network has been built and trained. It has been trained with a teacher (using the method of backward error propagation of) based on the training set obtained through the experiment. To test the network and the correctness of the determination of the error response network inspected for known data not used for training, this method has commissioned an independent assessment and determined the accuracy of the answers online and found the optimal area of the network. The article describes in detail the type of network and its topology, the number of input and output and hidden neurons activation functions types, methods of teaching and learning sample preparation described mathematically. As a result of this work was built and tested software using artificial neural networks ante error and the zone of optimal performance.

Keywords: artificial neural network; computer modeling; artificial intelligence; approximation; interpolation; software.

Вступ

На наш час комп'ютерне моделювання знайшло широке використання, а розроблене відповідно програмне забезпечення дозволяє пришвидшити процес моделювання, а також допомогти при обробці експериментальних даних. Одним із розповшених методів обробки та апроксимації експериментальних даних є штучні нейронні мережі, які, за умови правильно складення та відповідного навчання, дають високу якість апроксимації та дозволяють отримати результат за декілька секунд. Це дає можливість отримати необхідні данні в будь-який момент часу, та за будь-

яких умов. Треба лише один раз створити мережу і надалі її використовувати. Такий спосіб вигідно використовувати наприклад, при проведенні експериментальних досліджень, нам достатньо провести один раз експеримент, створити мережу, та навчити її, і можемо апроксимувати результати при інших умовах проведення експерименту. Таким чином, це дозволяє зекономити кошти, за рахунок того що не потрібно витрачати час та матеріали, для проведення експериментів. Використання штучних нейронних мереж при моделюванні є дуже гнучким і може бути використаний у різних сферах життя: від розробки нових видів матеріалів, до розробки нових деталей.

Літературний огляд

В статті [1] приводиться приклад створення рекурентної мережі, яка на вхід отримує кут напруження, напруження, кут циклу, та дельта напруження данні а на виході дає відповідь деформації. Недоліком даної мережі яку вони запропонували є те що нормалізація даних проводилась в діапазоні від 0,1 до 0,9 та 1,0 до 12,0, за таких вхідних даних існує вірогідність того що данні с більшим значенням будуть мати пріоритет, це може вплинути на швидкість навчання мережі, детальніше в статті [8], так і на виникнення помилок при використанні мережі, так як данні дуже сильно розбігаються, детально про це описано в статті [11]. Також пропонується створення рекурентної мережі, за такої мережі неможливо відстежити внутрішні перебіги, коли вони виконуються а коли ні, за таких умов також можна потрапити в зону коли мережа буде давати не коректні відповіді, детальніше в статті [10].

В роботі [2] використовувалась мережа прямого поширення для пошуку інтегралу напруження по деформації. На вхід подаються 3 напруження (1 поточне та 2 попередніх) та 3 деформації (1 поточне та 2 попередніх). Недоліком даної моделі є те що вона рахує лише кількість виділеного тепла що можна вирахувати звичайним інтегралом та відсутність будь-якої інтерполяції.

В статті [3] використовувалися мережа прямого поширення, на вхід якої подавалися напруження та деформації, 4 напруження 3 з яких були попередніми та 3 попередні деформації, на виході отримували поточну деформацію, детальніше про даний тип мережі описано в статті [12]. В результаті проведених експериментів було встановлено що мережа дає досить гарний результат при гарно навченій мережі. Так як, на відміну від попередньої статті використовували данні відмаштабовані в проміжок від -1 до 1, то зменшилась вірогідність впливу тих чи інших даних на відповідь мережі, а отже і вірогідність отримати значну похибку зменшилась. Така мережа дає змогу в подальшому інтерполювати проміжні результати з високою точністю, та з легкістю отримати кількість виділеної енергії. Тобто дана робота об'єднала в собі можливості двох попередніх.

Постановка задачі

В роботі пропонується розробити програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати обробку експериментальних даних з використанням штучних нейронних мереж. Для цього необхідно виконати наступні задачі:

- Визначити з літературних оглядів типові конфігурації штучних нейронних мереж (ШНМ) та функції активації нейронів, що використовували для апроксимації експериментальних даних;

- Створити ШНМ для апроксимації експериментальних даних за допомогою бібліотеки ruBrain та мови програмування Python;

- Підготувати набір вихідних даних для ШНМ та провести її навчання;

- Розробити програмне забезпечення (ПЗ) що дозволяє отримувати результати за заданим користувачем циклом напруження;

- Провести визначення характеристик виділення енергії за результатами експерименту;

- Протестувати роботу ПЗ, та оцінити точність отриманих результатів. Math type.

Навчання ШНМ

Моделювання навчання за допомогою комп'ютера передбачає постійну зміну ваг і порогів таким чином, що класифікація набуває більш високий рівень після кожного кроку. Навчання може бути реалізовано різними алгоритмами:

- Навчання з учителем – відомі вихідні результати нейронної мережі;

- Навчання без вчителя – нейронна мережа опрацьовує тільки вхідні дані та самостійно формує вихідні результати. Такі мережі називають самоорганізаційними;

- Навчання з підкріпленням – система призначення штрафів і заохочень від середовища.

Ціллю навчання є зменшення похибки відповіді мережі [10]. При кожному з типів навчання відбувається знаходження подібностей. При навчанні з учителем відбувається корекція вагових коефіцієнтів, після кожної ітерації вчитель порівнює відповідь мережі та яку повинні були отримати та корегує їх з метою зменшення різниці між відповіддю мережі та відповіддю експерименту (ця помилка називається помилкою навчання).

В нашому випадку використовувалось навчання з учителем, методом зворотного розповсюдження помилки [5]. Алгоритм дії наступний:

1) Здаються початкові вагові коефіцієнти випадковим чином;

2) Подається на вхід ШНМ наступний вектор з навчаючої вибірки;

3) Обчислюється вихідне значення мережі;

4) Обчислюється різниця між відповіддю мережі та потрібним значенням;

5) Коректуються вагові коефіцієнти для зменшення похибки;

6) Повторюються кроки з 2 по 5 доки не мінімізується похибка до заданої або до кількості ітерацій.

Корекція вагових коефіцієнтів вихідного шару:

Вводиться величина δ , яка відповідає наступній формулі:

$$\delta_q = OUT_q (1 - OUT_q) (T_q - OUT_q), \quad (1)$$

де T_q – потрібне значення; OUT_q – відповідь мережі; індекс p – нейрон з якого виходить синоптична вага; q – нейрон в який входить.

Далі корегуємо вагові коефіцієнти:

$$w_{p-q}(i+1) = w_{p-q}(i) + \mu \delta_q OUT_p, \quad (2)$$

де i – номер поточної ітерації навчання; w_{p-q} – вага синоптичного нейрону з'єднуючого нейрон p з нейроном q ; μ – коефіцієнт швидкості навчання; OUT_p – вихід з нейрона p .

Корекція вагових коефіцієнтів прихованого шару:

$$\delta_q = OUT_q (1 - OUT_q) \sum_{k=1}^N \delta_k w_{q-k}. \quad (3)$$

Корекція вагових коефіцієнтів відбувається за формулою аналогічною для корекції вихідного шару.

Опис попередньо проведеного експерименту

Дослідження статичної міцності і визначення кривої деформації проводили з використанням спеціалізованого вимірювального комплексу Цвік/Роелл Z100 [24-25]. Зразки відповідали геометричним стандартам для механічних випробувань гумових подібних матеріалів і резинокордних композитів ISO 527-2 1A.

Зразки мали такі геометричні параметри: фактичну товщину: $10 \pm 0,1$ мм; ширина: 10 мм; довжина робочої частини: 80 мм; Загальна довжина: 150 мм. Товщина зразків має варіації 1% через технологічні допуски, який існує у виробництві композитних листів. Інші параметри мають точні значення, тому що всі зразки були отримані шляхом розрізання їх, використовуючи один і той же штамп зі стандартним розміром. На рис. 1 показаний схематичний креслення геометрії зразків та його фотографії.



Рис. 1 – Геометрія зразків для випробувань

Зразки були жорстко закріплені за допомогою механічних затискачів. Таким чином, виміряли зусилля, які відбуваються в нижніх затискачах за допомогою стандартних датчиків (максимальне зусилля $10 \text{ кН} \pm 0,01 \text{ Н}$). Результати автоматично записуються кожні 0,1 секунди. В ході випробувань зразки мали циклічні навантаження з фіксованими рівнями деформації, що дозволяє визначати пружні властивості таких матеріалів в стабілізованому стані.

Інженерна оцінка для середнього початкового модуля для цього матеріалу 140 МПа.

Характерні криві деформації-напруження експерименту проводились з двома програмними навантаженнями рис. 2а та рис. 3а. Напруження отримані за цими програмними навантаженнями наведені на рис. 2б та рис. 3б.

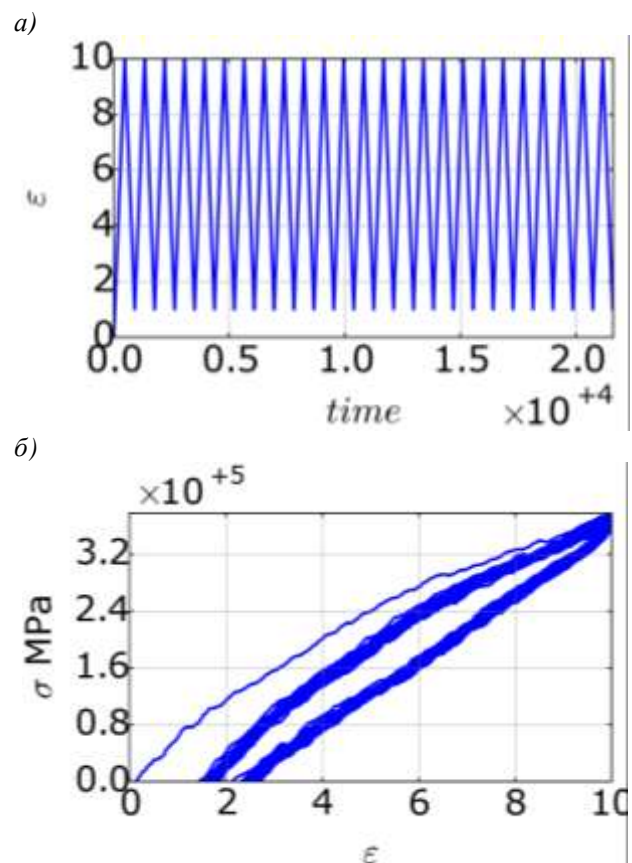


Рис. 2 – Деформаційні криві еластомерного композиційного зразка в напрямку поздовжньої арматури на різних амплітуд: а) – програма навантаження; б) – результат експерименту.

Після проведення даного експерименту було отримано файл з даними залежності часу, напруження та деформації. Так як проводити даний експеримент це коштвна річ, було вирішено розробити програмний комплекс який відтворював результати. Цей спосіб є менш затратний фінансово та займає менше часу.

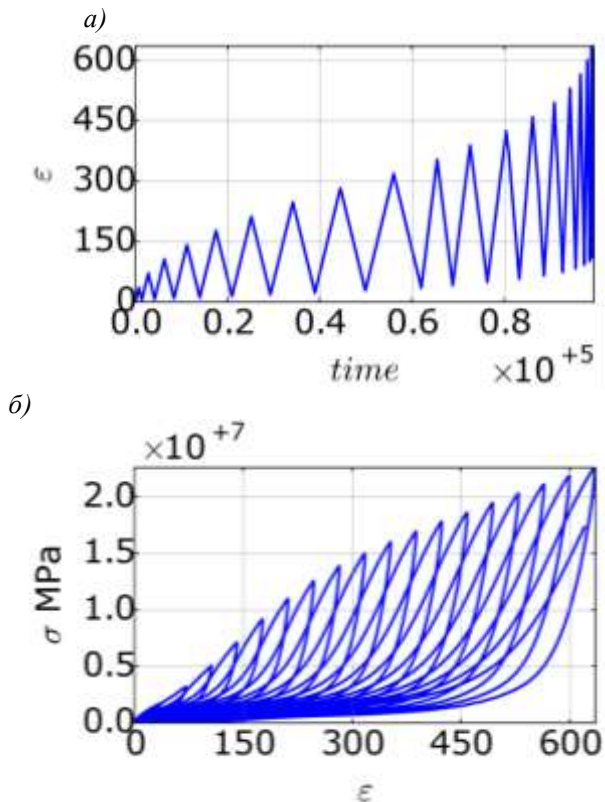


Рис. 3 – Цикли навантаження, що використовувались для навчання мережі: а) – програма навантаження, б) – результат експерименту.

Із даного експерименту було обрано декілька циклів та були використані для навчання ШНМ. За площею петель можна визначити кількість теплоти яка виділилась під час проведення експерименту. Або за формулою:

$$W = \frac{1}{2T} \int_0^T \sigma(t) \varepsilon(t) dt, \quad (4)$$

де T – період.

Визначене тепловиділення композитних матеріалів є важливою практичною задачею при дослідженнях теплового стану композитних матеріалів при циклічному навантаженні.

Розробка програмного забезпечення

Структура мережі

Для побудови ПЗ використано мережу прямого поширення, в якій всі дії відбуваються лише від початку до кінця. Першочергово було зведено початкові данні в проміжок від -1 до 1 (шляхом ділення всіх елементів масиву на максимальне значення). Таким кроком ми нормалізували початкові данні. Після того як початкові данні готові ми для розширення спектру роботи штучного інтелекту додаємо ще 2 початкових набору даних помноживши

всі маючі значення напруження та деформації на коефіцієнти 0,7 та 1,3 (данні коефіцієнти були отримані після експериментальних досліджень, для даної мережі вони є оптимальними значеннями). Таким чином ми розширили спектр в якому може давати прогнози штучний інтелект та зменшили похибку в середині. Експериментальним шляхом було встановлено таку конфігурацію мережі (рис. 4) при якій вхідних нейронів 7, нейронів які знаходяться в скритому шарі 200 в 2 шари, та вихідних 1. На вхід подаються 4 деформації (три з яких – попередні та одна поточна) та 3 напруження (всі напруження попередні), на виході мережа повинна дає відповідь якою буде поточне напруження.

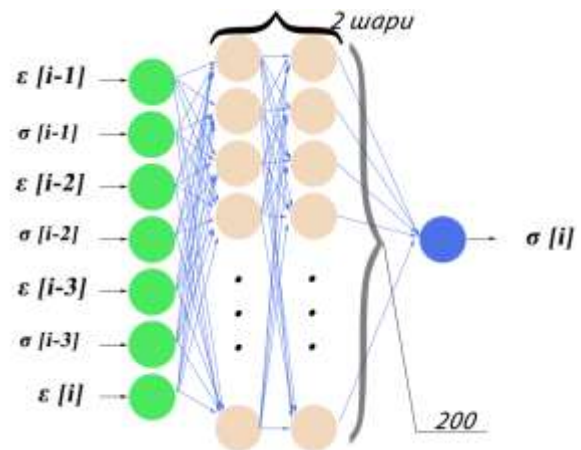


Рис. 4 – Загальна схема мережі

Навчання

Після того як ми нормалізували данні ми додаємо всі набори даних до навчаючої вибірки, починаємо тренувати її з учителем (тобто подаємо значення і відразу відповідь яку ми повинні отримати), таким чином тренер порівнює відповідь яку дав ШНМ з заданим корегує в ту чи іншу сторону вагові коефіцієнти, добиваючись кращого результату мережі. В даному варіанті використовувався звичайний цикл який запускав тренера на одну епоху навчання (один повний прохід по вибірці називається епохою навчання) і отримували квадратичну помилку. Таким чином ми могли слідкувати за процесом навчання та за значенням квадратичної похибки будувати графік залежності кількості ітерацій від похибки, та слідкувати за швидкістю навчання, в ручному режимі задавати похибку або кількість ітерацій. Квадратична похибка це половина сума різниць між відповіддю мережі та тою яку повинні були отримати в квадраті. Використаний тип навчання з тренером: метод зворотного розповсюдження похибки.

$$H = \frac{1}{2} \sum_0^n (Z(x) - Z^*(x))^2, \quad (5)$$

де $Z^*(x)$ – результат з експерименту; $Z(x)$ – відповідь мережі; n – кількість елементів навчаючої вибірки.

Опитування мережі відбувається таким чином: задаються вхідні параметри $\varepsilon(a)$, $\varepsilon(m)$, T , N . Після перевірки на коректність даних, програма будує графік попереднього навантаження та сам графік навантаження за час T , з середнім навантаженням $\varepsilon(m)$, та амплітудою $\varepsilon(a)$, у кількості N циклів. Далі будується масив навантаження та подається на вхід ШНМ. В результаті отримуємо масив значень, яким буде напруження при даних значеннях деформації. Після цього будуються графіки та зберігаються у папку з програмою, та виводяться користувачу на форму. В парі з мережею працює функція предиктор-коректор яка корегує її відповідь усереднюючи її з відповіддю мережі та з прогнозованою відповіддю предиктора-коректора (рис. 5). Будується апроксимуюча функція методом найменших квадратів (ціллю апроксимації методом найменших квадратів являється пошук коефіцієнтів a и b), на базі попередніх 3 точок (6), та знаходиться наступна точка функції (7), та отримуємо відповідь мережі, зберігаємо середнє значення між відповіддю мережі та отриманою відповіддю предиктора-коректора.

$$F(a,b) = \sum_1^3 (y_i - (ax_i + b))^2; \quad (6)$$

$$y_{i+1} = ax_{i+1} + b. \quad (7)$$

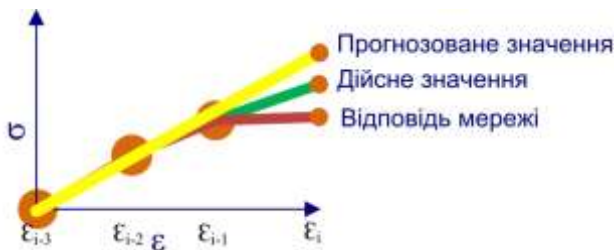


Рис. 5 – Графічне зображення предиктора-коректора, відповіді мережі та дійсного значення

Опис програмного забезпечення

Виходячи з поставленої задачі, було розроблено програмне забезпечення (рис. 6), яке дає можливість по заданим вхідним параметрам, опитувати мережу та будувати графіки:

- $\varepsilon(a)$ – амплітудне значення деформації;
- $\varepsilon(m)$ – середнє значення деформації;
- T – час одного періоду;
- N – кількість циклів;
- α – коефіцієнт впливу предиктора-коректора, на загальнє напруження.

$$\sigma = \sigma_{\text{ШНМ}}\alpha + \sigma_{\text{К}}(1 - \alpha), \quad (8)$$

де σ – результуючі напруження; $\sigma_{\text{ШНМ}}$ – напруження отримані від ШНМ; $\sigma_{\text{К}}$ – прогнозована величина предиктора-коректора.



Рис. 6 – Головна форма для введення параметрів циклу напруження

На рис. 7 зображено яка з вхідних даних за що відповідає, та етапи пред.напруження та сам етап напруження.

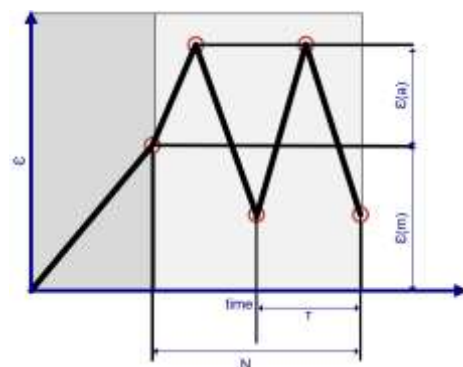


Рис. 7 – Графік пояснюючий яка величина за що відповідає

Вхідний параметр $\varepsilon(a)$ – середнє значення деформації, першочергово програма обчислює масив з 10 значень пред.навантаження (зроблено з метою стабілізації мережі) за наступною формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon(a)}{10} i, i = 1..10. \quad (9)$$

Далі будується масив навантажень в кількості N з періодом T . Для цього знаходяться максимальні та мінімальні навантаження. За наступними формулами:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \varepsilon(a) + \varepsilon(m); \quad (10)$$

$$\varepsilon_{\text{min}} = \varepsilon(a) - \varepsilon(m), \quad (11)$$

Будується функція на базі максимальних та мінімальних навантажень та інтерполюється для проміжних значень для кожної секунди. Отримуємо масив навантажень який подається на вхід ШНМ.

Після введення даних та натискання кнопки «ОК», програма перевіряє коректність вхідних даних, та робить обчислення (рис. 8).

На рис. 9 представлено графік деформації, збудований програмно за вхідними даними. На рис. 10 – графік напружень які виникли під час навантажень.

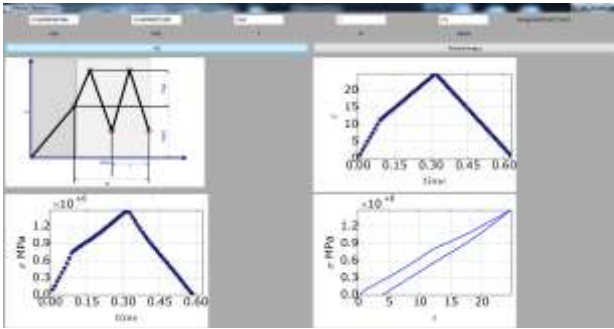


Рис. 8 – Параметри ϵ , σ при введених даних, та результуючі графіки

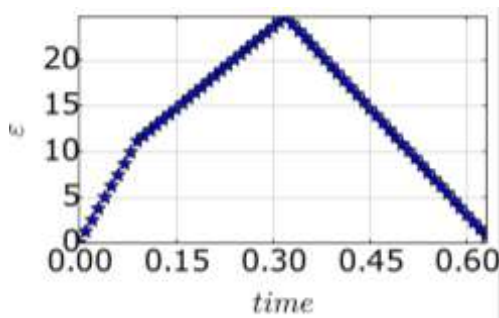


Рис. 9 – Графік залежності деформації від часу

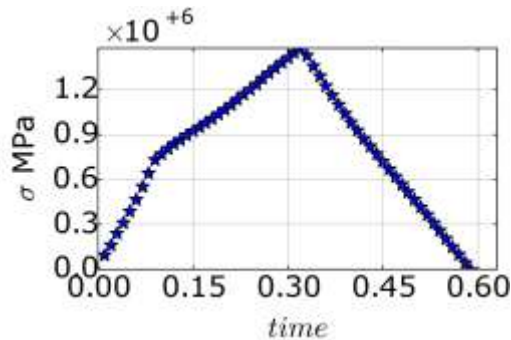


Рис. 10 – Графік залежності напруження від часу

На рис. 11 представлено графік який поєднує напруження та деформацію яка виникли під час даного напруження.

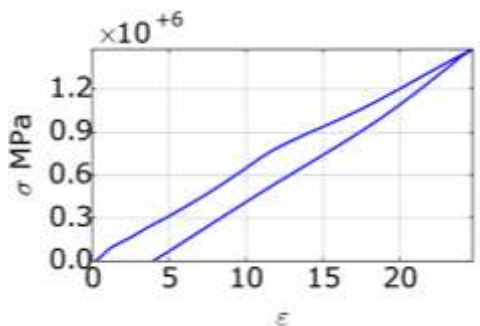


Рис. 11 – Графік залежності напружень від деформації

Тестування роботи ПЗ

Тестування розробленого ШНМ проводилось на експериментальних даних які не використовувались при навчанні мережі, але були експериментально визначені. Таким чином була можливість порівняти відповідь мережі та експерименту, та оцінити величину похибки, яку дає мережа.

На вхід мережі було подано деформації представлені на рис. 12.

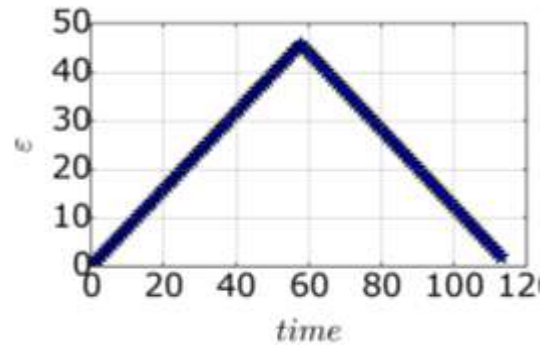


Рис. 12 – Вхідне навантаження

Та отримано графік відповіді мережі на який для наглядного прикладу було виведено також графік проведеного експерименту рис. 13.

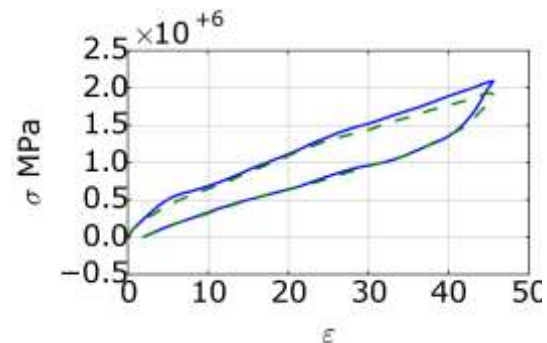


Рис. 13 – Відповідь мережі та проведеного експерименту

На рис. 13 суцільною лінією позначена відповідь мережі, пунктиром графік проведеного експерименту. Для визначення похибки була визначена кількість виділеної енергії. Для експерименту він дорівнює: 17,5 МДж/м³, за ШНМ: 19,8 МДж/м³, що відповідає 13,1 % похибки.

Наступний експеримент було проведено на основі проведеного експерименту, але на даних які не використовувалися для навчання ШНМ та значно перевищують поріг її навчаючою вибірки. Для даного експерименту було подано деформації представлені на рис. 14.

Та отримано графік відповіді мережі (суцільна) разом з графіком проведеного експерименту (пунктиром) рис. 15. Так як даний експеримент не

лежить в області навчаючої вибірки на якій навчалась ШНМ, та значно перевищує їх, похибка значно збільшилась. Так кількість виділеної енергії за експериментом складає 518,1 МДж/м³ за ШНМ 319,7 МДж/м³, що складає 38,2 %. Тому використання ШНМ за межами навчаючої вибірки не рекомендовано, так як за її межами спостерігається різке збільшення похибки.

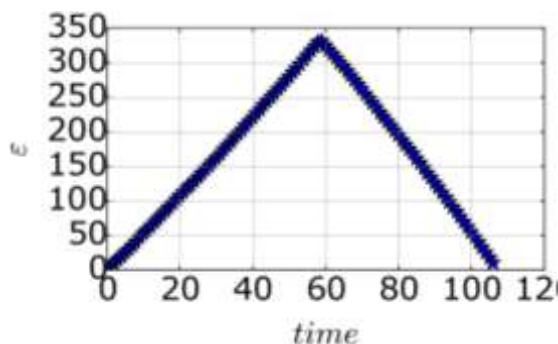


Рис. 14 – Вхідне навантаження

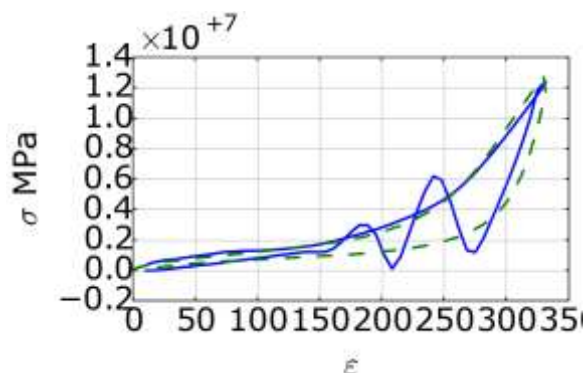


Рис. 15 – Відповідь мережі разом з проведеним експериментом

Для визначення залежності виділення теплоти при різних амплітудах деформації було збудовано графік залежності амплітудної деформації від площі петлі циклу навантаження (рис. 16). Він наглядно відображає з якою швидкістю збільшується кількість виділеної енергії при збільшенні амплітуди деформації.

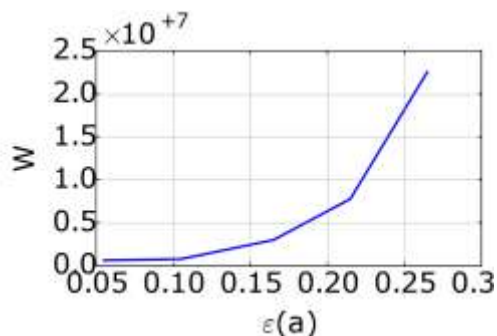


Рис. 16 – Графік залежності площі петлі від амплітудної деформації

Висновки

В роботі побудовано штучна нейронна мережа, та описано програмне забезпечення яке дозволяє автоматизувати обробку експериментальних даних з використання штучних нейронних мереж. Проведено два експерименти, які в подальшому використовувалися для навчання побудованої ШНМ та оцінки похибки її роботи. Виходячи з вивченої літератури була запрограмована та навчена мережа прямого поширення оптимального типу з мінімальною похибкою роботи, простим та зрозумілим інтерфейсом, швидкою роботою ПЗ.

Виходячи з поставленої задачі було виконано:

- Вивчена допоміжна література, на базі якої отримані необхідні знання для подальшого розроблення ШНМ;

- Розроблена ШНМ апроксимуюча проведений експеримент яка працює в парі з функцією предиктор-коректор;

- З результату експерименту були підготовлені данні на основі яких була навчена модель;

- Розроблено програмне забезпечення з візуалізацією з простим та зрозумілим інтерфейсом;

- Розроблена можливість визначення кількості виділеної енергії (при $\epsilon(a) = 0.165$, $\epsilon(m) = 0.165$ кількість виділеної енергії становитиме: 4,3 МДж);

- Оцінена похибка відповіді мережі, при використанні мережі в межах не перевищуючих максимальні данні навчаючої вибірки, похибка становить 13,1 %, при перевищенні похибка становитиме 38,2 %.

Список літератури

1. **Bowers, M. E.** FSCBG: An Aerial Spray Dispersion Model for Predicting the Fate of Released Material Behind Aircraft / **M. E. Bowers, J. R. Rafferty, J. K. and Barry** // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 1993. – Vol. 12, No. 3. – P. 453–64.
2. **Furukawa, T.** Engineering Analysis with Boundary Elements / **T. Furukawa, M. Hoffman** // *Journal of Earthquake Engineering*. – 2004. – No 28. – P. 195–204.
3. **Elnashai, A. S.** Development of Neural Network Based Hysteretic Models for Steel Beam-Column Connections Through Self-Learning Simulation / **A. S. Elnashai, N. N. Ambraseys** // *Journal of Earthquake Engineering*. – 2007. – No 11. – P. 453–467. – doi: 10.1080/13632460601123180.
4. **Розенблатт, Ф.** Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга. – М.: Мир. – 1965. – 480 с.
5. **Lau, K. M.** Comparison of the Hopfield scheme to the hybrid of Lagrange and transformation approaches for solving the travelling salesman problem / **K. M. Lau, S. M. Chan, L. Xu** // *Proceedings of Intelligence in Neural and Biological Systems*. – 1995. – doi: 10.1109/INBS.1995.404259.
6. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD (дата звернення: 20.10.2016)

7. URL: <https://habrahabr.ru/post/134998/> BD (дата звернення: 10.11.2016).
8. URL: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/back-propagation.html> (дата звернення: 10.11.2016).
9. URL: <http://monographies.ru/ru/book/section?id=2465> (дата звернення: 22.10.2016).
10. **Фогель, Л.** Искусственный интеллект и эволюционное моделирование / **Л. Фогель, А. Оуэнс, М. Уолш** // М.: Мир. – 1969.
11. **Смолин, Д. В.** Введение в искусственный интеллект - конспект лекций. М. – 2004. – 208 с.
12. **Круглов, В. В., Борисов, В. В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / **В. В. Круглов, В. В. Борисов.** – 2-е изд. – 2002.
13. **Рутковская Д.** и др. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – 2006.
14. **Zhang, Z.** Dynamic mechanical properties of PTFE based short carbon fibre reinforced composites: experiment and artificial neural network prediction / **Z. Zhang, P. Klein, K. Friedrich** // *Composites Science and Technology*. – 2002. – Т. 62, №. 7. – С. 1001-1009. – doi: 10.1016/S0266-3538(02)00036-2.
15. **Bahrami, A.** Prediction of mechanical properties of DP steels using neural network model / **A. Bahrami, S. H. M. Anijdan, A. Ekrami** // *Journal of alloys and compounds*. – 2005. – Т. 392, №. 1. – С. 177-182. – doi: 10.1016/j.jallcom.2004.09.014.
16. **Sterjovski, Z.** et al. Artificial neural networks for modelling the mechanical properties of steels in various applications / **Z. Sterjovski** et al. // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2005. – Т. 170. – №. 3. – С. 536-544. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.05.040
17. **Malinov, S.** Modelling the correlation between processing parameters and properties in titanium alloys using artificial neural network / **S. Malinov, W. Sha, J. J. McKeown** // *Computational materials science*. – 2001. – Т. 21, №. 3. – С. 375-394. – doi: 10.1016/S0927-0256(01)00160-4.
18. **Okuyucu, H.** Artificial neural network application to the friction stir welding of aluminum plates / **H. Okuyucu, A. Kurt, E. Arcaklioglu** // *Materials & design*. – 2007. – Т. 28, №. 1. – С. 78-84. – doi: 10.1016/j.matdes.2005.06.003.
19. **Zhang, Z.** Artificial neural networks applied to polymer composites: a review / **Z. Zhang, K. Friedrich** // *Composites Science and technology*. – 2003. – Т. 63, №. 14. – С. 2029-2044. – doi: 10.1016/S0266-3538(03)00106-4.
20. **Zhou, C. C.** Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: artificial neural networks and genetic algorithm approach / **C. C. Zhou, G. F. Yin, X. B. Hu** // *Materials & Design*. – 2009. – Т. 30, №. 4. – С. 1209-1215. – doi: 10.1016/j.matdes.2008.06.006.
21. **McBride, J.** Modelling tensile properties of gamma-based titanium aluminides using artificial neural network / **J. McBride, S. Malinov, W. Sha** // *Materials Science and Engineering*. – 2004. – Т. 384, №. 1. – С. 129-137. – doi: 10.1016/j.msea.2004.05.072.
22. **Mandal, S.** et al. Artificial neural network modeling to evaluate and predict the deformation behavior of stainless steel type AISI 304L during hot torsion / **S. Mandal** et al. // *Applied Soft Computing*. – 2009. – Т. 9, №. 1. – С. 237-244. – doi: 10.1016/j.asoc.2008.03.016.
23. **Altinkok, N.** Modelling of the prediction of tensile and density properties in particle reinforced metal matrix composites by using neural networks / **N. Altinkok, R. Koker** // *Materials & design*. – 2006. – Т. 27, №. 8. – С. 625-631. – doi: 10.1016/j.matdes.2005.01.005.
24. **Larin, O.** Two-scale approach to modelling of pneumatic tyres / **O. Larin, Yu. Petrova, V. Mateichyk** // *Rzeszow: Politechnika Pzeszowska Im. Ignacego Lukaszewicza*. – 2013. – P. 123-128.
25. **Larin, O.** Experimental observations of orthotropic elastic and viscoelastic characteristics of the elastomeric textile reinforced composites / **O. Larin, E. Barkanov, I. Petrova** // *Innovative solutions in repair of gas and oil pipelines, Bulgarian Society for destructive testing Publishers, BAS, Sofia*. – 2016. – P. 192-203.

Bibliography (transliterated)

- Bowers, M. E., Rafferty, J. R., and Barry, J. K.** FSCBG: An Aerial Spray Dispersion Model for Predicting the Fate of Released Material Behind Aircraft. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1993, **12**(3), 453–64.
- Furukawa, T., Hoffman, M.** Engineering Analysis with Boundary Elements. *Journal of Earthquake Engineering*. 2004, **28**, 195–204.
- Elnashai, A. S., Ambraseys, N. N.** Development of Neural Network Based Hysteretic Models for Steel Beam-Column Connections Through Self-Learning Simulation. *Journal of Earthquake Engineering*. 2007, **11**, 453–467, doi: 10.1080/13632460601123180.
- Rozenblatt, F.** Principy nejroinamiki: Perceptrony i teorija mehanizmov mozga. Moscow: Mir, 1965, 480 p.
- Lau, K. M., Chan, S. M., Xu, L.** Comparison of the Hopfield scheme to the hybrid of Lagrange and transformation approaches for solving the travelling salesman problem. *Proceedings of Intelligence in Neural and Biological Systems*, 1995, doi: 10.1109/INBS.1995.404259
- URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD (data zvernennja: 20.10.2016)
- URL: <https://habrahabr.ru/post/134998/> BD (data zvernennja: 10.11.2016)
- URL: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/back-propagation.html> (data zvernennja: 10.11.2016)
- URL: <http://monographies.ru/ru/book/section?id=2465> (data zvernennja: 22.10.2016)
- Fogel', L., Oujens, A., Uolsh, M.** Iskusstvennyj intellekt i jevoljucionnoe modelirovanie. Moscow:Mir, 1969.
- Smolin, D. V.** Vvedenie v iskusstvennyj intellekt - konspekt lekcij. Moscow, 2004, 208 p.
- Kruglov, V. V., Borisov, V. V.** Iskusstvennye nejronnye seti. Teorija i praktika. 2-e izd, 2002.
- Rutkovskaja, D.** i dr. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy, 2006.
- Zhang, Z., Klein P., and Friedrich, K.** Dynamic mechanical properties of PTFE based short carbon fibre reinforced composites: experiment and artificial neural network prediction. *Composites Science and Technology*. 2002, **62**(7), 1001-1009. doi: 10.1016/S0266-3538(02)00036-2.
- Bahrami, A., Anijdan, S. H., Mousavi and Ekrami, A.** Prediction of mechanical properties of DP steels using neural network. *Journal of alloys and compounds*. 2005, **392**(1), 177-182, doi: 10.1016/j.jallcom.2004.09.014mode1.
- Sterjovski, Z.** et al. Artificial neural networks for modelling the mechanical properties of steels in various applications. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005, **170**(3), 536-544, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.05.040.

17. **Malinov, S., Sha, W. and McKeown, J. J.** Modelling the correlation between processing parameters and properties in titanium alloys using artificial neural network. *Computational materials science*. 2001, **21**(3), 375-394, doi: 10.1016/S0927-0256(01)00160-4.
18. **Okuyucu Hasan, Adem Kurt and Erol Arcaklioglu** Artificial neural network application to the friction stir welding of aluminum plates. *Materials & design*. 2007, **28**(1), 78-84, doi: 10.1016/j.matdes.2005.06.003.
19. **Zhang, Z. and Friedrich, K.** Artificial neural networks applied to polymer composites: a review. *Composites Science and technology*. 2003, **63**(14), 2029-2044, doi: 10.1016/S0266-3538(03)00106-4.
20. **Zhou Chang-Chun, Guo-Fu Yin and Xiao-Bing Hu** Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: artificial neural networks and genetic algorithm approach. *Materials & Design*. 2009, **30**(4), 1209-1215, doi: 10.1016/j.matdes.2008.06.006.
21. **McBride, J., Malinov S. and Sha, W.** Modelling tensile properties of gamma-based titanium aluminides using artificial neural network. *Materials Science and Engineering*. 2004, **384**(1), 129-137, doi: 10.1016/j.msea.2004.05.072.
22. **Mandal Sumantra et al.** Artificial neural network modeling to evaluate and predict the deformation behavior of stainless steel type AISI 304L during hot torsion. *Applied Soft Computing*. 2009, **9**(1), 237-244, doi: 10.1016/j.asoc.2008.03.016.
23. **Altinkok Necat and Rasit Koker** Modelling of the prediction of tensile and density properties in particle reinforced metal matrix composites by using neural networks. *Materials & design*. 2006, **27**(8), 625-631, doi: 10.1016/j.matdes.2005.01.005.
24. **Larin, O., Petrova, Yu., Mateichyk, V.** Two-scale approach to modelling of pneumatic tyres. *Rzeszow: Politechnika Pzszowska Im. Ignacego Lukaszewicza*. 2013, 123-128.
25. **Larin, O., Barkanov, E., Petrova, I.** Experimental observations of orthotropic elastic and viscoelastic characteristics of the elastomeric textile reinforced composites. *Innovative solutions in repair of gas and oil pipelines, Bulgarian Society for destructive testing Publishers, BAS, Sofia*. 2016, 192-203.

Відомості про авторів (About authors)

Погребняк Сергій Віталійович – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри динаміки та міцності машин; м. Харків, Україна; e-mail: pogrebnyak.etal@mail.ru

Sergij Pogrebnyak – student of National Technical University "KhPI", student Dynamics and Strength of Machines Department, Kharkov, Ukraine e-mail: pogrebnyak.etal@mail.ru.

Водка Олексій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри динаміки та міцності машин; м. Харків, Україна; e-mail: oleksii.vodka@gmail.com.

Oleksii Vodka – Ph. D., National Technical University "KhPI", Docent of Dynamics and Strength of Machines Department, Kharkov, Ukraine; e-mail: oleksii.vodka@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Погребняк, С. В. Розробка комп'ютерної системи для обробки результатів експерименту за допомогою штучної нейронної мережі / **С. В. Погребняк, О. О. Водка** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 145-153. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.24.

Please cite this article as:

Pogrebnyak, S., Vodka, O. Development of computer system for processing experiment results with neural networks. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 145–153, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.24.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Погребняк, С. В. Разработка компьютерной системы для обработки результатов эксперимента с помощью искусственной нейронной сети / **С. В. Погребняк, О. О. Водка** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 145-153. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.24.

АНОТАЦІЯ Нейронні мережі знайшли своє застосування в різних сферах комп'ютерного моделювання, в тому числі і в механіці. Вони часто застосовуються, так як дають високу точність, швидкість і гнучкість роботи. Метою роботи є написання програмного забезпечення з використанням штучного інтелекту, для апроксимації та інтерполяції експериментальних даних. Програмне забезпечення повинно коректно працювати, мати простий інтерфейс та видавати результати з мінімальною помилкою. Методом рішення було застосування штучного інтелекту, а точніше нейронних мереж прямого розповсюдження. В роботі побудована та навчена нейронна мережа прямого розповсюдження. Вона була навчена вчителем (використання методу зворотного розповсюдження помилки) на основі навчальної вибірки попередньо проведеного експерименту. Для перевірки мережі на коректність роботи та визначення величини помилки мережі, проводилися перевірки на заздалегідь відомих даних, на яких не використовувалися в навчальній вибірці, таким чином була проведена незалежна оцінка та визначена точність роботи мережі та визначена зона оптимальної роботи мережі. В статті детально описується тип мережі та її топологія, кількість вхідних, вихідних та схованих нейронів, типи функцій активації, спосіб навчання та підготовки навчальної вибірки, описані математично. В результаті проведеної роботи була побудована та протестована програмне забезпечення з використанням нейронних мереж, визначена величина помилки та зона її можливої роботи.

Ключові слова: штучна нейронна мережа; комп'ютерне моделювання; штучний інтелект; апроксимація; інтерполяція; програмне забезпечення.

Поступила (received) 15.12.2016

УДК 65.012.3: 316.422

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

О. С. САВЕЛЬЕВА^{1*}, А. Л. СТАНОВСКИЙ¹, И. И. СТАНОВСКАЯ², Е. И. БЕРЕЗОВСКАЯ¹,
И. ХЕБЛОВ¹, И. Н. ГУРЬЕВ¹, И. А. САУХ¹¹ Кафедра нефтегазового и химического машиностроения, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА² Кафедра высшей математики и моделирования систем, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*email: okssave@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Для эффективного применения физических аналогий при оптимизации непредвиденных ресурсных потоков в проектной среде, возникающих, например, при реализации рискованных событий, необходимо наличие адекватной дискретной адаптивной модели пространства управления проектами. Предложено построение такой модели с помощью виртуальных элементов с переменной проницаемостью и емкостью. Модель реализована при строительстве энергообъектов с положительным техническим эффектом.

Ключевые слова: проектные риски; ресурсные потоки; модель пространства управления проектами; физические аналогии.

THE PROJECT MANAGEMENT SPACE FORMALIZATION

O. SAVELEVA^{1*}, A. STANOVSKYI¹, I. STANOVSKA², K. BERESOVSKA¹, I. HEBLOV¹,
I. GURJEV¹, I. SAUKH¹¹ Department of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE² Department of Mathematics and Systems Modeling, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT. For the effective use of physical analogies in the optimization of emergency resource flows in the project environment, arising, for example, the implementation of risk events must have an adequate discrete adaptive model of space project management. The proposed building such a model using virtual elements with variable permeability and capacity. Project management like any other strategic process is subject to careful planning to ensure the effective implementation of all the work under the project within the specified timeframe. Unfortunately, the project activity does not develop "according to plan", responding thus to the many risk events that occur under the influence of the turbulent environment. The vitality of a project is reduced, until the complete stop of the project. In this respect, project management should respond to risk events quickly, frequently, in the case of force majeure, no time for a thorough analysis of the situation and adoption of effective solutions to eliminate the effects of planned and, especially, the "surprise" of risk events. The analysis of methods and means of project management processes and programs formalized the concept of "adaptive discrete environment project activities" in the form of a hypercube in eleven space-time, defined the elements of the environment and their properties. The developed method of on-line geometrical adaptation of the structure of the elements of the environment to the real needs of the optimization processes, with the Express design of logistics flows, aimed at minimizing losses during the realization of risk events. Tests in Corporation "UNION" showed: the project execution period is reduced by 11 %; the cost of implementation of the project was reduced to 1.25 %; the amount of risk, which managed to be prevented – 17 %.

Keywords: project risks; resource flow; model of space project management; physical analogy.

Введение

Управление проектом, как и любым другим стратегическим процессом, подлежит тщательному структурному планированию, обеспечивающему эффективное выполнение всех предусмотренных проектом работ в заданные сроки [1, 2].

К сожалению, проектная деятельность, как правило, развивается не «по плану», реагируя тем самым на множество рискованных событий, возникающих под воздействием турбулентной окружающей среды [3, 4]. При этом живучесть проекта (вероятность выполнения его в заданные сроки, при заданных ресурсах и с заданным качеством) снижается, вплоть до полной остановки выполнения проекта.

В связи с этим менеджмент проекта должен

реагировать на возникающие рискованные события быстро, зачастую, в форс-мажорных обстоятельствах, не оставляющих времени для тщательного анализа обстановки и принятия эффективного решения по устранению последствий запланированных и, особенно, «внезапных» рискованных событий [5].

Важнейшей составляющей такого реагирования является перераспределение ресурсов проекта (финансов, энергии, материалов, исполнителей, информации и т.п.) между элементами последнего [6]. Поскольку ресурсы и время проекта всегда ограничены, а аварийное перераспределение затрагивает интересы и других, не только пострадавших от рискованных событий функциональных областей проекта, его участников, задача неизбежно сводится к многоцелевой многомерной оптимизации с множеством ограничений [7, 8].

Быстрое и точное аналитическое решение подобных задач оптимизации в условиях проектной деятельности не представляется возможным из-за отсутствия многих исходных данных и адекватных математических моделей, а, например, когнитивный подход, в котором поиск наилучших решений ищут на пути достижения критериального подобия между параметрами проектного и термодинамического процессов [8], ограничен отсутствием результатов адекватной формализации проектной среды, в которой эти процессы протекают.

Отсутствие описания проектной среды, в рамках которой должна происходить «битва за проект», ее элементов и свойств, а также методов адаптации моделей среды к реальным событиям процессов управления и связанным с этим проектными рисками, делает любой метод оптимизации нестрогим, а результаты последней неэффективными.

Именно построению и обоснованию такой формализации посвящена настоящая работа.

Цель работы

Целью работы является сохранение живучести проекта в течение всего периода его реализации за счет компенсации последствий рискованных событий в проектной деятельности путем повышения адекватности методов и моделей оптимизации перераспределения компенсационных ресурсов за счет создания для этого математической базы построения таких моделей.

Для достижения этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи: формализовано понятие «дискретная среда проектной деятельности», определены ее элементы и их свойства, разработаны методы адаптации структуры среды к реальным потребностям оптимизационных процессов, выполнены практические испытания результатов исследования с положительным технико-экономическим эффектом.

Изложение основного материала

Рассмотрим физический объект любой природы в $(N+1)$ -мерном пространстве-времени, обладающее N независимыми размерными переменными пространства и одной независимой переменной времени. В доступном для наблюдения окружающем мире $N = 3$ (рис. 1).

Каждая точка такого четырехмерного «физического» пространства определяется непрерывными координатами x , y , z и τ , а интенсивность произвольного параметра Ω (например, температуры) в этой точке определяется соотношением:

$$\Omega = \Omega(x, y, z, \tau). \quad (1)$$

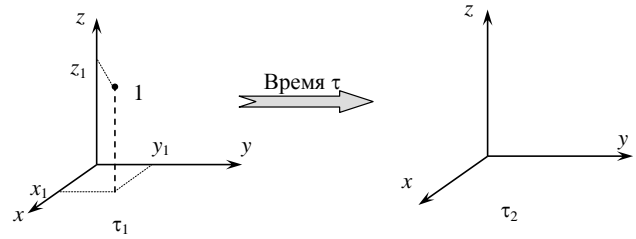


Рис. 1 – $(N+1)$ -мерное непрерывное пространство-время ($N = 3$) существования физических объектов

Далее рассмотрим проектную деятельность любой природы в $(F+1)$ -мерном пространстве-времени, обладающую F функциональными независимыми переменными пространства и одной независимой переменной времени. В справочной литературе, имеющей силу стандарта в области управления проектами и программами [2], как правило, $F = 10$ (рис. 2). Для наглядности на рисунке показаны только 3 измерения 10-мерного гиперкуба пространства проектной деятельности: S – содержание, Z – затраты и Q – персонал.

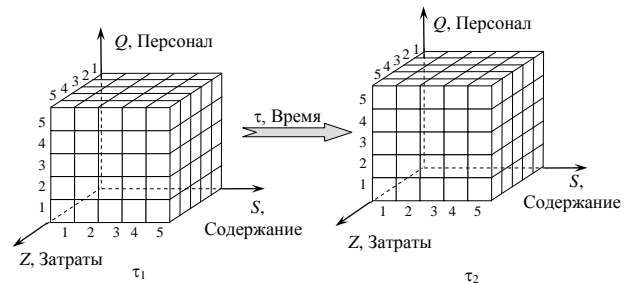


Рис. 2 – P -мерное дискретное пространство-время ($P = 3$) существования проектной деятельности

В «полном» гиперкубе к этим трем измерениям добавляются еще семь: T – сроки, D – риски, H – стороны, J – интеграция, Su – поставки, Q – качество и I – информация.

Соответственно, каждый элементарный «кубик» такого «проектного» пространства (рис. 3) определяется десятью независимыми дискретными координатами $\mathbf{K} = \{S, Z, Q, T, D, H, J, Su, Q, I\}$, а с учетом времени – одиннадцатью независимыми переменными (время может быть непрерывным).

Каждому элементу проектного пространства-времени соотнесены дискретные координаты пространства и время, которые определяют его однозначно.

Кроме независимых, каждому элементу сопоставляется также некоторый вектор \mathbf{R} зависимых ресурсных переменных так, что, в итоге, имеет место следующее соотношение:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}(S, Z, Q, T, D, H, J, Su, Q, I, \tau) = \mathbf{R}(\mathbf{K}, \tau). \quad (2)$$

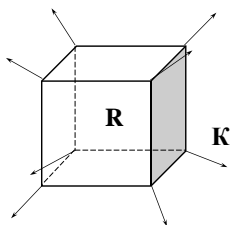


Рис. 3 – Одиннадцатимерный элемент проектного пространства

Будем считать, что в пределах каждого элемента значения R в любой точке всегда одинаковы между собой; при изменении элемента или при изменении времени у одного и того же элемента значения R в общем случае переменны.

Размерность R , как правило, высока, она гораздо выше, чем размерность элементарного гиперкуба $F = 10$, так как каждой функциональной области соответствуют несколько переменных параметров.

Например, у функциональной области «Персонал» есть множество переменных: поименованный список, анкетные данные всех работников, их квалификация и пр.

В качестве примеров элементов этого множества можно также привести финансовое обеспечение, широкий спектр материальных ресурсов и технологического оборудования, данные о поставщиках и многое другое. Поэтому, составляя из отдельных элементов F -мерное пространство управления проектами, необходимо сразу договориться о законах перемещения множества компонент вектора R зависимых ресурсных переменных в пределах проектного пространства или, что то же самое, между элементами.

Именно **правила перемещения компонент вектора R** между элементами определяют свойства пространства управления проектами и условия функционирования моделей проектной деятельности в нем.

В работе [8] высказана гипотеза о том, что максимальной эффективности логистическая деятельность по компенсации произошедших рисков событий достигается в том случае, когда математическая модель перемещения проектных ресурсов совпадает по форме с математической моделью одного из физических законов протекания.

В любом случае, пространству проектной деятельности должно быть присуще также такое свойство физических объектов, как анизотропия, т.е. различие свойств среды (например, физических: упругости, электропроводности, теплопроводности, показателя преломления, скорости звука или света и др.) в различных направлениях внутри этой среды [9].

Основное различие между переносом проектных ресурсов (финансы, материалы, исполнители и т.п.) и протеканием термодинамических фазовых компонент (температура, концентрация, давление и т. п.)

заключается в том, что последние протекают самопроизвольно в соответствии с законами термодинамики, а первые подчиняются только волюнтаристским распоряжениям менеджеров проект.

В результате, например, тепло передается только соседнему элементу пространства, потом следующему и т.д., а финансы могут быть переброшены в любой другой элемент проектной деятельности, находящийся на любом расстоянии от элемента-донора.

Более того, у пространства-времени проектной деятельности вообще нет «размеров» в общепринятом понимании. Этим отличаются модели, представленные на рис. 2 и рис. 1.

В пространстве проектной деятельности (рис. 2) «соседство» элементов определяются не по их геометрическому расположению, как в физике, а достаточно произвольным выбором содержания каждого направления в десятимерном гиперкубе проектной деятельности, поэтому в работе была создана модель, позволяющая обеспечивать перемещение от одного элемента проектной деятельности к другому так, как это происходило бы в дискретной физической модели.

Рассмотрим частный случай проектной деятельности, когда объект, состоящий из двух функциональных областей, перемещается в дискретном времени так, как это показано на рис. 4.

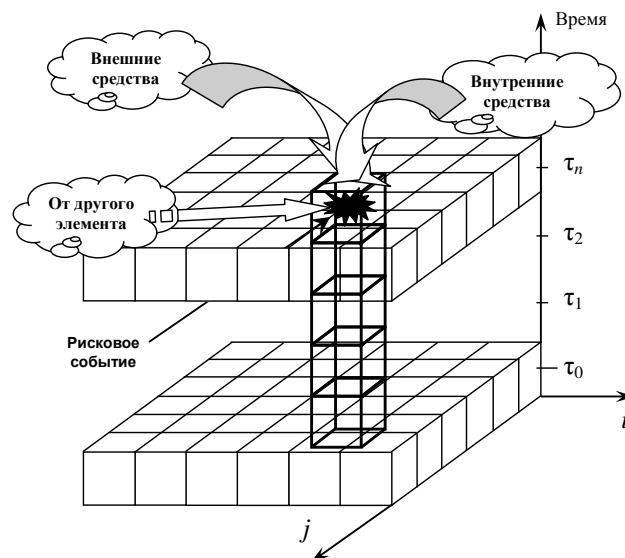


Рис. 4 – Средства компенсации последствий рисков событий

Пусть на временной итерации τ_n у ij -го элемента произошло непредвиденное событие, которое было расценено как рисковое.

Пусть для «спасения» этого элемента необходимо выполнить одно из трех действий или любую их комбинацию:

- перебросить некоторый ресурс от других

элементов;

– перебросить ресурс за счет внутренних запасов проекта;

– перебросить ресурс за счет внешних запасов, на которые может рассчитывать проект.

Если второе и третье действия могут быть осуществлены термодинамически «мгновенно» (например, как при срабатывании выключателя), то для первого процесса предлагается следующий механизм его реализации.

Пусть необходимо передать некоторый ресурс (материалы, исполнители, технику и пр.) из элемента пространства управления проектом № 1 в элемент № 5 (рис. 5).

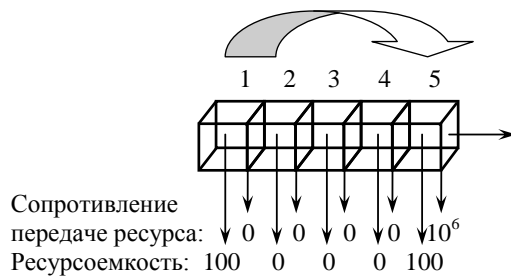


Рис. 5 – Схема адаптации структуры пространства управления проектами под нужды перераспределения ресурсных потоков

При этом упомянутый ресурс не должен осесть в элементах №№ 2 – 4, находящихся на пути от элемента № 1 к элементу № 5. По аналогии с самопроизвольным термодинамическим процессом передачи тепла в проектной деятельности ресурс должен условно передаваться от элемента № 1 к элементу № 2 и далее, к № 3 и т.д., пока ресурс не достигнет элемента № 5.

В дискретной модели теплопередачи каждый элемент обладает теплоемкостью c и теплопроводностью $1/\lambda$ (λ – теплопроводность), определяющим скорость передачи тепла через элемент и количество тепла, остающегося в элементе [10, 11]. Если теплопроводность $1/\lambda$ и теплоемкость c равны нулю, то физический элемент не оставляет у себя тепло и передает его дальше мгновенно. Аналогично, если сопротивление передаче ресурса и ресурсоемкость равны нулю, то проектный элемент не оставляет у себя ресурс и передает его дальше мгновенно (рис. 5).

В этих условиях, при равенстве нулю сопротивления передаче ресурса и ресурсоемкости в виртуальных элементах №№ 2 – 4, ресурс из элемента № 1 поступит сразу и без потерь в элемент № 5, что и является решением задачи ресурсопереноса «на расстояние», описанной выше.

В Корпорации «СОЮЗ» (г. Одесса) были проведены испытания разработанной в ОНПУ системы «RILAM» оптимизации затрат на предотвращение и компенсацию последствий

рисковых событий, основанной на проектировании логистики ресурсов с помощью физических аналогий. Система «RILAM» была задействована при управлении проектом строительства подстанции ПС 750/330 кВ «Каховская» с положительным технико-экономическим эффектом.

Обсуждение результатов

Результаты работы подтверждают возможность использования для планирования процессов, необходимых для компенсации рисков событий в проектной деятельности, с помощью термодинамических аналогий. Разработанная для этого дискретная формализованная среда позволяет соотносить в процессе моделирования такие обстоятельства, которые серьезно отличают физические процессы от проектных.

К таким процессам относятся, в частности, физические законы и проектные правила переноса субстанции. Преодолено противоречие, возникающего от того, что физические процессы самопроизвольны, а проектные определяются решениями, принимаемыми менеджерами проекта.

Выводы

В результате анализа методов и средств процессов управления проектами и программами формализовано понятие «адаптивная дискретная среда проектной деятельности» в виде гиперкуба в одиннадцатимерном пространстве-времени, определены элементы этой среды и их свойства.

Разработан метод *on-line* геометрической адаптации структуры элементов среды к реальным потребностям оптимизационных процессов при экспресс-проектировании логистических потоков, направленных на минимизацию потерь при реализации рисков событий.

В Корпорации «СОЮЗ» (г. Одесса) были проведены испытания разработанных в ОНПУ подсистем оптимизации затрат на предотвращение и компенсацию последствий рисков событий. Испытания показали следующие технико-экономические результаты: сроки выполнения проекта снижены на 11 %; стоимость выполнения проекта снижена в 1,25 раза; количество рисков, которых удалось предупредить, возросла на 17 %.

Поставленные и решенные в работе задачи являются основой для дальнейшего продолжения научных исследований и практического внедрения адаптивных моделей с целью математической поддержки проектной деятельности на этапах предотвращения и компенсации последствий проектных рисков.

Список литературы

1. EIA-649-B. Configuration Management Standard. TechAmerica. – [Web]. Режим доступа:

- <http://www.techstreet.com/products/1800866>. – 2011.
- Project Management Institute. Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 USA. – 2004. – 388 p.
 - Lehman, Ann** Jmp For Basic Univariate And Multivariate Statistics: A Step-by-step Guide / **Ann Lehman** // Cary, NC: SAS Press. – 2005. – 123 p.
 - Колеснікова, К. В.** Концептуальна модель управління проектами / **К. В. Колеснікова, В. Д. Гогунський, А. О. Негрі, Г. С. Олех** // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2016. – № 23 (99). – С. 175 – 179.
 - Тесля, Ю. М.** Системна організація управлінських взаємодій як інструмент підвищення ефективності реалізації складних проектів / **Ю. М. Тесля, І. І. Оберемок, О. Г. Тімінський** // *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. – Черкаси: ЧДТУ. – 2008. – №2. – С. 100 – 105.
 - Nasir Rashid** Offshore country selection risk management model: Systematic literature Review Protocol / **Nasir Rashid, Siffat Ullah Khan** // *Journal of Computer Engineering*. – 2012. – Vol. 3, Issue 4. – P. 46 – 55.
 - Itskov, M.** Tensor Algebra and Tensor Analysis for Engineers. With Applications to Continuum Mechanics / **M. Itskov** // *Springer*. – 2015. – 290 p.
 - Савельева, О. С.** Разработка термодинамической критериальной поддержки когнитивных моделей переноса в управлении проектами и программы / **О. С. Савельева, И. И. Становская, А. В. Торopenko, И. Н. Щедров, Е. И. Березовская** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – Харьков. – 2015. – № 6/3 (78). – С. 53 – 59. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
 - Xiujuan Zhang.** Effective medium theory for anisotropic metamaterials / **Xiujuan Zhang, Ying Wu** // *Scientific Reports* 5, – Article number: 7892. – 2015. – doi:10.1038/srep07892.
 - Становський, О. Л.** Метод управління проектами за допомогою динамічних моделей / **О. Л. Становський, К. В. Колеснікова, О. Ю. Лебедєва, Ісмаїл Хеблов** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – Харьков. – 2015. – № 6/3 (78). – С. 46 – 52.
 - Худенко, Н. П.** Електричне моделювання теплових процесів у 4D просторі – часі / **Н. П. Худенко, О. С. Балан, Т. В. Лисенко** // *Труди Одеської академії пищевих технологій*. – 2003. – № 25. – С. 218 – 221.

Bibliography (transliterated)

- EIA-649-B. Configuration Management Standard. TechAmerica. 2011, [Web]: <http://www.techstreet.com/products/1800866>.
- Project Management Institute. Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 USA, 2004, 388 p.
- Lehman, Ann** Jmp For Basic Univariate And Multivariate Statistics: A Step-by-step Guide. Cary, NC: SAS Press, 2005, 123 p.
- Kolesnikova, K. V., Gogunskiy, V. D., Negri, A. O., Olex, G. S.** Kontseptualna model upravlinnya proektami. *Elektrotehnichekie i kompyuternye sistemyi*, 2016, **23** (99), 175 – 179.
- Teslya, Yu. M., Oberemok, I. I., Timinskiy, O. G.** Sistemna organizatsiya upravlinskih vzaemodly yak instrument pidvischennya efektnosti realizatsiyi skladnyh proektiv. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*. Cherkasi: ChDTU, 2008, **2**, 100 – 105.
- Nasir Rashid, Siffat Ullah Khan** Offshore country selection risk management model: Systematic literature Review Protocol. *Journal of Computer Engineering*, 2012, **3**(4), 46 – 55.
- Itskov, M.** Tensor Algebra and Tensor Analysis for Engineers. With Applications to Continuum Mechanics. *Springer*, 2015, 290 p.
- Saveleva, O. S., Stanovskaya, I. I., Toropenko, A. V., Schedrov, I. N., Berезovskaya, E. I.** Razrabotka termodynamicheskoy kriterialnoy podderzhki kognitivnyh modeley perenosa v upravlenii proektami i programmami. *Eastern-European Journal of Enterprise*, Kharkov, 2015, **6/3** (78), 53 – 59, doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
- Xiujuan Zhang, Ying Wu** Effective medium theory for anisotropic metamaterials. *Scientific Reports* 5, Article number: 7892, 2015, doi:10.1038/srep07892.
- Stanovskiy, O. L., Kolesnikova, K. V., Lebedeva, O. Yu., Ismail Heblov** Metod upravlinnya proektami za dopomogoyu dinamichnyh modeley. *Eastern-European Journal of Enterprise*, Kharkov, 2015, **6/3** (78), 46 – 52.
- Hudenko, N. P., Balan, O. S., Lisenko, T. V.** Elektrichne modelyuvannya teplovyh protsesiv u 4D prostori – chasi. *Trudy Odesskoy akademii pischevyih tehnologiy*, 2003, **25**, 218 – 221.

Сведения об авторах (About authors)

Савельева Оксана Степановна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри нафтогазового та хімічного машиностроєння, г. Одеса, Україна; e-mail: okssave@gmail.com.

Saveleva Oksana – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; okssave@gmail.com.

Становський Олександр Леонідович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, зав. кафедрой нафтогазового та хімічного машиностроєння, г. Одеса, Україна; e-mail: ostanovskiy@gmail.com.

Stanovskiy Oleksandr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: ostanovskiy@gmail.com.

Становская Ираида Ивановна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; г. Одеса, Україна; e-mail: dashasweet2007@gmail.com.

Stanovska Iraida – Candidate of Technical Sciences, Docent of Mathematics and Modeling Systems Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; dashasweet2007@gmail.com.

Березовская Екатерина Игоревна – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машиностроєння; г. Одеса, Україна; e-mail: beresovska@gmail.com.

Beresovska Kateryna – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; beresovska@gmail.com.

Хеблов Исмаил – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та

химического машиностроения, г. Одесса, Украина; e-mail: heblov@gmail.com.

Heblov Ismail – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: heblov@gmail.com.

Гурьев Иван Николаевич – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, г. Одесса, Украина; e-mail: ihuriev@odessa.gov.ua

Gurjev Ivan – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: ihuriev@odessa.gov.ua

Саух Игорь Анатольевич – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, г. Одесса, Украина; e-mail: isaukh@gmail.com.

Saukh Igor – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: isaukh@gmail.com.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Савельева, О. С. Формализация пространства управления проектами / **О. С. Савельева, А. Л. Становский, И. И. Становская, Е. И. Березовская, И. Хеблов, И. Н. Гурьев, И. А. Саух** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 154-159. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25.

Please cite this article as:

Saveleva, O., Stanovskiy, O., Stanovska, I., Beresovska, K., Heblov, I., Gurjev, I., Saukh, I. The project management space formalization. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 154–159, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Савельєва, О. С. Формалізація простору управління проектами / **О. С. Савельєва, О. Л. Становський, І. І. Становська, К. І. Березовська, І. Хеблов, І. М. Гур'єв, І. А. Саух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 154-159. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.25.

АННОТАЦИЯ Для ефективного застосування фізичних аналогій при оптимізації непередбачених ресурсних потоків в проектній середовищі, що виникають, наприклад, при реалізації ризикових подій, необхідна наявність адекватної дискретної адаптивної моделі простору управління проектами. Запропоновано побудову такої моделі за допомогою віртуальних елементів зі змінною проникністю і ємністю. Модель реалізована при будівництві енергосооруженій з позитивним технічним ефектом.

Ключові слова: проектні ризики; ресурсні потоки; модель простору управління проектами; фізичні аналогії.

Поступила (received) 14.12.2016

УДК 005.8

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.26

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

А. Г. ШЕСТОПАЛОВ *, О. Н. ГУЦА

Кафедра экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, ХНУРЭ, Харьков, УКРАИНА
*email: shetopalov_93@mail.ua

АННОТАЦИЯ В статье выполнено сравнительное исследование количественных методов с целью обнаружения их недостатков и оценки их адекватности на примере расчета вероятности банкротства. Для избавления недостатков количественных методов было предложено использование качественных методов, как пример был рассмотрен метод ОРКЛАСС. Использование качественных методов позволило бы не только избавиться от обнаруженных недостатков, а и дало бы возможность получать рекомендации по улучшению ситуации.

Ключевые слова: модель; количественный метод; качественный метод; анализ, вероятность; риск

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF DECISION SUPPORT SYSTEM CREATION QUANTITATIVE METHODS FOR ENTERPRISES IN CONDITIONS OF THE UNCERTAINTY

A. G. SHESTOPALOV, O. N. HUTSA

Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security, KNURE, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In article it is performed comparative of research of quantitative methods for their deficiencies and the evaluations of their adequacy by the example of calculation of probability of bankruptcy. For deliverance of deficiencies of quantitative methods use of qualitative methods was offered, as example was considered method ORKLASS. Using qualitative methods would not only get rid of the deficiencies found, but also would make it possible in addition to the quantitative results get recommendations. Today there are many methods that predict the probability of any phenomena in the economic sector in the face of uncertainty. All of these methods are constructed on mathematical models using numerical values and algebraic operations on them, that is, they quantitative. The most popular and common models, used for methods of the evaluation of probability of bankruptcy, are considered following: Altman Z-score, a revised Z-Score model and Altman model adapting for the non-manufacturers. For example, was calculated probability of bankruptcy "Ukrtelecom" company and all models give inadequate results. It is possible to draw conclusion that it is necessary to think above approach to creation of a new model of forecasting, as deficiencies of quantitative methods can bring to nothing a huge scope of work. The decision of this problem can become use of qualitative methods apart from quantitative, as all deficiencies listed above are not inherent to qualitative methods, hence, at their use of the model to be deprived as well of these deficiencies. Additionally, use of qualitative methods will allow not only to give quantitative result, and possible problem solving variants, if such is.

Keywords: model; a quantitative method; qualitative method; analysis; probability; risk.

Введение

На сегодняшний день существует множество методов, которые прогнозируют вероятность каких-либо явлений в экономической сфере в условиях неопределенности. Все эти методы построены на математических моделях, использующих числовые значения и алгебраические операции над ними, т.е. являются количественными. Динамичное развитие общества и, как следствие, изменение экономических условий приводит к тому, что, с одной стороны, потребность в системах поддержки принятия решений (СППР) возрастает, а с другой стороны, существующие количественные методы быстро устаревают. Поэтому необходимо искать методы, которые могут разрешить сложившуюся ситуацию.

Цель работы

Провести сравнительный анализ существующих количественных методов создания СППР на предприятиях в условиях неопределенности, выявить недостатки этих методов и предложить решение для их устранения.

Изложение основного материала

В настоящее время к задачам, решаемым в условиях неопределенности, относятся определение вероятности банкротства и рейдерского захвата предприятий. Для проведения сравнительного анализа возьмем задачу определение вероятности банкротства предприятий.

Самыми популярными и распространенными моделями, использующимися для методов оценки вероятности банкротства, считаются следующие:

- двухфакторная модель Альтмана;
- пятифакторная модель Альтмана;
- модифицированная модель Альтмана;
- модель Тафлера;
- модель Фулмера;
- модель Спрингейта;
- модель прогноза риска банкротства

Иркутской Государственной Экономической Академии (ИГЭА).

Рассмотрим эти модели более подробно.

В [1] рассмотрена двухфакторная модель Альтмана – одна из самых простых и наглядных методик прогнозирования вероятности банкротства, при использовании которой необходимо рассчитать влияние только двух показателей это: коэффициент текущей ликвидности и удельный вес заёмных средств в пассивах.

В [2] рассмотрена пятифакторная модель Альтмана – наиболее популярная модель Альтмана, которая применяется для компаний чьи акции котируются на бирже. Как можно понять из названия здесь используется уже пять показателей:

- оборотный капитал к сумме активов предприятия. Показатель оценивает сумму чистых ликвидных активов компании по отношению к совокупным активам;
- не распределенная прибыль к сумме активов предприятия, отражает уровень финансового рычага компании;
- прибыль до налогообложения к общей стоимости активов. Показатель отражает эффективность операционной деятельности компании;
- рыночная стоимость собственного капитала / бухгалтерская (балансовая) стоимость всех обязательств;
- объем продаж к общей величине активов предприятия, характеризует рентабельность активов предприятия.

В [3] рассмотрена модифицированная модель Альтмана – это модифицированная пятифакторная модель Альтмана для компаний чьи акции не котируются на бирже.

В [4] рассмотрена модель Тафлера – после апробирования подхода Альтмана британскими учеными на основе данных 80 британских компаний была построена четырехфакторная прогнозная модель с отличающимся набором факторов. Данная модель рекомендуется для анализа как модель, учитывающая современные тенденции бизнеса и влияние перспективных технологий на структуру финансовых показателей.

В [5] рассмотрена модель Фулмера – модель была создана на основании обработки данных шестидесяти предприятий – 30 потерпевших крах и 30 нормально работавших – со средним годовым балансом в 455 тысяч американских долларов. Изначальный вариант модели

содержал 40 коэффициентов, окончательный использует всего девять.

В [6] рассмотрена модель Спрингейта – на основании модели Альтмана и пошагового дискриминантного анализа была разработана модель прогнозирования вероятности банкротства предприятия, в процессе разработки модели из 19 финансовых коэффициентов, считавшимися лучшими, Спрингейтом было отобрано четыре коэффициента, на основании которых была построена модель.

Модель прогноза риска банкротства Иркутской Государственной Экономической Академии [7] – разработана учеными Иркутской государственной экономической академии на основе проведенного анализа деятельности торговых предприятий.

К недостаткам перечисленных количественных моделей относятся [8]:

- отсутствие возможности получения информации о ситуативном контексте исследуемого явления;
- ограниченность выводов, которая обусловлена форматом исследования: четкость формулирования вопросов, строгое следование поставленным целям и задачам;
- отсутствие возможности проводить исследование эволюционирующих процессов, явлений в динамике.

Последний недостаток является наиболее существенным, так как общество постоянно развивается и сам процесс банкротства (так же, как и рейдерства) меняется, также меняются и механизмы расчета этих вероятностей и старые уже давно не актуальны, а новые – быстро теряют свою актуальность.

Для примера была рассчитана вероятность банкротства предприятия «Укртелеком» (см. табл. 1).

Как видно из таблицы двухфакторная и модифицированная модели Альтмана, а также модель Тафлера дали результат который соответствует реальности: предприятие не банкрот, причем результаты либо в зоне неопределенности, либо слишком близки к пороговым значениям.

Результаты расчета с помощью остальных моделей говорят о том, что предприятие 100% банкрот в ближайшем будущем, хотя расчеты проводились на основании финансовой отчетности за 2013 год.

Обсуждение результатов

Можно сделать вывод что данные модели дают неадекватные результаты как минимум для предприятий украинской экономики. Возможно, такое несоответствие обусловлено тем, что все эти модели – количественные и за основу были взяты иностранные предприятия. Хотя для построения каждой модели было проанализировано огромное количество предприятий как стабильно работающих, так и ставшими банкротами.

Таблица 1 – Результаты расчетов вероятности банкротства

Модель	Граничные значения	Описание	Полученные результаты
Двухфакторная модель Альтмана	0	Если $Z < 0$ – меньше 50% Если $Z > 0$ – больше 50% Если $Z = 0$ – 50%	-0,89
Пятифакторная модель Альтмана	2,99-1,81	$Z > 2,99$ – устойчивое предприятие $Z < 1,81$ – несостоятельное [2,99-1,81] – зона неопределенности	1,521
Модифицированная модель Альтмана	1,23-2,89	$Z < 1,23$ предприятие признается банкротом 1,23-2,89 – ситуация неопределенна $Z > 2,9$ – стабильная компания	1,336
Модель Тафлера	0,3-0,2	$Z > 0,3$ – неплохие долгосрочные перспективы $Z < 0,2$ – банкротство более чем вероятно [0,3-0,2] – зона неопределенности	0,364
Модель Фулмера	0	$H < 0$ – крах неизбежен	-2,599
Модель Спрингейта	0,862	$Z < 0,862$ – потенциальный банкрот	0,746
Модель прогноза риска банкротства ИГЭА	0-0,18 0,18-0,32 0,32-0,42	$R < 0$ - вероятность банкротства 90%-100% 0-0,18 - вероятность банкротства: 60%-80% 0,18-0,32 - вероятность банкротства: 35%-50% 0,32-0,42 - вероятность банкротства: 15%-20% больше 0,42 - вероятность банкротства: до 10%	-1,701

Еще одной причиной неадекватности полученных результатов является то, что и граничные значения (диапазоны) и толкование самих результатов это по сути экспертные оценки, так как люди не всегда рациональны, решения могут быть основаны на эмоциях, а многие факторы невозможно представить в виде чисел.

При этом людям так же свойственно именно качественное оценивание, особенно когда под рукой нет ничего «измерительного», а необходимо что-то с чем-то сравнить – «сегодня жарче, чем вчера» или «сегодня я прошел меньше вчерашнего», а не количественное – часто ли можно услышать: «сегодня температура выше на 5,35 градуса»?! А принятия решений представляет собой процесс выбора одного из вариантов (в теории принятия решений – *альтернатив*) путем попарного сравнения.

Но из-за особенностей человеческого мышления [9] даже опытному эксперту или группе экспертов без наличия СППР практически невозможно принять решение при выборе или оценке одной альтернативы из множества существующих (или возможных, что еще труднее), если количество критериев и их значений, которые описывают оцениваемые альтернативы, достаточно большое (более пяти-семи критериев и/или значений каждого критерия).

Так же необходимо учитывать, что:

– во-первых, люди часто руководствуются эмоциями при принятии решений (но и эмоциональные факторы можно включить в схему анализа наряду с другими, чтобы учесть их относительное превосходство и «добавить разум к эмоциям»);

– во-вторых, иногда может показаться, что люди не рациональны, но часто за этим кроется учет влияния активных групп, оказывающих воздействие на принятие решений, что вполне поддается анализу и исследованию.

Т.е., необходима технология, которая бы учитывала все вышеперечисленные особенности поведения человека при принятии решений.

Такой технологией получения экспертных знаний является вербальный (качественный) анализ решений (ВАР). Главный принцип ВАР состоит в следующем: «...использование для описания проблемы определений и формулировок оценок вариантов решений в виде, естественном для ЛПР (лица, принимающего решения), его советников и активных групп, без какого-либо преобразования таких словесных формулировок в количественные значения» [10]. Следовательно, необходимо искать и применять методы, соответствующие изложенному принципу.

Одним из таких методов является ОРКЛАСС (ОРдинальная КЛАССификация) [10]. Этот метод помогает построить СППР, используя вербальное описание задачи на языке ЛПР в его предметной области и обеспечивают проверку получаемой от ЛПР информации на непротиворечивость. Основная задача метода – создание решающего правила для отнесения любой альтернативы к одному из классов решений. Поэтому правило создается с учетом всех возможных комбинаций оценок по всем критериям.

Во многих задачах число реальных объектов существенно меньше мощности декартова произведения шкал критериев. В этих случаях могут использоваться методы: ЦИКЛ (Метод Цепной

Интерактивной Классификации) и КЛАРА (Метод КЛАССификации Реальных Альтернатив).

К тому же использование качественных методов позволит давать рекомендации для решения проблем, чего нет во всех выше указанных методах.

Выводы

В результате выполнения сравнительного исследования количественных методов на примере расчета вероятности банкротства было обнаружены их недостатки и обоснована их неадекватность. Для решения этой проблемы было предложено использование качественных методов вербального анализ решений, как пример был рассмотрен метод ОРКЛАСС. Использование таких методов позволит не только избавиться от недостатков количественных методов, но и станет ключом к качественным модификациям.

Список литературы

- 1 **Diakomihalis, M.** The accuracy of Altman's models in predicting hotel bankruptcy / **M. Diakomihalis** // *International Journal of Accounting and Financial Reporting*. – 2012. – Volume 2, No. 2. – P. 96–113. – doi:10.5296/ijaf.v2i2.2367.
- 2 **Calandro, J.** Considering the utility of Altman's Z-score as strategic assessment and performance management tool. / **J. Calandro** // *Strategic & Leadership*. – 2007. – 35(5). – P. 37-43.
- 3 **Gerantonis, N.** Can Altman Z-score Models Predict Business Failures in Greece? In (Ed) Frangos C. 2 nd. / **N. Gerantonis K. Vergos A. Christopoulos** // *International Conference Quantitative and Qualitative Methodologies in the Economic and Administrative Sciences*. – 2009. – TEI of Athens. – P. 149–154.
- 4 **Agarwal, V.** Twenty-five years of the Taffler z-score model: Does it really have predictive ability? / **V. Agarwal, R. J. Taffler** // *Accounting and Business Research*. – 2007. – No 37 (4). – P.285–300.
- 5 **Gholamreza, K.** Accounting Disclosure Quality and Bankruptcy Prediction / **K. Gholamreza H. Farzad A. Navid** // *Accounting and Business Research*. – 2012. – Volume 2, No. 4. – P. 283–294.
- 6 **Bellovary, J.** A Review of Bankruptcy Prediction Studies: 1930 to Present / **J. Bellovary, D. Giacomino, M. Akers** // *Journal of Financial Education*. – 2007. – Volume 33. – P. 1–42.
- 7 **Костенко, Д. И.** Методические аспекты процесса диагностики банкротства предприятий / **Д. И. Костенко** // *Научные ведомости Белгородского государственного университета*. – 2012. – №7 – P. 20–29.

- 8 **Gunathilaka, C.** Financial Distress Prediction: A Comparative Study of Solvency Test and Z-Score models with reference to Sri Lanka / **C. Gunathilaka** // *The IUP Journal of Financial Risk Management*. – 2014. – No 11(3) – P. 40–50.
- 9 **Миллер, Дж. А.** Магическое число семь плюс или минус два: О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию / **Дж. А. Миллер** под. ред. **Д. Ю. Панова, В. П. Зинченко** // *Инженерная психология: Сб. статей*. – М.: Прогресс. – 1964. – С. 192–225.
- 10 **Кравченко, Т. К.** Информатизация принятия экономических решений. / **Т. К. Кравченко** // *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов*. – 2008. – № 9.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Diakomihalis, M.** The accuracy of Altman's models in predicting hotel bankruptcy. *International Journal of Accounting and Financial Reporting*, 2012, 2 (2), 96–113, doi: 10.5296/ijaf.v2i2.2367
- 2 **Calandro, J.** Considering the utility of Altman's Z-score as strategic assessment and performance management tool. *Strategic & Leadership*, 2007, 35(5), 37-43.
- 3 **Gerantonis, N., Vergos, K., Christopoulos, A.** Can Altman Z-score Models Predict Business Failures in Greece? In (Ed) Frangos C. 2 nd. *International Conference Quantitative and Qualitative Methodologies in the Economic and Administrative Sciences*, TEI of Athens, 2009, 149-154.
- 4 **Agarwal, V., Taffler, R. J.** Twenty-five years of the Taffler z-score model: Does it really have predictive ability? *Accounting and Business Research*, 2007, 37 (4), 285-300.
- 5 **Gholamreza, K., Farzad, H., Navid, A.** Accounting Disclosure Quality and Bankruptcy Prediction. *Accounting and Business Research*, 2012, 2 (4), 283-294
- 6 **Bellovary, J., Giacomino, D., Akers, M.** A Review of Bankruptcy Prediction Studies: 1930 to Present. *Journal of Financial Education*, 2007, 33, 1-42.
- 7 **Vershin, A. V.** Methods of risk assessment hostile takeover for the company. *Vestnik of the Kazan University of Technology*, 2008, 6, 280-284.
- 8 **Gunathilaka, C.** Financial Distress Prediction: A Comparative Study of Solvency Test and Z-Score models with reference to Sri Lanka. *The IUP Journal of Financial Risk Management*, 2014, 11(3), 40-50.
- 9 **Miller, George A.** Magicheskoe chislo sem' pljus ili minus dva: O nekotoryh predelah nashej sposobnosti pererabatyvat' informaciju. *Inzhenemaja psihologija: Sb. statej [Engineering psychology: Col. of articles]*. Moscow, Progress Publ., 1964, 192–225.
- 10 **Kravchenko, T. K.** Computerization of economic decision-making. *Journal of scientific publications graduate and doctoral students*, 2008, 9.

Сведения об авторах (About authors)

Шестопалов Александр Геннадьевич – аспирант, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры Экономической кибернетики и управления экономической безопасностью; г. Харьков, Украина; e-mail: shestopalov_93@mail.ua.

Shestopalov Alexander – Postgraduate Student, Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate student at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security; Kharkov, Ukraine; e-mail: shestopalov_93@mail.ua.

Гуца Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры Экономической кибернетики и управления экономической безопасностью; e-mail: oleh.hutsa@nure.ua.

Hutsa Oleh – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkov National University of Radio Electronics, Associate Professor at the Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security; e-mail: oleh.hutsa@nure.ua.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шестопалов, А. Г. Сравнительный анализ количественных методов создания систем поддержки принятия решений на предприятиях в условиях неопределённости / **А. Г. Шестопалов, О. Н. Гуца** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 160-164. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.26.

Please cite this article as:

Shestopalov, A., Hutsa, O. The comparative analysis of decision support system creation quantitative methods for enterprises in conditions of the uncertainty. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 160–164, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.26.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шестопалов, О. Г. Порівняльний аналіз кількісних методів створення систем підтримки прийняття рішень на підприємствах в умовах невизначеності / **О. Г. Шестопалов, О. М. Гуца** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 160-164. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.26.

АНОТАЦІЯ У статті виконано порівняльне дослідження кількісних методів з метою виявлення їх недоліків і оцінки їх адекватності на прикладі розрахунку ймовірності банкрутства. Для позбавлення недоліків кількісних методів було запропоновано використання якісних методів, як приклад було розглянуто метод ОРКЛАСС. Використання якісних методів дозволило б не тільки позбутися від виявлених недоліків, а й дало б можливість отримувати експертні рекомендації щодо покращення ситуації.

Ключові слова: модель; кількісний метод; якісний метод; аналіз; ймовірність; ризик.

Поступила (received) 14.12.2016

УДК 006.72

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.27

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES OF CREATING DOCUMENTS ACCORDING TO QUALITY MANAGEMENT STANDARDS BASED ON ISO 9000

U. YARKA^{1*}, ZH. MYNA¹, O. PELESCHYSHYN², T. BILUSHCHAK¹

¹ Social Communication and Information Activities Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

² The Information Center of Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

*email: Uliana.B.Yarka@lpnu.ua

ABSTRACT Introduction of quality management system (QMS) according to the international standard ISO 9001-2008 enhances the providing of European quality service, which is issue number one for Ukraine. The process of standardization involves huge amount of paperwork and thus arises the question of rational approach to creation methods of such documentation in view of its peculiarities. The software and various methodologies for the creation of such documents have been considered. The main focus has been on the free software, to which there is unlimited access in the Internet. One of the universal methods of work automation is creating document templates. The information technologies of creating such templates based documents with the help of OpenOffice.org and with additional use of built in programming language of OpenOffice.org. Basic are presented.

The introduction of such templates will enable complying with the requirements of standardization, avoiding mistakes, ensuring the minimum time of QMS processing of documents, and thus improving the quality of work and introducing the given standards.

Keywords: quality management system; standards; ISO 9001; modern information technologies; document templates.

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЗГІДНО СТАНДАРТІВ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ОСНОВІ ISO 9000

У. Б. ЯРКА¹, Ж. В. МИНА¹, О. П. ПЕЛЕЩИШИН², Т. М. БЛУЩАК¹

¹ Кафедра соціальних комунікацій та інформаційної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА

² ЦІЗ, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ У статті розглядається впровадження системи управління якістю СУЯ відповідно до міжнародного стандарту ISO 9001-2008. Відповідність вимогам стандарту ISO 9001 свідчить про певний рівень надійності постачальника, послуги і стабільність його організації. Щоб впровадити ці стандарти, необхідно правильно і ефективно налагодити роботу щодо створенню їх документації. Для спрощення роботи з документами пропонується засоби автоматизації процесу створення шаблонів. Представлені інформаційні технології створення таких шаблонів на основі можливостей пакету OpenOffice.org і з додатковим використанням вбудованої мови програмування OpenOffice.org. Basic.

Ключові слова: Система контролю якості; стандарти; ISO 9001; сучасні інформаційні технології; шаблони документів.

Introduction

Most ISO standards are used all around the world including Ukraine. The Ukrainian national version is called ДСТУ ISO. The necessity of developing ISO standards is predetermined by the market, as they enhance business progress, development of consumer sector and economy as a whole. One of the most famous and recognized standards is ISO 9000 – quality management standard. The basic provisions and principles of ISO 9000 series are defined in standard ISO 9000 “Quality management systems – fundamentals and vocabulary”. ISO 9001 “Quality management systems – Requirements” introduces the basic requirements to the quality management systems, which are used to prove the possibility of organization to meet the demands of consumers. This is the only standard of ISO 9000 series, according to which a special certificate is issued. ISO 9001 compliance certificate is the external independent confirmation of complying with the standard. Compliance

with ISO 9001 requirements shows a certain level of supplier reliability, as well as its services and organization stability.

In order to introduce these standards it is necessary to correctly and effectively organize the process of creating their documentation.

The knowledge how to work with documents and the correct organization of paperwork have the immediate influence on the results of business, on its efficiency and service quality. The introduction of computer technologies opens new perspectives for keeping documentation, the result of which is a highly productive document supply, which is characterized by flexibility, mobility, enables fast and effective creation of documents. The basis of such documents are templates of various degree of complexity and structure. The creation and use of such documentation is an essential condition of work efficiency rise.

Setting the task

Information technologies allow unifying and enhancing labor intensive informational processes, enable quick document preparation. Practical application of information technologies in management are characterized by functional capabilities of typical information systems and availability of software. Thus the topicality of current research lies in the use of modern information technologies, and creation of templates based on OpenOffice.org suite possibilities in particular with the help of additional use of the built in programming language OpenOffice.org. Basic. in order to create documentation according to the international standards of quality management system.

The aim of paper

The aim of the paper is to present the optimum methods for creating documents according to quality management standards.

The analysis of the latest research and publications

Quality management as a branch of scientific research has gone through a considerable evolutionary changes and has acquired interdisciplinary and universal character, as the knowledge in the field of quality management is used almost in any sphere. The basis for the research, which is the theoretical model of quality management are the conceptual developments by E. Deming, W. Shewhart, H. Taguchi, J. Juran, A. Feigenbaum, K. Ishikawa, Ph. Crosby, J. van Ettinger and J. Sittig.

A considerable contribution to the development of theory and practice of quality management are the works of such domestic scholars as V. Tarasova, A. Malynovskii, M. Rybak, A. Hlebova and others [21, 22]. In particular, A.O. Hlebova in her paper [21] studies the issue of forming quality management system for the Ukrainian enterprises and highlights that it is the quality management systems that can assure not only competitive advantages, but also a stable growth of an enterprise. Nowadays in the conditions of the modern challenges of the market and within the European integration process, the introduction of quality management systems in the Ukrainian enterprises is strategically important and requires the further research for their effective use in all spheres of everyday life.

The papers as Yarka Ulyana, Myna Zhanna, Peleschyshyn Oksana, Bilushchak Tetiana [1-2,4-7,17-18] deal with the issue of using QMS in managing the higher educational institutions.

Effective methods of paperwork automatization with the help of template wizard are studied in the works [3, 8-11], there is also research of creating documents on the basis of building databases [12-16].

Significant contribution to the study of the ISO 9000 management standards can be found in studies of foreign colleagues. On the basis of these works can be studied foreign experience [23-29].

Rational use of software for optimum document creation according to the international quality management standards

The main function of the management of any organization or educational institution and the main means of gaining and maintaining their competitiveness is quality management. More and more often in the modern conditions people resort to the use of quality management systems (QMS) according to the international standard ISO 9001-2008, "Systems of quality management" (national ДСТУ ISO 9001-2009), "Quality management systems. Requirements", and also taking into consideration the peculiarities of educational sphere, namely the requirements of ДСТУ-П ІВА 2:2007 "Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in education", ДСТУ ISO 9000-2007. "Quality management systems. Fundamentals and vocabulary" (as the replacement of ДСТУ ISO 9000-2001). The development of the quality management system as a science has caused the clear principles of quality management, which have become the theoretical basis for the international standards ISO of 9000 series, such as: being client-oriented. Leadership, employee involvement, process approach, systematic approach to the management, continuous improvement, fact based decision-making, mutually beneficial relationships with the suppliers.

The introduction of these standards is accompanied by the development of a huge amount of documents. The correct creation of this lot of documents is a labor consuming procedure, which is lengthy and tedious.

Taking into consideration the general structure of the QMS documents (Fig.1) we may conclude, that it is unified and has standard blocks, and since the stylistic requirements are minimum, it is only logical to begin the creation of such documents from the design of the respective templates.

The development of templates aims at simplifying the creation of documents of international standards and the similar documents and at giving the documents a "skeleton", which includes a number of defined stylistic and structural rules, as well as guarantees that the electronic versions of documents may be processed quickly and correctly. Moreover, there is a possibility of converting the electronic files into other formats and using them more effectively. The templates are used for the economy of time and effort during standard preparation and give information on the rules of building the documents mentioned in the directives of ISO/IEC.

In order to simplify such paperwork it is necessary to make a reasonable choice of software and the ways of automatization of such documents creation.

For this subsystem the necessary software should combine the means of automatization of document creation, format converting and data exchange using the network technologies.

The most suitable software for this work is the commercial text processor MicrosoftOfficeWord and the

free Open (Libre) OfficeWriter, which by its functionality is not worse than the former.

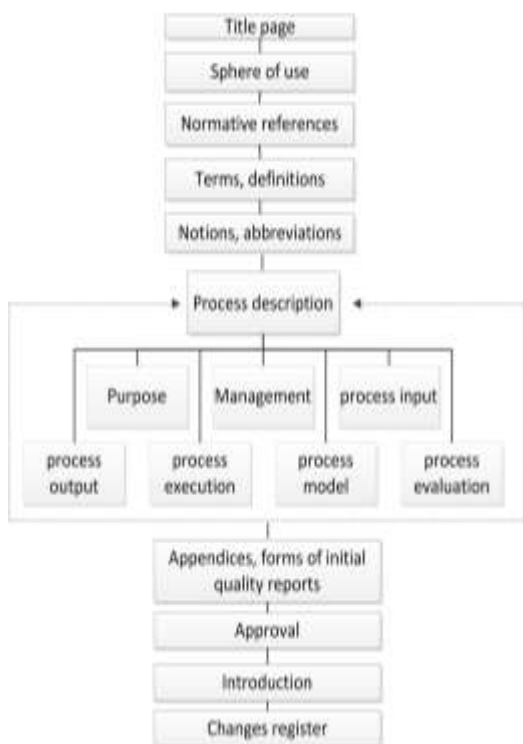


Fig. 1 – The general structure of QMS documents

Each of the programs possesses the necessary tools for creating a full template.

Let us consider an example of QMS document template and the effective methods of its creation.

The title page of the document includes the following:

General information:

- Organization logo;
- The name of the organization;
- Project plan for quality management system implementation.

Data about document approval:

- A table with the respective fields: Code, Version, Created, Approved, Signature, Version date;

Data on document mailing:

- Number of copies;
- Distributed;
- Date, Signature;
- Return, Date.

Further the changes in the documents are saved in the table:

Date	Version	Created	Changes description

Then there is a contents table, which includes the following:

1. Aim, sphere, users;
2. Additional documents;
3. The project, where QMS is to be introduced:
 - 3.1. Project aim;
 - 3.2. Project result.

Each entry should be described and justified.

Microsoft Office Word 2010 has a tab for creating templates with the necessary tools, design mode and macros.

Open (Libre) Office Writer has a number of insertion fields for automatization of work in templates, which is as much efficient during template creation (Fig.2).

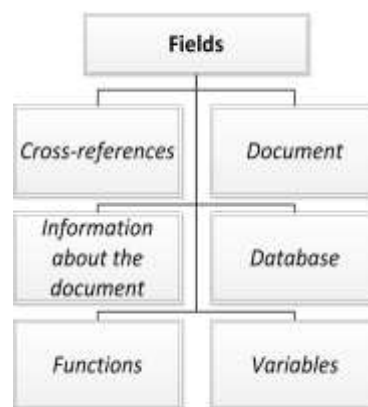


Fig. 2 – Insertion fields

Let us consider some of them in detail. In particular, the entries “Document”, “Cross-references” and “Information about the document”.

“Information about the document” consists of the following fields: (Fig.3)

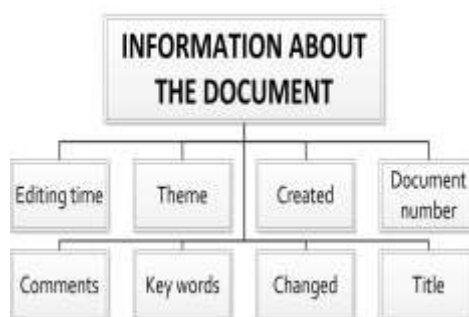


Fig. 3 – The components of the field “Information about the document”

For the efficient work of the template starting from its title page it is possible to use such fields: “Created” (this is the “Created” entry of template), “Changed” (“Version date” entry of the template). This enables to insert and update information in the fields automatically. Let us consider the types of fields from “Function” entry (Fig.4):

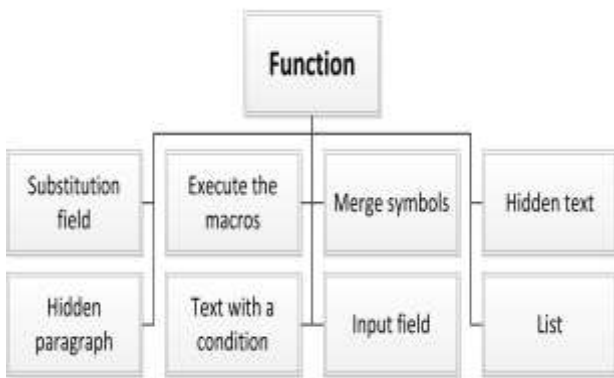


Fig. 4 – The components of the field “Function”

Among the offered fields the most important ones are:

- “List” – insertion of a text field, which shows an element from the list. The elements can be added, changed and deleted, or their order in the list can be changed;
- “Input field” – insertion of a text field, which will be fixed in this document. Later it is possible to change the shown text. There is a possibility to add a tip to a text fields;
- “Substitution field” (space filler) makes it possible to insert an item which is not there.

Using the fields “Input field” or “Substitution field” it is possible in the dialogue mode to insert into the previously edited template the name of the organization, version and so on, giving tips where necessary for the value of the filled element. (Fig.5).

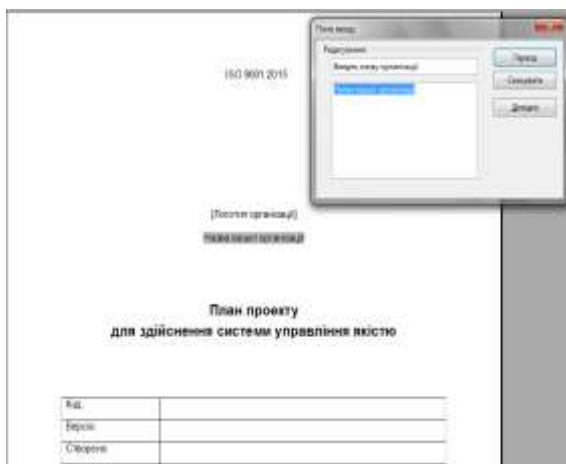


Fig. 5 – Example of a template with input field

In QMS documents there are a lot of references, which can be easily realized by using the substitution fields “Cross-references” (Fig.6).

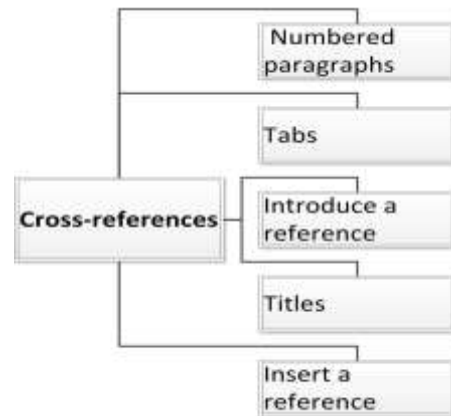


Fig. 6 – The components of the field “Cross-references”

In general all the QMS documents are formed as structured or complex documents. Such documents have their own peculiar system of formatting, which enables the users to move through the document easily and quickly.

Unlike in Microsoft Word, the complex documents in OpenOffice.org. Writer may be formed automatically from an already prepared text document. For this it is necessary the document to be structured with the help of headings and edited according to the styles (Heading 1, Heading 2, etc). The elements of automatic content are created in the similar way. The correctly formed document should be protected from any changes, and there should be allowed access only to certain fields for information input.

It is reasonable in such cases to use elements of programming for the creation of full templates. Such means for Microsoft Office are VisualBasic and Open Office BasicforOpen Office org suite. Programming in the respective languages will automatize the work to the level of “Wizard”, save your time and make frequent tasks automatic. Such work requires additional knowledge and skills.

OpenOffice.orgBasic allows to make writing computer programs accessible to wide range of users through the use of graphical interface. In the visual environment of programming it is possible to quickly create a design of dialogue windows, which the user is going to work with, having created and situated its elements similarly to how the pictures in the text are inserted. While writing the programs in a traditional way (without the use of graphical interface) the system of interaction with the user is carried out with the help of commands of programming language. In the object-oriented programming paradigm the task is solved in terms of objects and operations with them. One of the OpenOffice.org Basic object types are control elements, these are elements, which are used for the design of the user’s interface. They enable adding new functions to the programs without the need to immerse into the core of their work. For example, for the user to be able to input some data into the program, it is only necessary to add to the form a certain control element (for example a text field).

It gives us the opportunity to create an almost independent information product from an office suite with the help of macros.

Thus the languages of visual programming have an undisputable advantage, you can concentrate on what you want to get from the program, and not on how to program all that.

Templates enable a dialogue with the user with the help of a corresponding form, into which the data is input, which will be transferred with the help of the created macros into the necessary places of the document with an appropriate format (location, form), which will comply with the demands of creating QMS documents.

An example of a dialogue for filling in the title page (Fig.7):

Fig. 7 – A dialogue created with the help of OOoBasic

Simple macros are usually added to such templates as a means of improving the functional possibilities of a program and for the convenience of information input, like change of language, register, etc.

Conclusions

Introduction of computer technologies allows enhancing the efficiency of paperwork. In particular, the use of templates ensures paperwork time decrease and control over the form of the document. Moreover, templates are characterized by high flexibility and mobility. Certainly it takes time to build templates with the help of OOoBasic, but later they may be used repeatedly and such templates will help people, who have no necessary skills of work with the software to create a necessary document quickly, easily and correctly.

Thus, having correctly arranged the paperwork according to the international standard ISO 9001-2008 "Quality management systems", it is possible to reach their fast implementation, which will enhance the integration of standards of European Association for Quality Assurance into the organization. It will enable avoiding mistakes, ensure documents compliance with QMS, decrease time of their creation and will give the opportunity for non-professionals to work with the documents. Such templates can be widely specialized and so they can be used repeatedly in various spheres.

Список літератури

1. **Мина, Ж.** Структура документації системи управління якістю вищого навчального закладу / **Ж. Мина** // *Матеріали 2-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2013 «Інформація, комунікація, суспільство 2013»*. – Львів: Львівська політехніка. – 2013. – С. 32–33.
2. **Мина, Ж.** Використання та розвиток репозитаріїв для підвищення якості наукової комунікації / **Ж. Мина, У. Ярکا** // *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції викладачів, студентів, аспірантів і молодих вчених "Документ крізь віки: актуальні питання документознавства та інформаційної діяльності"*. – Львів: Українська Академія друкарства. 2015. – С. 43-46
3. **Ярка, У.** Електронна публікація документів / **Я. Уляна, Ж. Мина** // *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції викладачів, студентів, аспірантів і молодих вчених "Документ крізь віки: актуальні питання документознавства та інформаційної діяльності"*. – Львів: Українська Академія друкарства. – 2015. – С. 70-72
4. **Zhanna, Myna** Using International Standards of Quality Management System in Higher Educational Institutions / **Zhanna Myna, Ulyana Yarka, Oksana Peleschshyn, Tetiana Bilushchak** // *Proceedings of the XIIIth International Conference «Modern problem of radio engineering, telecommunications and computer science»*. – Lviv-Slavske. – 2016. – P. 834-837.
5. **Мина, Ж.** Інтеграція міжнародних стандартів управління якістю у загальну систему документообігу вищого навчального закладу / **Ж. Мина, У. Ярکا, О. Пелешишин, Т. Білушак** // *Збірник наукових праць «Управління розвитком складних систем» Київського національного університету будівництва і архітектури*. – Київ. – 2016. – № 25. – С.144-152.
6. **Ярка, У. Б.** Оптимальні методи створення документації згідно стандартів управління якістю на основі ISO 9000 / **У. Б. Ярکا, Ж. В. Мина, О. П. Пелешишин, Т. М. Білушак** // *Управління розвитком складних систем*. – 2016. – № 27. – С. 162-169.
7. **Мина, Ж. В.** Документування процесів системи управління якістю у вищому навчальному закладі / **Ж. В. Мина** // *Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції Управління в освіті*. – Львів: Видавництво «Тріада Плюс». – 2013. – С.175-177.
8. **Ярка, У.** Оптимізація роботи відділу управління соціального захисту за допомогою бази даних./ **У. Ярکا, М. Тирановець** // *Матеріали 4-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2015 «Інформація, комунікація, суспільство 2015»*. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. – 2015. – С. 220-221.
9. **Ярка, У.** Ефективне управління документообігом як один з важливих елементів ведення бізнесу / **У. Ярکا** // *Матеріали 4-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2015 «Інформація, комунікація, суспільство 2015»*. – Львів: Львівська політехніка. – 2015. – С.212-213.
10. **Ярка, У.** Використання мови програмування OOoBasic для потреб документознавства / **У. Ярکا, М. Кришук** // *Матеріали 2-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2015 «Інформація, комунікація, суспільство 2013» (16-19 травня 2013 року)*. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. – 2013. – С. 216-217.
11. **Ляхович, Л.** Автоматизація роботи з вхідною документацією в загальному відділі Калуської міської ради / **Л. Ляхович, У. Ярکا** // *Матеріали 3-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2014*

- «Інформація, комунікація, суспільство 2014» (21-24 травня 2014 року). – Львів : Видавництво Львівської політехніки. – 2014. – С. 224–225.
12. **Ярка, У.** Використання OpenOffice.orgBasic для потреб документознавства / **У. Ярка, О. Джигінас, О. Шепелюк** // *Матеріали 3-ї Міжнародної наукової конференції ICS-2014 «Інформація, комунікація, суспільство 2014»*. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 2014. – С. 276–277.
 13. **Білушак, Т.** Засоби опрацювання вхідної кореспонденції на підприємстві з використанням офісного пакету / **Т. Білушак, Ю. Москалюк** // *Наукові записки. Серія «Культура та соціальні комунікації»*. – Острого: Видавництво Національного університету «Острозька академія». – 2012. – Вип. 3. – С. 32–43.
 14. **Білушак, Т.** Оптимізація діловодства за допомогою бази даних / **Т. Білушак, Ю. Шевчук** // *Інформаційно – документальні комунікації в глобалізованому суспільстві: Матеріали Міжнародної науково – практичної конференції м. Київ, 21-22 березня 2013, Національний авіаційний університет*. – К.: НАУ. – 2013. – С. 39–40.
 15. **Білушак, Т.** Використання бази даних, як автоматизація процесу створення ділових документів / **Т. Білушак, Д. Уляницька** // *Інформаційно – документальні комунікації в глобалізованому суспільстві: Матеріали Міжнародної науково – практичної конференції м. Київ, Національний авіаційний університет*. – К.: НАУ. – 2013. – С. 8–9.
 16. **Білушак, Т.** Огляд впровадження стандарту у сфері керування документацією за кордоном / **Т. Білушак, З. Пилат** // *Матеріали II Міжнародної наукової конференції «Інформація, комунікація, суспільство» (ICS-2013)*. – Львів-Славське: Видавництво Львівської політехніки. – 2013. – С. 70–72.
 17. **Білушак, Т.** Роль інформаційно-комунікаційних технологій у роботі служби документаційного забезпечення управління / **Т. Білушак, М. Клепуц** // *Матеріали II Міжнародної наукової конференції «Інформація, комунікація, суспільство» (ICS-2013)*. – Львів-Славське : Видавництво Львівської політехніки. – 2013. – С. 60–62 .
 18. **Пелешишин, А. М.** Захист інформаційного образу ВНЗ від цілеспрямованих дій у соціальних середовищах Інтернету / **А. М. Пелешишин, Р. О. Корж, У. Б. Ярка** // *«Захист інформації» наук.-практ. журнал / Нац. авіаційний універ.* – Київ. – 2012. – №3 (56). – С. 87–93.
 19. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009 – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Держспоживстандарт України. – 2009. – 26 с.
 20. Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001-2001. – [Чинний від 2001-06-27]. – К. : Держстандарт України. – 2001. – 25 с.
 21. **Глебова, А. О.** Системи управління якістю на підприємстві в умовах євроінтеграційних процесів / **А. О. Глебова, Б. О. Карчевський** // *Електронне фахове наукове видання «Глобальні та національні проблеми економіки»* [Web]: <http://www.global-national.in.ua/archive/8-2015/73.pdf>
 22. **Тарасова, В. В.** Метрологія, стандартизація і сертифікація: підручник / **В. В. Тарасова, А. С. Малиновський**. – К.: Центр навчальної літератури. – 2006. – 264 с.
 23. **Sun, H.** The trajectory of implementing ISO 9000 standards versus total quality management in Western Europe / **H. Sun, S. Li., K. Ho, F. Gertsen, P. Hansen, J. Frick** // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2004. – Vol. 21, Iss. 2. – P. 131 – 153. – doi: 10.1108/02656710410516952.
 24. **Prajogo, D.** The effects of different aspects of ISO 9000 implementation on key supply chain management practices and operational performance / **D. Prajogo, B. Huo, Zh. Han** // *Supply Chain Management: An International Journal*. – 2012. – Vol. 17, Iss. 3. – P. 306 – 322. – doi: 10.1108/13598541211227135.
 25. **Shah Abdullah H.** The fit between organisational structure, management orientation, knowledge orientation, and the values of ISO 9000 standard: A conceptual analysis / **H. Shah Abdullah, J. Ahmad** // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2009. – No 26 (8). – P. 744-760. – doi: 10.1108/02656710910984147.
 26. **İlkay, M. S.** The effect of the ISO 9001 quality management system on the performance of SMEs / **M. S. İlkay, E. Aslan** // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2012. – Vol. 29, Iss. 7. – P. 753 – 778. – doi: 10.1108/02656711211258517.
 27. **Mahmood, S.** Survey on impact of QMS ISO 9001:2000 in an organization, increases the effectiveness of its operations. / **S. Mahmood, R. Hasan** // *Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control*. – 2012. – P. 427–430. – doi: 10.1109/CONTROL.2012.6334668.
 28. **Priede, J.** Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and Its Strategic Necessity / **J. Priede** // *Procedia - Social and Behavioral Sciences: 8th International Strategic Management Conference*. – 2012. – Vol. 58. – P. 1466–147.
 29. **Singhal, D., Singhal, K. R.** Implementing ISO 9001:2008 Quality Management System: A Reference Guide Paperback, 2012.

Bibliography (transliterated)

1. **Myna, Zh.** The Structure of Documentation of Quality Management System of a Higher Educational Institution. In *2nd International Academic Conference ICS-2013*, 2013, 32-33.
2. **Myna, Zh., Yarka, U.** Use repositories and development to improve the quality of scientific communication. *Materials of the International scientific conference of teachers, students and young scientists "document through the ages : issues of documentation and information activities"*. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 2015, 43-46.
3. **Yarka, U.** Electronic publication of documents. *Materials of the International scientific conference of teachers, students and young scientists "document through the ages : issues of documentation and information activities."* Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 2015, 70-72.
4. **Myna, Zh., Yarka, U., Peleschshyn, O., Bilushchak, T.** Using International Standards of Quality Management System in Higher Educational Institutions. *Proceedings of the XIIIth International Conference «Modern problem of radio engineering, telecommunications and computer science»*. Lviv-Slavske, 2016, 834-837.
5. **Mina, Zh., Yarka, U., Peleshchshyn, O., Biluschak, T.** Integration of international standards of quality management into the overall workflow of higher education. *Proceedings of "Managing the development of complex systems " Kyiv National University of Construction and Architecture*. Kyiv, 2016, 25, 144-152.
6. **Mina, Zh.** Documenting processes of quality management in higher education. *Proceedings of VI International Scientific Conference of Educational Management*. - Lviv: Publishing house "Triada Plus", 2013, 175-177.

7. **Yarka, U., Myna, Zh., Peleschshyn, O. & Bilushchak, T.** Optimal practices for creating documentation according to the standards of quality management based on ISO 9000. *Management of Development of Complex Systems*, 2016, **27**, 162-169.
8. **Yarka, U., Tyranovets, M.** Optimization of management department of social protection via a database. *In 4rd International Academic Conference ICS-2015*, 2015, 220-221.
9. **Yarka, U.** Effective document management as one of the important elements of business. *In 4rd International Academic Conference ICS-2015*, 2015, 212-213.
10. **Yarka, U., Kryschuk, M.** Using OOo Basic programming language for the purposes of documentation. *In 2nd International Academic Conference ICS-2013*, 2013, 216-217.
11. **Lyakhovich, L. A., Yarka, U.** Automation works with incoming documents in general viddilli Kalush City Council. *In 3rd International Academic Conference ICS-2014*, 2014, 224-225.
12. **Yarka, U., Dzhiginas, O., Shepelyuk, O.** The Use of OpenOffice.org Basic for the Needs of Document Study. *In 3rd International Academic Conference ICS-2014*, 2014, 276-277.
13. **Bilushchak, T., Moskalyuk, Yu.** The means of processing the incoming correspondence of an enterprise using the office suite OpenOffice.org. *In Naukovi Zapysky, Culture and Social Communications Series*, 2012, **3**, 32-43.
14. **Bilushchak, T., Shevchuk, Y.** Office optimization using database. *Information - documentary communication in a globalized society: International scientific - practical conference m. Kyiv*, National Aviation University. Kyiv: NAU, 2013, 39-40.
15. **Bilushchak, T., Ulyanitska, D.** Using the database as the automation of the process of creating business documents. *Information - documentary communication in a globalized society: International scientific - practical conference Kyiv*, National Aviation University, Kyiv: NAU, 2013, 8-9.
16. **Bilushchak, T., Pilate, Z.** Review the implementation of the standard in document management abroad. *In 2nd International Academic Conference ICS-2013*, 2013, 70-72.
17. **Bilushchak, T., Kleputs, M.** The role of ICT in the service documentation for management. *In 2nd International Academic Conference ICS-2013*, 2013, 60-62.
18. **Peleshchshyn, A. M., Korzh, R. O., Yarka, U. B.** Protection Universities image information of targeted actions in social media Internet. *Information Security*, 2012, **14** (3 (56)), 87-93.
19. Quality Management Systems. Requirements. DSTU ISO 9001:2009 from 01th September 2009. Kyiv: Derzhstandart Ukraine.
20. Quality Management Systems. Requirements. DSTU ISO 9001-2001 from 27th June 2001. Kyiv: Derzhstandart Ukraine.
21. **Glebov, A., Karchevskyy, B.** Quality management systems for enterprises in the European integration processes / *Electronic scientific publication "Global and national economic problems"*, 2015, [Web]. Retrieved from: <http://www.global-national.in.ua/archive/8-2015/73.pdf>
22. **Tarasov, V., Malynovskyy, A.** Metrology, Standardization and Certification: Textbook. *Kyiv: Center of educational literature*, 2006, 264 p.
23. **Sun, H., Li, S., Ho, K., Gertsen, F., Hansen, P., Frick, J.** The trajectory of implementing ISO 9000 standards versus total quality management in Western Europe. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2004, **21**(2), 131 – 153, doi: 10.1108/02656710410516952.
24. **Prajogo, D., Huo, B., Han, Zh.** The effects of different aspects of ISO 9000 implementation on key supply chain management practices and operational performance. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2012, **17**(3), 306 – 322, doi: 10.1108/13598541211227135.
25. **Shah Abdullah H., Ahmad, J.** The fit between organisational structure, management orientation, knowledge orientation, and the values of ISO 9000 standard: A conceptual analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2009, **26**(8), 744-760, doi: 10.1108/02656710910984147.
26. **İlkay, M. S., Aslan, E.** The effect of the ISO 9001 quality management system on the performance of SMEs. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2012, **29**(7), 753 – 778, doi: 10.1108/02656711211258517.
27. **Mahmood, S., Hasan, R.** Survey on impact of QMS ISO 9001:2000 in an organization, increases the effectiveness of its operations. *Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control*. 2012, 427 – 430, doi: 10.1109/CONTROL.2012.6334668.
28. **Priede, J.** Implementation of Quality Management System ISO 9001 in the World and Its Strategic Necessity. *Procedia - Social and Behavioral Sciences: 8th International Strategic Management Conference*. 2012, **58**, 1466-147.
29. **Singhal, D., Singhal, K. R.** Implementing ISO 9001:2008 Quality Management System: A Reference Guide Paperback, 2012.

Відомості про авторів (About authors)

Yarka Ulyana – Ph.D., Associate professor of Social Communication and Information Activities Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; e-mail: Uliana.B.Yarka@lpnu.ua

Ярка Уляна Борисівна – Кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна; e-mail: Uliana.B.Yarka@lpnu.ua

Myna Zhanna – Ph.D., Associate professor of Social Communication and Information Activities Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; e-mail: Zhanna.V.Myna@lpnu.ua

Мина Жанна Василівна – Кандидат історичних наук, доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна; e-mail: Zhanna.V.Myna@lpnu.ua

Peleschshyn Oksana – Ph.D., Leading software engineer, The Information Center of Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; e-mail: Oksana.P.Peleschshyn@lpnu.ua

Пелещшин Оксана Петрівна – Кандидат технічних наук, провідний інженер-програміст ЦІЗ Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна; e-mail: Oksana.P.Peleschshyn@lpnu.ua

Bilushchak Tetiana – Ph.D., assistant lecturer of Social Communication and Information Activities Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; e-mail: Tetiana.M.Bilushchak@lpnu.ua

Білушак Тетяна Миколаївна – Кандидат історичних наук, асистент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна; e-mail: Tetiana.M.Bilushchak@lpnu.ua

Please cite this article as:

Yarka, U., Myna, Zh., Peleschshyn, O., Bilushchak, T. Modern information technologies of creating documents according to quality management standards based on ISO 9000. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 165–172, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.27.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ярка, У. Б. Сучасні інформаційні технології створення документації згідно стандартів управління якістю на основі ISO 9000 / **У. Б. Ярка, Ж. В. Мина, О. П. Пелешишин, Т. М. Білушак** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 165-172. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.27.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ярка, У. Б. Современные информационные технологии создания документации в соответствии со стандартами управления качеством на основе ISO 9000 / **У. Б. Ярка, Ж. В. Мына, О. П. Пелешишин, Т. М. Билушак** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 165-172. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.27.

АННОТАЦИЯ В статье рассматривается внедрение системы управления качеством СМК в соответствии с международным стандартом ISO 9001-2008. Соответствие требованиям стандарта ISO 9001 свидетельствует об определенном уровне надежности поставщика, услуги и стабильность его организации. Чтобы внедрить эти стандарты, необходимо правильно и эффективно наладить работу по созданию их документации. Для упрощения работы с документами предлагается средства автоматизации процесса создания шаблонов. Представлены информационные технологии создания таких шаблонов на основе возможностей пакета OpenOffice.org и с дополнительным использованием встроенного языка программирования OpenOffice.org. Basic.

Ключевые слова: Система контроля качества; стандарты; ISO 9001; современные информационные технологии; шаблоны документов.

Поступила (received) 04.12.2016

УДК 664.953.03:602.4:577.152.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.28

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФАРША ИЗ МЕЛКИХ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИХ РЫБ

**А. Т. БЕЗУСОВ¹, Т. А. МАНОЛИ², Т. И. НИКИТЧИНА^{1*}, О. А. ГЛУШКОВ²,
Я. О. БАРЫШЕВА¹**

¹ БКПиН, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УКРАИНА

² ТМРиМ, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УКРАИНА

*email: alex-n@te.net.ua

АННОТАЦИЯ Ферментные комплексы растительного сырья позволяют решить ряд технологических задач в производстве рыбных фаршевых кулинарных изделий, связанных с увеличением сроков хранения с улучшением качественных показателей готовой продукции. Обоснована возможность применения комплекса липаз пшеничных отрубей, которые проявляют активность при нейтральном значении pH, соответствующим значению активной кислотности рыбного фарша и температуре от 28 до 30 °С, что дает возможность проводить ферментацию, не создавая усложняющих технологию условий. Установлено, что ферментирование рыбного фарша комплексом растительных липаз с последующей промывкой, при степени дисперсности в пределах $1 \pm 0,5$ мм, способствует достижению массовой доли жира 0,8...0,5%, обеспечивающей стабильность фаршевой системы при хранении.

Ключевые слова: мелкие азово-черноморские рыбы; фарш; комплекс растительных ферментов; липазы; хранение.

BIOTECHNOLOGICAL METHODS IN PRODUCTION MINCED AZOV-BLACK SEA SMALL FISH

A. BEZUSOV¹, T. MANOLP², T. NIKITCHINA^{1*}, O. GLUSHKOV², Y. BARYSHEVA¹,

¹ Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, UKRAINE

² Department of Meat, fish and seafood technology, Odesa national academy of food technologies, Odesa, UKRAINE

ABSTRACT Plant enzyme preparations can solve a number of technical problems in the manufacture of fish food products, prolonging the storage line with the preservation of quality indicators. The subject of the study was minced fish derived from fish the Black Sea; lipase complexes vegetable raw materials and their activity; degreasing process minced fish biotechnological method; quality and physical and chemical indicators of quality skimmed minced fish. Of particular interest are plant enzymes comprising lipase, which is involved in the breakdown of fats, and plays an important role in the processes that occur during processing and storage of foods. An important task was to improve the method of degreasing minced fish plant lipases to stabilize minced compositions during storage. Lipases of various origins are very different from each other in action specificity, affinity to various substrates, solubility, optimum pH, and other properties. The possibility of the use of wheat bran lipase, which are active at pH 7, corresponding to the value of active acidity of minced fish and a temperature of 28 to 30 °C, which makes it possible to carry out enzymatic hydrolysis, without creating conditions complicate technology. Since fish mince is a complex system of polydisperse water, fat and protein, so stability or resistance is a complex stuffing and general indicator affects the quality indicators during storage. On the basis of these studies it found that as leach wheat bran lipase to make better use of water instead of sodium chloride. It is found that the fermentation plant lipase minced fish, followed by washing, at a degree of dispersion in the range of $1 \pm 0,5$ mm contributes to the achievement of fat mass fraction of 0.8 ... 0.5%, providing stability during storage system minced.

Keywords: Azov-Black Sea fish; minced fish; vegetable enzymes; lipase; storage.

Введение

В последнее время в общемировом вылове возросла доля мелких рыб и рыб пониженной товарной ценности, малопригодных для производства высококачественных пищевых продуктов по традиционным технологиям. В целом, это привело к уменьшению душевого потребления рыбы и морепродуктов – с 22,4 кг в 1985 г. до 9,7 кг в 2015 г. Поэтому возникает необходимость разработки новых видов продукции из гидробионтов, совершенствования ассортимента уже вырабатываемых изделий. Прежде всего, это производство рыбного фарша и изготовление на его основе различных кулинарных изделий [1, 2]. Из

рыбного фарша вырабатывают копченые и вареные колбасы, сосиски, котлеты, рыбные палочки, продукты, имитирующие мясо ракообразных, и многое другое. Интерес к такой продукции во всем мире постоянно растет. Именно поэтому технология производства рыбных пищевых фаршей перспективна и актуальна в свете происходящих перемен в сырьевой базе рыбной промышленности многих стран мира. Рыбные фарши открывают новые возможности в области рационального использования рыбного сырья. Фаршевая продукция относительно недорогая по сравнению с другими видами рыбных полуфабрикатов, и ее производство дает возможность расширения ассортимента одновременно с созданием продуктов с заданными вкусовыми и биологическими

характеристиками [3, 4]. К преимуществам производства рыбного фарша относятся: возможность обработки разнообразных видов рыбы, в том числе и непригодных для филетирования на механизированных линиях; высокий выход готовой продукции – до 40-60 %, тогда как при филетировании рыбы он составляет 28-33 %; рациональное использование рыбного сырья, поскольку применение рыбных сепараторов дает возможность получать пищевой рыбный фарш из отходов от филетирования рыбы; снижение трудоемкости обработки рыбы благодаря большим возможностям механизации и автоматизации процессов производства фарша; простота получения из фарша разнообразных видов рыбных продуктов. Особенностью производства рыбного фарша является использование мышечной ткани тощих (треска, хек, минтай). Эти виды рыб являются импортруемыми и характеризуются высокой ценой. Наиболее доступными видами являются мелкие азово-черноморские рыбы. Однако эти виды рыб относятся к среднежирным с содержанием жира, достигающим 8-10 %, что существенным образом усложняет технологию их переработки [5, 6]. Ферментные препараты способствуют решению ряда технологических задач в производстве рыбных фаршей, позволяя целенаправленно регулировать функционально-технологические свойства рыбных фаршевых систем, к которым относят их структурно-механические свойства.

Цель работы

Целью данной работы является разработка нового способа обезжиривания рыбного фарша липазами растительного происхождения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи: извлечение липаз из растительного сырья, определение активности липаз; гидролиз липидов рыбного фарша до моно- и триглицеридов; определение параметров проведения ферментного гидролиза (продолжительность, рН, температура).

Объектом исследования являлись способы обезжиривания пищевого рыбного фарша.

Изложение основного материала

Долгое время в медицинских препаратах использовали ферменты животного происхождения [7]. Однако получение этих ферментов связано с рядом трудностей: необходимость использования непосредственно органов животных, количество которых ограничено; кроме того, это достаточно трудоемкий и дорогостоящий процесс. Технология ферментных препаратов микробного происхождения более сложная, так как дополнительно включает этапы культивирования микроорганизмов – продуцентов ферментов, в том числе этапы получения посевного материала и производственной культуры

соответствующего микроорганизма. Растения представляют собой большую сырьевую базу, более доступную и более экологичную и экономичную. Поэтому в последнее время достаточно широко применяются ферментные препараты, получаемые из растений.

Липазы участвуют в расщеплении жиров, которые являются сложными эфирами глицерина и высших жирных кислот. Липазы растительного происхождения содержатся преимущественно в семенах, плодах, клубнях, корневищах злаковых (кукуруза, овёс и др.), в семенах крестоцветных (горчичное семя), в особенности в семенах бобовых (фасоль, горох), а также в подсолнечном семени.

Особенность липаз – их активация на поверхности раздела фаз, образованной липидом и водой. Фермент очень медленно гидролизует эфиры глицерина и карбоновых кислот с короткой углеводородной цепью, находящиеся в истинных растворах. Однако при увеличении концентрации эфира выше критической концентрации мицеллообразования скорость гидролиза резко возрастает. Предполагают, что липазы имеют специфический участок, ответственный за «активацию поверхности», а сама активация обусловлена конформационными изменениями молекулы фермента. В растениях липазы широко распространены. Особенно их много в семенах масличных культур. У каждого вида растений есть свои собственные липазы, значительно различающиеся по свойствам, однако в отличие от многих других ферментов специфичность липаз очень низкая и любая липаза может расщеплять различные жиры [7].

В растениях присутствуют липазы, проявляющие свою активность при различных значениях рН, поэтому иногда различают кислые, нейтральные и щелочные липазы, которые проявляют свою максимальную активность соответственно в кислой, нейтральной или щелочной среде. В семенах масличных культур содержатся в основном кислые и щелочные липазы.

Рыба, добываемая в Азово-Черноморском бассейне, имеет повышенное содержание жира, что отрицательно сказывается на качестве готовой продукции при хранении. Это происходит из-за того, что ненасыщенные жирные кислоты, содержащиеся в рыбе, окисляются кислородом воздуха, и продукт приобретает неприятный запах и вкус во время хранения.

Таким образом, необходимо искать пути снижения содержания жира в мышечной ткани рыбы. В данной работе речь идет о рыбном фарше, поэтому будет рассмотрено применение ферментов в процессе производства именно этого продукта. Предметом исследования явился фарш, полученный из атерины черноморской, комплексы липаз сырья растительного происхождения и их активность; процесс обезжиривания рыбного фарша биотехнологическим

способом; качественные и физико-химические показатели качества обезжиренного рыбного фарша.

Обсуждение результатов

При выборе экстрагента липаз пшеничных отрубей [8, 9] основывались на свойствах липаз, основное из которых – растворимость в воде и слабых растворах солей. В качестве экстрагента использовали воду и раствор хлорида натрия массовой долей 0,5 %. Процесс экстракции проводили при температуре 18 – 20 °С. Пшеничные отруби перед извлечением липаз предварительно подсушивали в сушильном шкафу до постоянной массы. После чего тщательно измельчали до порошкообразного состояния. Подготовленные отруби подвергали процессу экстракции водой и раствором хлорида натрия при температуре 18 °С в течение одного часа при постоянном перемешивании (гидромодуль 7 : 1).

Для исследования процесса экстракции навеску пшеничных отрубей, предварительно высушенных до постоянной массы, экстрагируют параллельно водой и соевым раствором (гидромодуль 7 : 1) в течение одного часа при постоянном перемешивании. Температура воды и солевого раствора 18±2 °С. Глубину ферментативного гидролиза липидов определяли по изменению кислотного числа. С этой целью модельные образцы готовили следующим образом: в пробирки с подсолнечным маслом добавляют отфильтрованный экстракт, содержащий комплекс растительных липаз (гидромодуль 3:1), термостатируют при температуре 30 °С в течение одного часа и определяют кислотное число подсолнечного масла по методике [9]. Результаты исследований представлены на рис 1.

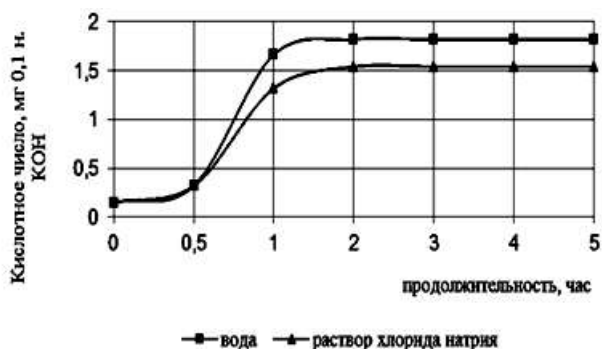


Рис. 1 – Влияние продолжительности экстракции и вида экстрагента на глубину гидролиза жира (ω (NaCl) = 0.5 %; $t = 18$ °С; гидромодуль (отруби : экстрагент) 1 : 7)

Как видно из графика, после внесения раствора фермента в подсолнечное масло, его кислотное число изменяется больше под действием ферментов извлеченных водой. Кроме того, замечено, что время,

необходимое для проведения ферментативного гидролиза составляет один час.

Параллельно опыту по определению глубины ферментативного гидролиза проводят исследования по определению изменения массовой доли жира [9] в аналогичных образцах рис. 2

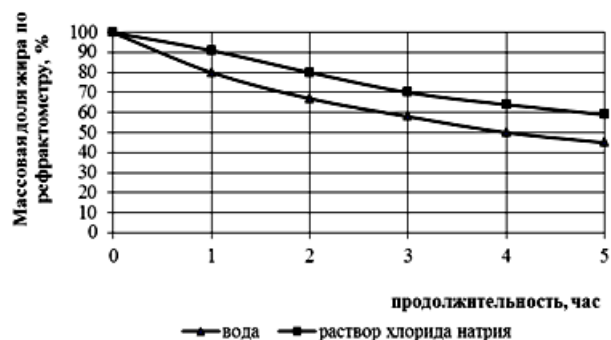


Рис. 2 – Влияние продолжительности ферментативного гидролиза на изменение массовой доли жира

Экспериментальные данные показывают, что максимальное снижение массовой доли жира наблюдается в образцах с ферментным комплексом растительных липаз после пятичасовой выдержки. Липазы пшеничных отрубей действуют на специфический фрагмент глицеринового скелета в липидном субстрате рыбного фарша. Причем большая доля жира гидролизовалась в результате обработки водным раствором ферментов (до 55 %) по сравнению с раствором хлорида натрия массовой долей 0,5 % (до 41 %).

Важнейшим моментом в биотехнологии является создание оптимальных условий для функционирования ферментов [10]. Важное свойство ферментов – зависимость их активности от pH среды. Избирательность ферментов проявляется при определенных значениях pH в достаточно узком интервале температур. Поэтому на первом этапе исследований был определен pH-оптимум активности липаз пшеничных отрубей (рис.3) в соответствии с методикой [10].

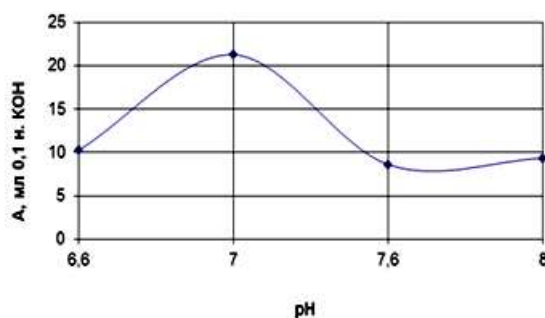


Рис. 3 – Определение оптимума активности липазы ($t = 18$ °С, $\tau = 1$ час)

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что максимальную активность липазы проявляют при значении pH 7, что соответствует значению активной кислотности мышечной ткани. Поэтому ферментативный гидролиз липидов мышечной ткани можно проводить, не создавая дополнительных, усложняющих технологию, условий. Стабильность активности липаз не зависит от других компонентов фаршевой системы, а образованная ферментом жировая матрица подобна естественной структуре жировой ткани.

Для определения температурного оптимума активности липаз пшеничных отрубей эксперимент проводили в диапазоне температур от 28 до 36 °С, что соответствует литературным данным [10].

Результаты представлены в табл. 1

Таблица 1 – Влияние температуры на оптимум действия липазы

температура, °С	Активность, мл 0,1 н КОН
28	4,86
30	5,0
32	3,3
34	3,7
36	3,3

Из данных таблицы 1 видно, что максимальной активностью липазы пшеничных отрубей обладают в диапазоне температур от 28 до 30 °С. Все последующие экспериментальные исследования проводили при определенных условиях: pH 7, температура 30 °С.

Так как ферментативная обработка способствует снижению массовой доли жира до 45 % от начального содержания, то были проведены исследования по совместному влиянию ферментативной обработки и промывки. Фарш после проведения ферментации, подвергали трехкратной промывке, с последующим определением массовой доли жира. Экспериментальные данные представлены на рис. 4.

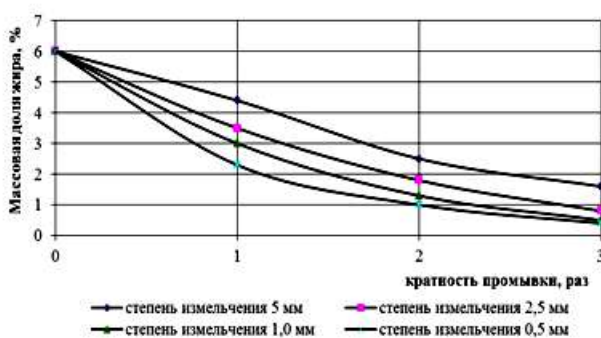


Рис. 4 – Влияние кратности промывки после ферментативного гидролиза на массовую долю жира в фарше

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать вывод, что трехкратная промывка фарша, со степенью измельчения 1,5...0,5 мм, способствует достижению массовой доли жира 0,8...0,5 %.

Выводы

На основании проведенных исследований было установлено, что в качестве экстрагента для липазы пшеничных отрубей лучше использовать воду, а не раствор хлорида натрия.

Экспериментальные данные показывают, что pH оптимум действия липазы проявляется при значении pH 7, что соответствует значению активной кислотности мышечной ткани атерины и температуре 28 до 30 °С, что дает возможность проводить ферментализ, не создавая усложняющих технологию условий.

Изучен процесс обезжиривания фарша из атерины путем ферментативного гидролиза липидов в течение 60 мин при температуре не выше 30 °С.

Полученные данные свидетельствуют о том, что гидролиз проходит максимально глубоко при дисперсности фарша 1 мм и 0,5 мм.

Были проведены исследования по совместному влиянию ферментативной обработки и промывки, так как однократная промывка не позволяет достичь рекомендуемого содержания жира в фарше (0,5 %), которое обеспечивает стабильность при хранении. Анализируя полученные экспериментальные данные можно сделать вывод, что трехкратная промывка фарша степенью дисперсности 1,5...0,5 мм способствует достижению массовой доли жира 0,8 – 0,5 %.

Список литературы

1. **Hu, Y.** Some constructions and bounds for authentication codes / **Y. Hu, W. Xia, C. Ge** // *LWT*. – 2008. – № 41. – P. 730–738. – doi: 10.1016/j.lwt.2007.04.004.
2. **Mathew, Sijo** Changes in Structural and Functional Attributes of Fish Mince Proteins in Presence of Cosolvent During Frozen Storage / **Sijo Mathew, V. Prakash** // *International Journal of Food Properties*. – 2007. – V. 10. – P. 47–59. – doi: 10.1080/10942910600684252.
3. **Levitan, E. B.** Fish consumption, marine omega-3 fatty acids, and incidence of heart failure: a population-based prospective study of middle-aged and elderly men / **E. B. Levitan et al.** // *European Heart Journal*. – 2009. – V. 30, n. 12 – P. 1495–1500. – doi: 10.1093/eurheartj/ehp111.
4. **Безусов, А. Т.** Перспектива использования растительных ферментов в производстве рыбных фаршей / **А. Т. Безусов, Т. А. Маноли, Т. И. Никитчина, О. А. Глушков, Я. О. Барышева** // *Topical areas of fundamental and applied research X. Proceedings of the Conference. North Charleston, USA*. – 2016. – V. 1. – P. 73-75.
5. **Безусов, А. Т.** Перспективність рослинної сировини у промисловій біотехнології / **А. Т. Безусов, Т. І. Нікітчина** // *Сбірник матеріалів міжн. конф.: Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та*

- практичні результати. – Братислава, Словаччина – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс». – 2016. – С. 96 – 97.
- 6 **Ghaly, A. E.** Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins Amino Acids and Oils: A Critical Review / **A. E. Ghaly, V. V. Ramakrishnan, M. S. Brooks, S. M. Budge, D. Dave** // *J. Microb Biochem Technol.* – 2013. – No 5. – P. 107–129. – doi: 10.4172/1948- 5948.1000110.
 - 7 **Jaeger, K. E.** Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution / **K. E. Jaeger, T. Eggert** // *Current Opinion in Biotechnology.* – 2004. – No 15(4). – P. 305–313. – doi: 10.1016/j.copbio.2004.06.007.
 - 8 **Bahrami, N.** Comparison of ambient solvent extraction methods for the analysis of fatty acids in non-starch lipids of flour and starch / **N. Bahrami, L. Yonekura, R. Linforth, M. Carvalho da Silva, S. Hill, S. Penson, G. Chope, I. Denis Fisk** // *J Sci Food Agric.* – 2014. – No 94(3). – P. 415–423. – doi: 10.1002/jsfa.6449.
 - 9 **Скुरатовская, О. Д.** Контроль качества продукции физико-химическими методами / **О. Д. Скुरатовская.** – М.: *DeLi print.* – 2001. – 141 с.
 - 10 **Rose, D. J.** A simple method to measure lipase activity in wheat and wheat bran as an estimation of storage quality / **D. J. Rose, O. A. Pike** // *J. Amer Oil Chem Soc.* – 2006. – V. 83. – P. 415 – 420. – doi:10.1007/s11746-006-1220-0.
- Heart Journal*, 2009, **30**(12), 1495–1500, doi: 10.1093/eurheartj/ehp111.
- 4 **Bezusov, A. T., Manoli, T. A., Nikitchina, T. I., Glushkov, O. A., Barysheva, Ja. O.** Perspektiva ispolzovanija rastitelnyh fermentov v proizvodstve rybnyh farshej [The prospect of the use of plant enzymes in the production of fish forcemeat] / *Topical areas of fundamental and applied research X. Proceedings of the Conference. North Charleston, USA*, 2016, **1**, 73–75.
 - 5 **Bezusov, A. T., Nikitchina, T. I.** Perspektivnist roslinnoi sirovini u promislovij biotehnologii [The prospects of plant material in industrial biotechnology]. *Sbirnik materialiv mizhn.konf.: Suchasni naukovi doslidzhennja ta rozrobki: teoretichna cinnist ta praktichni rezultati.* Bratislava, Slovachchina: Publishing K.: TOV «NVP «Interservis», 2016, 96-97.
 - 6 **Ghaly, A. E., Ramakrishnan, V. V., Brooks, M. S., Budge, S. M., Dave, D.** Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. *J Microb Biochem Technol*, 2013, **5**, 107–129, doi: 10.4172/1948- 5948.1000110.
 - 7 **Jaeger, K. E., Eggert, T.** Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution. *Current Opinion in Biotechnology.* 2004, **15**(4), 305–313, doi: 10.1016/j.copbio.2004.06.007.
 - 8 **Bahrami, N., Yonekura, L., Linforth, Carvalho da Silva, R., Hill, S., Penson, S., Chope, G., Fisk, I. D.** Comparison of ambient solvent extraction methods for the analysis of fatty acids in non-starch lipids of flour and starch. *J Sci Food Agric*, 2014, **94**(3), 415–423, doi: 10.1002/jsfa.6449.
 - 9 **Skuratovskaja, O. D.** Kontrol kachestva produkcii fiziko-himicheskimi metodami [Quality control by physicochemical methods]. М.: *DeLi print*, 2001, 141 p.
 - 10 **Rose, D. J., Pike, O. A.** A simple method to measure lipase activity in wheat and wheat bran as an estimation of storage quality *J Amer Oil Chem Soc*, 2006, **83**, 415–420, doi: 10.1007/s11746-006-1220-0.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Hu, Y., Xia, W., Ge, C.** Characterization of fermented silver carp sausages inoculated with mixed starter culture. *LWT*, 2008, **41**, 730–738, doi: 10.1016/j.lwt.2007.04.004.
- 2 **Mathew, Sijo, Prakash, V.** Changes in Structural and Functional Attributes of Fish Mince Proteins in Presence of Cosolvent During Frozen Storage. *International Journal of Food Properties*, 2007, **10**, 47–59, doi: 10.1080/10942910600684252.
- 3 **Levitan, E. B. et al.** Fish consumption, marine omega-3 fatty acids, and incidence of heart failure: a population-based prospective study of middle-aged and elderly men. *European*

Сведения об авторах (About authors)

Безусов Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор кафедры Биотехнологии, консервированных продуктов и напитков; Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина; e-mail: alex-n@te.net.ua.

Bezysov Anatoliy – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: alex-n@te.net.ua.

Маноли Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра Технологии мяса, рыбы и морепродуктов, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса; e-mail: manoli76@mail.ru.

Manoli Tatiyna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent of the Department of Meat, fish and seafood technology, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: manoli76@mail.ru.

Никитчина Татьяна Ивановна – кандидат технических наук, доцент, кафедра Биотехнологии, консервированных продуктов и напитков, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса; e-mail: nikitchinati@ukr.net.

Nikitchina Tatiyna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent of the Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: nikitchinati@ukr.net.

Глушков Олег Анатольевич – кандидат технических наук, ассистент, кафедра Технологии мяса, рыбы и морепродуктов, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса; e-mail: glushkovuk@rambler.ru.

Glushkov Oleg – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assistant of the Department of Meat, fish and seafood technology, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: glushkovuk@rambler.ru.

Барышева Яна Олеговна – аспирант, кафедра Биотехнологии, консервированных продуктов и напитков, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса; e-mail: manoli-barysheva@mail.ru.

Barysheva Yana – graduate student, of the Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: manoli-barysheva@mail.ru.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Безусов, А. Т. Биотехнологические методы в производстве фарша из мелких азово-черноморских рыб / **А. Т. Безусов, Т. А. Маноли, Т. И. Никитчина, О. А. Глушков, Я. О. Барышева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 173-178. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.28.

Please cite this article as:

Bezysov, A., Manoli, T., Nikitchina, T., Glushkov, O., Barysheva, Y. Biotechnological methods in production minced azov-black sea small fish *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 173–178, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.28.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Безусов, А. Т. Біотехнологічні методи у виробництві фаршу з азово-чорноморських риб / **А. Т. Безусов, Т. А. Маноли, Т. І. Нікітчина, О. А. Глушков, Я. О. Барышева** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 173-178. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.28.

АНОТАЦІЯ Рослинні ферментні препарати дозволяють вирішити ряд технологічних завдань у виробництві рибних кулінарних виробів, подовжуючи строки зберігання зі збереженням якісних показників. Обґрунтовано можливість застосування ліпаз пшеничних висівків, які проявляють активність при рН 7, що відповідає значенню активної кислотності рибного фаршу і температури 28 до 30 °С, що дає можливість проводити ферментоліз, без ускладнення технологічних умов. Встановлено, що ферментування рибного фаршу рослинною ліпазою з наступним промиванням, при ступені дисперсності в межах $1 \pm 0,5$ мм, сприяє досягненню масової частки жиру 0,8 ... 0,5 %, що забезпечує стабільність фаршевої системи при зберіганні.

Ключові слова: азово-чорноморські риби; фарш; рослинні ферменти; ліпази; зберігання.

Поступила (received) 14.12.2016

УДК 665.1

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖИРОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

В. С. МАЗАЕВА^{1*}, В. О. ГОЛОДНЯК², И. Н. ДЕМИДОВ³, И. В. ЛЕВЧУК⁴, О. В. ГОЛУБЕЦ⁴

¹Лаборатория исследований химии жиров масло-жировых производств, Украинский научно-исследовательский институт масел и жиров Национальной академии аграрных наук (УкрНИИМЖ НААН), г. Харьков, УКРАИНА

²Научно-исследовательская часть, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

³Кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

⁴Научно-методическая лаборатория хроматографических исследований научно-исследовательского центра испытаний продукции, Государственное предприятие "Всеукраинский государственный научно-производственный центр стандартизации, метрологии, сертификации и защиты прав потребителей" (ГП "Укрметртестстандарт")

*email: tori-198919@yandex.ua

АННОТАЦИЯ. В данной статье приведены результаты исследования процессов плавления и кристаллизации бинарных жировых смесей пальмового oleina (ПО) и пальмового стеарина (ПС). Исследования выполнены методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Термическое поведение смесей было исследовано путем мониторинга пиковой температуры переходов. Результаты показали, что триацилглицерольный состав имеет влияние на вид кривых плавления.

Ключевые слова: плавление; кристаллизация; триацилглицерольный состав; фазовый переход; дифференциальная сканирующая калориметрия.

A STUDY OF TEMPERATURE OF MELTING AND CRYSTALLIZATION OF FATS BY DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

MAZAIIEVA¹ V., GOLODNYAK² V., DEMYDOV³ I., LEVCHUK⁴ I., HOLUBEC⁴ O.

¹Laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkov, UKRAINE

²Scientific research part, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (NTU "KhPI"), Kharkov, UKRAINE

³Department of Technology of fats and fermentation products, NTU "KhPI", Kharkov, UKRAINE

⁴Scientific-methodical laboratories chromatographic studies. State Enterprise "All-Ukrainian State Scientific and Production Center of Standardization, Metrology, Certification and Protection of Consumer" (SE "Ukrmeterteststandard")

ABSTRACT This article presents the results of studies of melting and solidification processes of binary fatty mixtures of palm olein (PO) and palm stearin (PS). The melting point was determined by the open capillary method, and the pour point was determined by the Zhukov parting. The thermal behavior of the blends was studied by monitoring the peak transition temperatures by differential scanning calorimetry (DSC). Depending on the mass and the heating rate and the form and shape of the DSC chart, the objective heating and cooling rate was defined. At the same time the composition of the TAG was determined using the software and the PC, by liquid chromatography, and it compared with the results of studies of melting and crystallization processes by the DSC. The melting process is a multi-stage character, which is a sequence of melting processes and subsequent recrystallization melting fat blend. The crystallization process takes place in two stages, crystallization followed by recrystallization in a stable structure. Between these two stages the mixtures in the individual melting peaks occur. This indicates that the existing standard methods for determining the melting temperatures do not reflect actually occurring processes of hardening fats.

Keywords: melting; crystallization; triacylglycerol composition; phase transition; differential scanning calorimetry

Введение

Наиболее важные физические свойства жиров связаны с процессами их плавления и кристаллизации. Если условия кристаллизации изменились, строение кристаллов, размер кристаллов и число кристаллов изменяются. Эти изменения в конечном итоге отразятся на потребительских свойствах продукта. В частности, наличие нескольких точек плавления у триацилглицеролов (ТАГ) и жиров, которое почти столетие оставалось непонятным химикам и технологам, которые

практически многократно сталкиваются с этим явлением. Исследования фазовой структуры ТАГ термическими методами [1] показало, что это явление полностью определяется особенностями кристаллизации и плавления ТАГ, связанными с необратимым полиморфизмом. Плавление уже закристаллизовавшегося жира и его последующая кристаллизация при повышении температуры происходит вследствие перехода через расплавы метастабильных γ - и α -форм в стабильную β -фазу.

Традиционно для исследования термического поведения жиров в рутинной лабораторной практике

Результаты исследования

применяются стандартные методы. Для температуры плавления метод открытого капилляра [2], а температуру застывания определяют по пробору Жукова [3]. К сожалению, эти методы не характеризуют в полной мере фазовое состояние жира в зависимости от температуры, что может привести к получению некачественной продукции. Например, метод открытого капилляра позволяет избавиться от явления многократного плавления и получить лишь одну точку плавления, притом обязательно наивысшую. То есть, с точки зрения фазового анализа метод позволяет получить стабильную β-фазу и определить ее температуру плавления. Следует также отметить, что процессы плавления и кристаллизации определяются соотношением ТАГ в жировых смесях, но данных об исследованиях его влияния на эти процессы малочисленны.

В [4] предпринята попытка выполнить методом ДСК исследования связи жирнокислотного состава ПО и ПС с процессами кристаллизации и плавления. В [5] показано, что на экзотермическую термограмму влияет только химический состав жира, а не состояние первичной кристаллизации, и изменения температуры кристаллизации демонстрируют влияние состава ТАГ как главную особенность.

Цель исследования

Целью статьи есть исследования процессов плавления и кристаллизации бинарных жировых смесей пальмового олеина (ПО) и пальмового стеарина (ПС) после их перэтерификации. Исследования выполнены методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Одновременно при этом определен ТАГ состав этих смесей, который определен методом хроматографии, и сопоставление его с результатами исследования процессов плавления и кристаллизации на ДСК.

Термическое поведение смесей было исследовано путем мониторинга пиковой температуры переходов и точек пресечения касательных на криволинейных участках. Результаты измерений позволяют сопоставить взаимное соответствие между ними и результатами, которые получены стандартными методами.

Поскольку в процессе плавления (кристаллизации) образца происходит вначале нагревание (охлаждение) его массы до температуры плавления (кристаллизации), а далее собственно переход в жидкое (твердое) состояние, то очевидно, что в зависимости от массы образца и скорости его нагрева (охлаждения), зависит вид и форма графика ДСК. Поэтому предварительно был выполнен цикл исследований для оценки влияния на результаты измерений скорости нагрева (охлаждения) образца и его массы. Измерения выполнялись на жировой смеси содержащей 50 % пальмового олеина (ПО) и 50 % саломаса МЗ, которые прошли процесс перэтерификации. На рисунке 1 и рисунке 2 приведены графики ДСК для, соответственно, плавления и кристаллизации при скоростях нагрева и охлаждения (1,5, 2,5, 5, 6,5, 7,5, 8,5, 10) градуса Цельсия в минуту и результаты их обработки в точках фазовых переходов. Измерения при каждой скорости выполнялись не менее чем в трех параллелях. Максимальное расхождение между значениями величины температуры и удельного теплового потока в параллелях не превышало 4 %.

Результаты измерений, которые получены после обработки графиков ДСК, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Температуры и удельные тепловые потоки плавления смеси.

№пп	Температура, °С / Тепловой поток, Вт/г	Скорость нагревания образца, °С/мин						
		1,5	2,5	5	6,5	7,5	8,5	10
1	Начало плавления	-26.55	-25.56	-24,527	-25,02	-24,35	-26,04	-24,75
		-0.115	-0.132	-0,194	-0,299	-0,246	-0,367	-0,286
2	Вторая точка плавления	-13.25	-11,673	-16,112	-15,577	-14,76	-16,251	-15,205
		-0.119	-0,139	-0,213	-0,344	-0,286	-0,433	-0,34
3	Начало пика	3.87	0.66	6,77	8,26	9,06	10,556	10,8
		-0.129	-0.143	-0,202	-0,299	-0,25	-0,326	-0,263
4	Максимум пика	26.96	27.52	24,49	23,33	23,04	22,43	22,42
		-0.177	-0.231	-0,383	-0,669	-0,532	-0,859	-0,666
5	Окончание плавления	38.53	37.24	36,6	36,795	36,49	36,0	36,73
		-0.124	-0.141	-0,201	-0,319	-0,26	-0,399	-0,304

Таблица 2 – Температуры и удельные тепловые потоки фазовых переходов кристаллизации смеси.

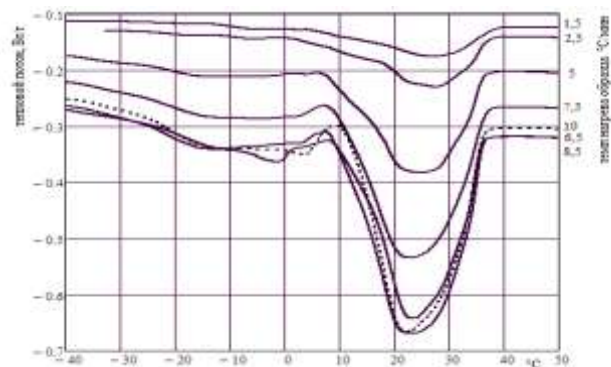
№пп	Температура, °С / Тепловой поток, Вт/г	Скорость охлаждения образца, °С/мин						
		1,5	2,5	5	6,5	7,5	8,5	10
1	Начало кристаллизации	23.42	20.98	20.15	18.94	19.83	19.34	19.43
		-0.048	-0.04	0.035	0.176	0.1	0.133	0.221
2	Максимум первого пика	11.6	18.23	17.45	17.23	17.16	16.86	16
		-0.0005	0.034	0.197	0.5139	0.3341	0.4239	0.506

Продолжение таблица 2 – Температуры и удельные тепловые потоки фазовых переходов кристаллизации смеси.

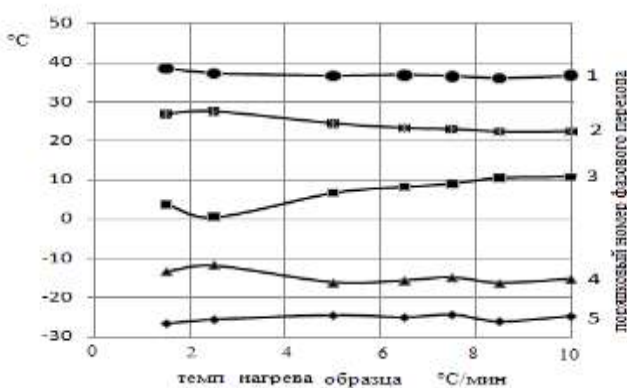
№пп	Температура, °С / Тепловой поток, Вт/г	Скорость охлаждения образца, °С/мин						
		1,5	2,5	5	6,5	7,5	8,5	10
3	Окончание первого пика	5.19	15.38	13.03	12.43	11.89	12.37	10.92
		-0.016	0.007	0.1184	0.345	0.2268	0.2712	0.3929
4	Максимум второго пика	1.12	10.4	8.13	7.98	8.19	8.67	8.39
		-0.0152	0.031	0.1471	0.3818	0.2517	0.2929	0.4001
5	Окончание второго пика	-7.58	5.61	4.02	4.21	4.5	4.72	5.01
		-0.032	0.014	0.1297	0.36	0.2298	0.2604	0.3576
6	Максимум третьего пика	-	2.94	1.18	1.09	1.32	1.67	1.57
		-	0.024	0.164	0.4518	0.3153	0.3587	0.4978
7	Окончание третьего пика	-	-11.38	-11.18	-8.51	-7.42	-8.02	-8.47
		-	-0.015	0.074	0.283	0.188	0.215	0.325

На графиках ДСК плавения контрольной смеси (рис. 1а) видно как с ростом темпа нагрева образца увеличивается высота пика плавения вначале быстро и потом замедляется. Из построенных на основании данных, которые приведены в табл. 1, графиков изменения температуры в точках фазовых переходов в зависимости от скорости нагрева (рис. 1б) видно, что значения величин температур фазовых переходов в пределах точности измерений стабилизируются начиная со значения темпа нагрева 6 °С/мин.

Аналогично из графиков ДСК кристаллизации смеси (рис. 2а) видно как с ростом темпа охлаждения образца увеличивается высота пика плавения вначале быстро и потом замедляется. Из построенных на основании данных, которые приведены в табл. 2, графиков изменения температуры в точках фазовых переходов в зависимости от скорости охлаждения (рис. 2б) видно, что значения величин температур фазовых переходов в пределах точности измерений стабилизируются начиная со значения темпа нагрева 6 °С/мин.

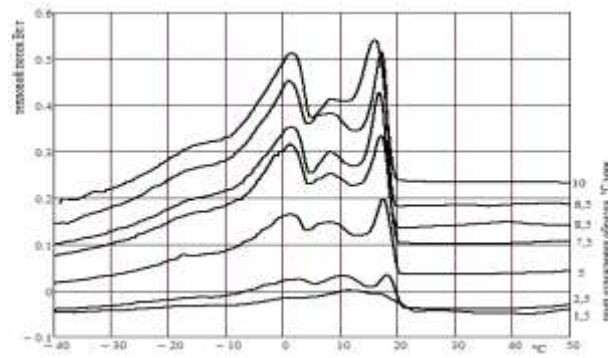


а

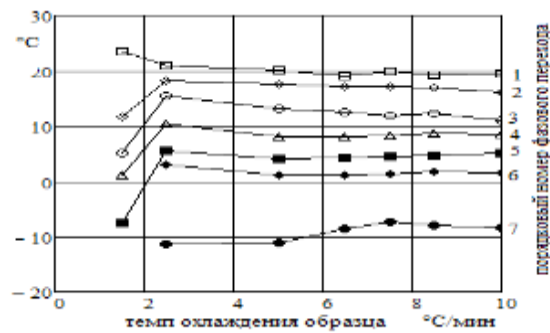


б

Рис. 1 – Графики изменения диаграммы ДСК и температуры в точках фазовых переходов при плавении смеси в зависимости от скорости нагрева.



а



б

Рис. 2 – Графики изменения диаграммы ДСК и температуры в точках фазовых переходов при кристаллизации смеси в зависимости от скорости охлаждения.

Исходя из приведенных выше результатов принято, что для объективности результатов дальнейших исследований достаточно выполнить измерения при скорости нагрева (охлаждения) образцов 7.5 °С/мин.

Из результатов измерения процессов плавления и кристаллизации образцов с различной массой навески следует, что температуры характерные для них остаются неизменными. Однако, увеличивается высота пика, что обусловлено возросшими затратами тепла на проведение термических процессов. На рис. 3 приведен пример процессов плавления одного и того же образца для двух образцов с разной массой навесок 7,3°мг и 8,4°мг

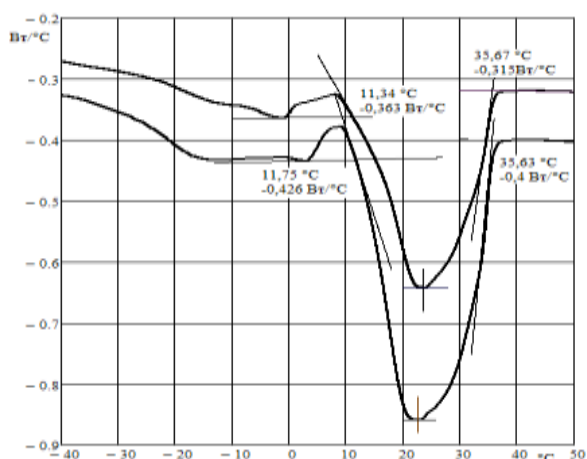


Рис 3 – Процесс плавления одного и того же образца с разной массой навески.

Исследования процессов плавления и кристаллизации выполнялось на перэтерифицированных бинарных жировых смесях ПО и ПС, соотношение компонент в которых приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Соотношение компонент перэтерифицированных жировых смесей.

Составляющие компоненты	Содержание компонент в жировых смесях										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПО, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
ПС, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Таблица 4 –Содержание ТАГ для перэтерифицированного ПО и ПС

ТАГ	POO	PPP	PPS	MPP	PLLn	SLL	PLS	PSS	SLO
ПО, %	24.54	3.73	0.97	0.534	1.22	1.21	0	0	0
ПС, %	10.56	29.61	6.21	2.733	0	0	0.931	0.631	0.399

Методом газожидкостной хроматографии был определен триацилглицерольный состав ПО и ПС, который приведен на рис 4.

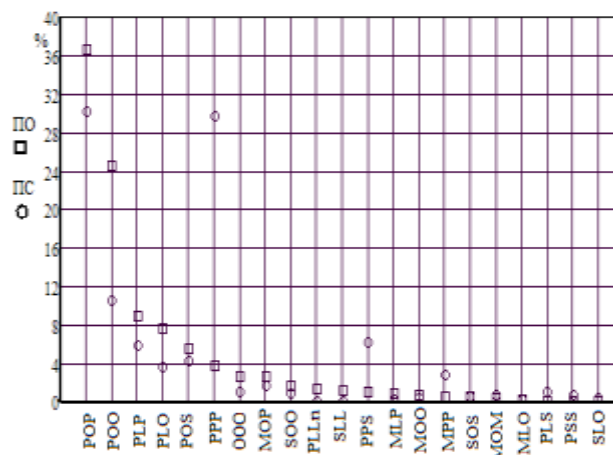


Рис. 4 – Содержание ТАГ в пальмовом олеине и стеарине.

Существенные отличия в содержании массовой доли ТАГ для ПО и ПС приведены в табл. 4 и наблюдаются для следующих ТАГ.

Следовательно, можно ожидать, что изменение температур точек фазовых переходов определяются соотношением компонент в смеси.

Для каждой из смесей измерены температура плавления методом открытого капилляра, температура застывания на приборе Жукова и исследованы термические процессы плавления и кристаллизации методом ДСК. Результаты измерений приведены в табл.5 и табл.6. В первом столбце таблиц указаны точки фазовых переходов в соответствии с обозначениями, которые приведены на рис. 5б и рис.6б.

Таблиця 5. Результати дослідження процесу плавлення перезетерифіцированих смесей.

Нсмеси состав	1 по	2 по90	3 по80	4 по70	5 по60	6 по50	7 по40	8 по30	9 по20	10 по10	11 пс
Т (капилляр)	35.7	38	39.5	40.7	41.6	43.5	44.2	44	44.5	47.2	50.0
ac	-	-	-	-	-	50.56	50.31	-	50.7	50.9	52.89
ab	-	-	-	-	-	48.35	48.75	-	48.73	49.05	50.45
a	41.2	40.42	42.45	42.65	43.48	45.8	47.3	46.23	48.09	47.61	47.69
b	38.13	36.73	39.43	38.86	39.68	40.33	42.78	43.33	43.84	43.8	44.08
c	31.35	32.61	32.89	32.67	31.28	31.59	32.71	33.22	32.95	31.35	33.32
d	25	25	25.72	25.76	26.07	27.81	28.06	28.22	29.12	27.3	30.04
de	-	-	-	-	-	22.09	23.44	21.96	21.67	24.45	-
e	15.43	15.91	15.91	16.25	15.25	16.44	16.78	17.44	17.5	17.96	17.73
f	7.46	8.02	8.25	8.19	7.95	7.2	8.15	9.41	5.05	10.61	9.68
k	5.68	6.12	6.25	6.61	6.65	5.84	6.73	6.63	7	4.55	6.99
m	3.25	3.97	3.62	3.95	3.56	3.5	3.88	3.5	3.88	-	3.51
n	-2.65	-2.17	-2.06	-2.59	-2.72	-3.16	-2.56	-1.95	-2.22	-	-2.54
p	-4.36	-3.74	-4	-4.47	-4.16	-4.79	-3.97	-3.77	-4.15	-4.78	-4.24
r	-10.44	-10.26	-10.88	-11.39	-12.8	-11.73	-12.06	-10.23	-10.31	-11.66	-10.95
s	-14.93	-13.51	-14.2	-15.37	-15.87	-15.87	-14.86	-14.09	-14.31	-14.69	-15.86
w	-23.7	-23.35	-23.38	-22.56	-24.39	-23.98	-23.62	-22.16	-22.36	-20.71	-22.45

Таблиця 6. Результати дослідження процесу кристалізації с перезетерифіцированих смесей.

Нсмеси состав	1 по	2 по90	3 по80	4 по70	5 по60	6 по50	7 по40	8 по30	9 по20	10 по10	11 пс
Т (застыв)	19	20	23.1	25.5	27.6	29	30.1	31.0	32.6	36.2	33.6
a	22.64	23.33	24.35	25.09	24.03	26.15	27.95	28.81	32.47	28.92	29.74
b	20.71	18.61	21.84	23.28	22.24	24.49	26.93	27.94	29.2	26.84	29.02
d	8.44	9.18	9.34	9.04	7.9	7.16	9.22	14.27	8.79	8.54	7.58
f	3.2	2.81	3.26	3.07	2.02	2.53	3.15	4.68	4.98	3.95	3.48
k	-4.82	-4.88	-5.69	-5.96	-6.3	-5.64	-5.7	-5.93	-5.73	-6.3	-5.59
m	-6.44	-6.45	-6.86	-6.89	-6.75	-6.65	-6.77	-7	-6.82	-7.34	-6.8

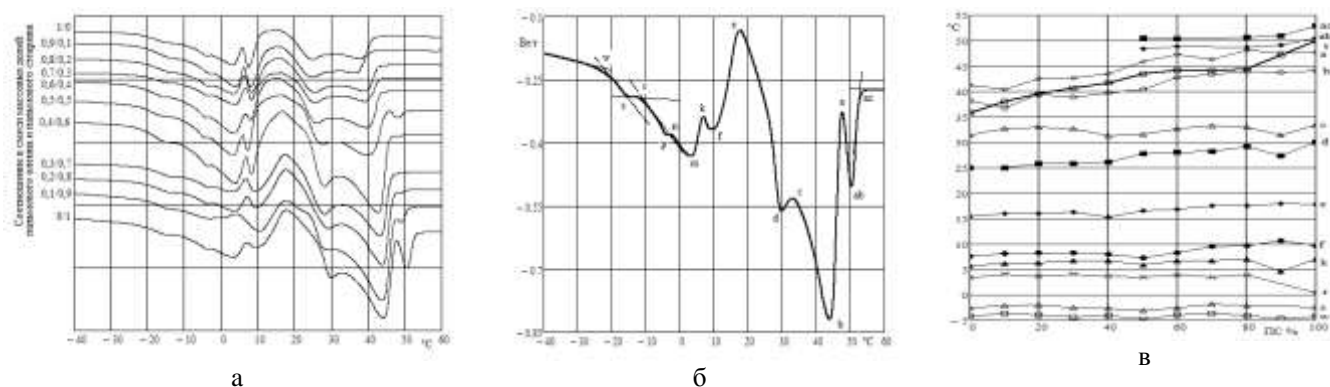


Рис.5 – Графики ДСК процесса плавления смесей.

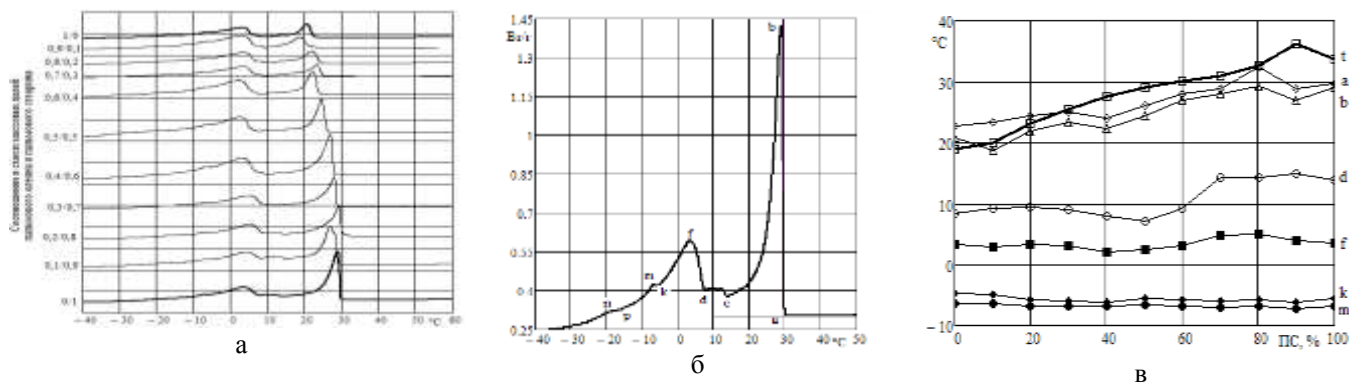


Рис. – 6. Графики ДСК процесса кристаллизации смесей.

Графики ДСК процесса плавления и кристаллизации смесей, показаны на рис. 5а и рис. 6а соответственно. На рисунках видно как изменяется форма графиков в зависимости от соотношения компонентов. Однако, в целом характер зависимости не изменяется и ее вид определяется количественным содержанием триацилглицеролов в смеси. При обработке графиков ДСК были идентифицированы точки фазовых переходов, обозначения которых приведены на рис.5б и рис. 6б соответственно для плавления и кристаллизации. Зависимости температур в точках фазовых переходов от соотношения компонентов в смеси проведены соответственно на рис. 5в и рис. 6в.

Обсуждение результатов исследований

Сопоставление графиков на рис. 5а и рис. 6а показывает, что графики плавления сложнее, чем кристаллизации. Изменяющийся эффект расширения графиков плавления на участках **abcd** и **efkm** связан с достаточно широким изменением распределения состава ТАГ смесей. Количество пиков плавления у ПО составляют четыре эндотермы и пять у ПС. В смесях в зависимости от количества кристаллизованного жира и полиморфных переходов количество эндотерм составляет четыре для смесей с массовой долей ПС менее 50 % и составляет пять, начиная с 50 %, но при этом нерегулярно.

В смесях с преобладающим содержанием массовой доли ПО, когда температура менее 10 °С, эндотермические пики больше, чем в смесях, где больше содержание ПС. Это связано с наличием ТАГ с низкими температурами плавления и долей их в составе жировой смеси [5, 6]. Вместе с тем в диапазоне от 20 °С до 45 °С эндотермические пики больше у смесей с преобладающим содержанием массовой доли ПС, что согласуется с более высоким содержанием массовой доли ТАГ с высокими температурами плавления. Причем в конце процесса плавления наблюдается дополнительный эндотермический пик **aa1a2** у этих смесей. Одновременно на графиках плавления присутствуют также экзотермические пики, которым соответствуют точки фазовых переходов **с**, **е** и **к** причем наиболее интенсивный экзотермический процесс связан с точкой **е**, где вершина пика находится выше нулевой линии всего процесса плавления, причем эта тенденция сохраняется на всех графиках.

На графиках кристаллизации рис. 6а изменения основного экзотермического пика **abd** в процессе кристаллизации происходят вследствие возможных полиморфных явлений. На графиках кристаллизации для всех смесей присутствуют две характерные экзотермы с пиками в точках **б** и **ф**, что свидетельствует о сходстве термодинамики процесса кристаллизации для всех смесей.

Начало процесса кристаллизации характеризуется высокой интенсивностью

формирования жировых кристаллов на участке **ab** первого пика [7, 8]. Эта стадия процесса кристаллизации происходит в узком диапазоне температур, интервал которого не превосходит (1 – 2) °С. Образование вначале жировых кристаллов связано с перестановкой молекул из-за наличия ТАГ с насыщенными жирными кислотами и далее на нисходящем участке **bd** пика кристаллизация заканчивается агрегацией и уплотнением молекул [9, 10]. Существуют два шага кристаллизации – один это образование центров кристаллизации, а другой – рост кристаллов. Для того чтобы образовывать кристаллические ядра, система жиров должна оставаться переохлажденной или перенасыщенной [11]. После формирования ядер, они продолжают расти и образовывать кристаллы. Второй пик **dfk** на графиках кристаллизации связан с дальнейшей перестройкой кристаллической структуры жировой смеси в устойчивую с более низкой энергией Гиббса форму [12].

Вместе с тем на графиках процесса кристаллизации наблюдаются эндотермические пики, как, например, видно на рис. 6б пик **с** на участке **bcd**. В этом случае, как правило, за эндотермическим пиком сразу же следует экзотермический пик, на рис. 6б это пик **д**, завершающий процесс плавления.

На рис. 5в и рис. 6в на основании результатов проведенных исследований приведены графики зависимости величины температуры в точках фазовых переходов от соотношения компонентов в смеси. На этих же графиках показаны результаты определения температур плавления и застывания смесей стандартными методами.

Величина температура плавления смесей по стандартному методу, как видно из рис.5в, у всех смесей в пределах последнего пика плавления **abc**, причем последним пиком ПС является пик **aa1a2**. У всех смесей за исключением ПО и ПС температура плавления определенная методом закрытого капилляра находится на восходящей стороне **ba** пика, то есть на стадии завершения процесса плавления. У ПО эта температура находится на нисходящей стороне **cb** пика, то есть на начальной стадии процесса плавления. Аналогично у ПС эта температура находится на нисходящей стороне **aa1** пика. Таким образом, температура плавления определенная методом открытого капилляра располагается в пределах последнего пика плавления, но не привязан к физическим границам процесса плавления жира, то есть к началу или окончанию. Температуры в точках фазовых переходов **f, k, m, n, p, r, s, w**, значения которых находятся ниже 10 °С, остаются неизменными практически для всех смесей (см. табл. 5). Можно предположить, что в данном случае происходят тепловые процессы с индивидуальными ТАГ, содержание которых в ПО и ПС одинаково (см. рис. 4).

Величина температуры застывания смесей по стандартному методу, как видно из рис.6в,

практически не привязана к температуре начала процесса кристаллизации. Для смесей содержащих массовую долю ПС более 40 % всегда выше на (3 – 4) °С температуры начала процесса кристаллизации. Для смесей содержащих массовую долю ПС менее 40 % привязка температуры застывания смесей по стандартному методу к пику кристаллизации отсутствует.

Величина площади на графике ДСК заключенная между нулевой линией и линией регистрации удельного теплового потока соответствует суммарным энергетическим расходам (экзо- или эндо-) в процессах кристаллизации или плавления, то есть теплоте плавления или кристаллизации. Численным интегрированием результатов измерения определены значения теплоты плавления и кристаллизации для всех смесей. Результаты вычислений приведены в табл. 7 и графически на рис.7.

Таблица 7 – Теплота плавления и кристаллизации смесей.

№ пп смеси	состав	Плавление, Дж/г	Кристаллизация, Дж/г
1	по	-192.7	183.7
2	по90	-243.9	234.2
3	по80	-197	141.8
4	по70	-187.1	170.6
5	по60	-303	176.2
6	по50	-303.7	256.2
7	по40	-379.9	386.3
8	по30	-245.6	269.8
9	по20	-285.8	286.8
10	по10	-291.6	346.5
11	пс	-355	338

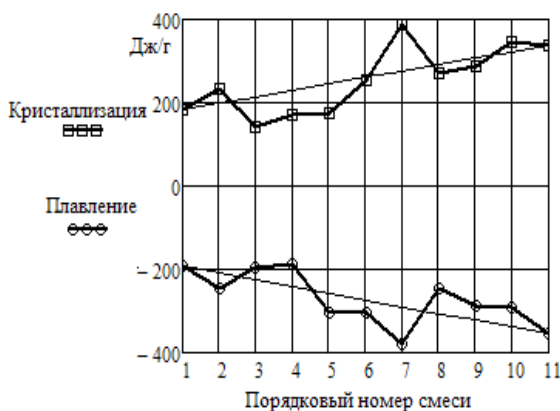


Рис. 7 – Зависимость теплоты плавления и кристаллизации от состава смесей.

Из приведенных на рис. 7 графиков следует, что от соотношения компонентов смеси теплота, затрачиваемая на фазовые переходы, изменяется нелинейно и зависимость носит немонотонный

характер, что обусловлено особенностями полиморфизма смесей.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что существующие стандартные методы определения температур плавления и застывания жиров не отражают реально проходящие процессы.

Процесс плавления носит многостадийный характер, который представляет собой последовательность процессов плавления перекристаллизации и последующего плавления жировой смеси.

Процесс кристаллизации проходит в две стадии кристаллизация с последующей перекристаллизацией в более устойчивую структуру. Между этими двумя стадиями в отдельных смесях имеют место пики плавления.

Особенности поведения жировых смесей в процессах плавления и кристаллизации в зависимости от температуры влияют на свойства товарных продуктов, которые производятся предприятиями. Поэтому при составлении рецептов жировых продуктов необходимо принимать во внимание не только стандартные показатели сырья, но и учитывать более тонкие особенности параметров процессов их кристаллизации и плавления.

Список литературы:

1. Равич, Г. Б., Цуринов, Г. Г. Фазовая структура триглицеридов. – М: Из-во АН СССР. – 1952. – 140 с.
2. ДСТУ ISO 6321:2003 Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення точки плавлення у відкритому каплярі (точка плин).
3. ДСТУ 4463:2005 Маргарин, жири кондитерські та для молочної промисловості. Правила приймання та методи випробування.
4. Xia Zhang Comparative analysis of thermal behavior, isothermal crystallization kinetics and polymorphism of palm oil fractions / Xia Zhang, Lin Li, He Xie, Zhili Liang, Jianyu Su, Guoqin Liu and Bing Li // *Molecules*. – 2013. – No 18. – P. 1036-1052. – doi: 10.3390/molecules18011036.
5. Liu, Y. Preparation of specialty fats from beef tallow and canola oil by chemical interesterification: Physico-chemical properties and bread applications of the products / Y. Liu, Z. Meng, L. Shan, Q. Jin, X. Wang // *Eur. Food Res. Tech.* – 2010. – No 230, P. 457–466. – doi: 10.1007/s00217-009-1188-8.
6. Fredrick, E. Influence of monoglycerides on the crystallization behavior of palm oil / E. Fredrick, I. Foubert, J. V. De Sype, K. Dewettinck // *Cryst. Growth Des.* – 2008. – No 8. – P. 1833–1839. – doi: 10.1021/cg070025a.
7. Toro-Vazquez, J. Induction time of crystallization in vegetable oils, comparative measurements by differential scanning calorimetry and diffusive light scattering / J. Toro-Vazquez, V. Herrera-Coronado, E. Dibildox-Alvarado, M. Charo-Alonso, C. Gomez-Aldapa // *J. Food Sci.* –

2002. – No 67. – P. 1057–1064. – doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09453.x.
8. **Herrera, M.** Isothermal crystallization of hydrogenated sunflower oil: I-ucleation / **M. Herrera, C. Falabella, M. Melgarejo, M. Añón** // *J. Am. Oil Chem. Soc.* – 1998. – No 75. – P. 1273–1280. – doi: 10.1007/s11746-998-0172-y.
 9. **Mandelkern, L.** Crystallization of Polymers / **L. Mandelkern** // *McGraw-Hill: New York, NY, USA.* – 1964. – Vol. 38.
 10. **Tan, C. P.** Differential scanning calorimetric analysis of palm oil, palm oil based products and coconut oil: Effects of scanning rate variation / **C. P. Tan, Y. B. Che Man** // *Food Chem.* – 2002. – No 76. – P. 89–102. – doi: 10.1016/S0308-8146(01)00241-2.
 11. **De Graef, V.** Crystallization behavior and texture of trans-containing and trans-free palm oil based confectionery fats / **V. De Graef, I. Foubert, K. W. Smith, F. W. Cain, K. Dewettinck** // *J. Agric. Food Chem.* – 2007. – No 55. – P. 10258–10265. – doi: 10.1021/jf071967q.
 12. **Kiyotaka Sato, Satoru Ueno** Polymorphism in fats and oils / // *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6 th ed. Wiley, NY. – 2005. – Vol. 6. – P. 77-120. – doi: 10.1002/047167849X.bio020.
 5. **Liu, Y., Meng, Z., Shan, L., Jin, Q., Wang, X.** Preparation of specialty fats from beef tallow and canola oil by chemical interesterification: Physico-chemical properties and bread applications of the products. *Eur. Food Res. Tech.* 2010, **230**, 457–466, doi: 10.1007/s00217-009-1188-8.
 6. **Fredrick, E., Foubert, I., De Sype, J. V., Dewettinck, K.** Influence of monoglycerides on the crystallization behavior of palm oil. *Cryst. Growth Des.* 2008, **8**, 1833–1839, doi: 10.1021/cg070025a.
 7. **Toro-Vazquez, J., Herrera-Coronado, V., Dibildox-Alvarado, E., Charo-Alonso, M., Gomez-Aldapa, C.** Induction time of crystallization in vegetable oils, comparative measurements by differential scanning calorimetry and diffusive light scattering. *J. Food Sci.* 2002, **67**, 1057–1064, doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09453.x.
 8. **Herrera, M., Falabella, C., Melgarejo, M., Añón, M.** Isothermal crystallization of hydrogenated sunflower oil: I-ucleation. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1998, **75**, 1273–1280, doi: 10.1007/s11746-998-0172-y.
 9. **Mandelkern, L.** Crystallization of Polymers. *McGraw-Hill: New York, NY, USA*, 1964, **38**.
 10. **Tan, C. P., Che Man, Y. B.** Differential scanning calorimetric analysis of palm oil, palm oil based products and coconut oil: Effects of scanning rate variation. *Food Chem.* 2002, **76**, 89–102, doi: 10.1016/S0308-8146(01)00241-2.
 11. **De Graef, V., Foubert, I., Smith, K. W., Cain, F. W., Dewettinck, K.** Crystallization behavior and texture of trans-containing and trans-free palm oil based confectionery fats. *J. Agric. Food Chem.* 2007, **55**, 10258–10265, doi: 10.1021/jf071967q.
 12. **Kiyotaka Sato, Satoru Ueno** Polymorphism in fats and oils. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6 th ed., Wiley, NY, 2005, **6**, 77-120, doi: 10.1002/047167849X.bio020.

Bibliography (transliterated):

1. **Ravich, G. B., Curinov, G. G.** Fazovaja struktura trigliceridov [The phase structure of triglycerides]. Moscow, Iz-vo ANSSSR, 1952, 140 p.
2. **DSTU ISO 6321:2003** Zhiri tvarinni i roslinni ta olii. Vznachennja točki plavlennja u vidkritomu kapiljari (točka plinu) [Animal fats and oils and plant. Determination of melting point in open capillary (flow point)].
3. **DSTU 4463:2005** Margarin, zhiri konditers'ki ta dlja molochnoi promislovosti. Pravila prijmanna ta metodi viprobuvannja [Margarine, Fats confectionery and dairy industry. Acceptance rules and test methods].
4. **Xia Zhang, Lin Li, He Xie, Zhili Liang, Jianyu Su, Guoqin Liu and Bing Li** Comparative analysis of thermal behavior, isothermal crystallization kinetics and polymorphism of palm oil fractions. *Molecules*, 2013, **18**, 1036-1052, doi: 10.3390/molecules18011036.

Сведения об авторах (About authors)

Мазаева Виктория Сергеевна – Младший научный сотрудник, Лаборатория исследований химии жиров масло-жировых производств, Украинский научно-исследовательский институт масел и жиров, Национальной академии аграрных наук Украины, пр. Дзюбы, 2а, г. Харьков, Украина, 61019, тел.: 097-70-70-271, e-mail: tori-198919@yandex.ua

Mazaieva Viktoriia – Jr. Researcher, Laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, pr. Dziuba, 2a, Kharkov, Ukraine, 61019, tel.: 097-70-70-271, e-mail: tori-198919@yandex.ua

Голодняк Владимир Александрович – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской части, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, Контактный тел.: 050-32-53-357, e-mail: gol.saturn@mail.ru

Vladimir Golodnyak – Candidate of technical sciences, Senior Research Fellow of the scientific research, National Technical University "Harkovsky Polytechnic Institute", Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002, tel.: 050-32-53-357, e-mail: gol.saturn@mail.ru

Демидов Игорь Николаевич – Доктор технических наук, профессор, кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, тел.: 098-44-28-614, e-mail: demigon@rambler.ru

Demydov Igor – Professor, Doctor of technical sciences, Department of Technology of fats and fermentation products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Str. Frunze 21, Kharkov, Ukraine, 61002, tel.: 098-44-28-614, e-mail: demigon@rambler.ru

Левчук Ирина Владимировна – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-методической лаборатории хроматографических исследований, ГП "Укрметртестстандарт", ул. Метрологическая, 4, г. Киев, 03143, тел.: (044) 526-10-30, (044) 522-66-57, e-mail: iryna.levchuk.v@gmail.com

Levchuk Irina – Candidate of technical sciences, head of the scientific-methodical laboratories chromatographic studies, SE "Ukrmetrtteststandard", Str. Metrology, 4, Kiev, Ukraine, 03143, tel.: (044) 526-10-30, (044) 522-66-57, e-mail : iryna.levchuk.v@gmail.com

Голубец Ольга Вальерьевна – Кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-методическая лаборатория хроматографических исследований, ГП "Укрметртестстандарт", ул. Метрологическая, 4, г. Киев, 03143, тел.: (044) 5261030, e-mail: GolubetsOlga@yandex.ru

Holubec Olga – Candidate of agricultural sciences, the scientific-methodical laboratories chromatographic studies, SE "Ukrmetrtteststandard", Str. Metrology, 4, Kiev, Ukraine, 03143, tel (044) 5261030, e-mail: GolubetsOlga@yandex.ru

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Мазаєва, В. С. Исследование температур плавления и кристаллизации жиров методом дифференциальной сканирующей калориметрии / **В. С. Мазаєва, В. А. Голодняк, И. Н. Демидов, И. В. Левчук, О. В. Голубец** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 179-187. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.29.

Please cite this article as:

Mazaieva, V., Golodnyak, V., Demydov, I., Levchuk, I., Holubec, O. A study of temperature of melting and crystallization of fats by differential scanning calorimetry. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 179–187, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.29.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мазаєва, В. С. Дослідження температур плавлення і кристалізації жирів методом диференціальної скануючої калориметрії / **В. С. Мазаєва, В. О. Голодняк, І. М. Демидов, І. В. Левчук, О. В. Голубец** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 179-187. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.29.

АНОТАЦІЯ В даній статті наведені результати дослідження процесів плавлення і кристалізації бінарних жирових сумішей пальмового олеїна (ПО) і пальмового стеарину (ПС). Дослідження виконані методом диференціальної скануючої калориметрії (ДСК). Термічне поведінка сумішей було досліджено шляхом моніторингу пікової температури переходів. Результати показали, що тріацілгліцерольний склад має вплив на вигляд кривих плавлення.

Ключові слова: плавлення; кристалізація; тріацілгліцерольний склад; фазовий перехід; диференціальна скануюча калориметрія.

Поступила (received) 08.12.2016

УДК 66.094.942

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30

ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛІТИЧНА ТРАНСЕСТЕРИФІКАЦІЯ ТРИОЛЕАТУ ГЛІЦЕРИНУ В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Ю. Р. МЕЛЬНИК*, Р. О. СТАРЧЕВСЬКИЙ

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
*email: yurii.r.melnyk@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено реакцію трансестерифікації (алкоголізу) триолеату гліцерину бутан-1-олом у присутності гетерогенного каталізатора – оксиду феруму (II). Показано, що застосування ультразвукових коливань при температурі понад 373K істотно підвищує конверсію триолеату гліцерину порівняно із здійсненням реакції за таких самих умов, але без ультразвуку. Показано, що здійснення реакції при надлишковому тиску або із барботуванням азоту через реакційну суміш нівелює ефект від застосування ультразвукових коливань. Також показано, що попередня обробка каталізатора – оксиду феруму (II) – ультразвуковими хвилями є не ефективною.

Ключові слова: соняшникова олія, алкоголіз; трансестерифікація; триолеат гліцерину; бутан-1-ол; оксид феруму (II).

HETEROGENEOUS CATALYTIC TRANSESTERIFICATION OF GLYCEROL TRIOLEATE IN THE FIELD OF ULTRASONIC WAVES

YU. MELNYK, R. STARCHEVSKYI

Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The reaction transesterification of glycerol trioleate with butane-1-ol in the presence of a heterogeneous catalyst – ferric oxide (II) has been investigated. The effect of the previous ultrasonic treatment of catalyst and continuous ultrasound during transesterification reactions has been investigated. The using of ultrasonic vibrations in the temperature range 363–388K can increase the conversion of glycerol trioleate have been established. The application of ultrasonic vibrations at temperatures above 373K significantly increases the conversion of glycerol trioleate compared to the reaction under the same conditions but without ultrasound has been investigated. The application of ultrasonic vibrations at 383-388K can increase the conversion of glycerol trioleate from 59.2% to 69.6% and from 61.3% to 72.3% in accordance. The implementation reaction at excess pressure leads to a sharp decrease in conversion of glycerol trioleate compared to a process without ultrasound has been shown. The bubbling nitrogen through the reaction mixture eliminates the effect of the using of ultrasonic vibrations has been found. The conversion of glycerol trioleate while bubbling nitrogen in the field of ultrasonic waves is close to that which is achieved without the using of ultrasound. Pretreatment catalyst – ferric oxide (II) – ultrasonic waves are not effective has been established. The catalyst that has been treated with ultrasonic vibrations and kept 1–4 days, the act almost as a catalyst that not treated been of ultrasound, has been shown. Thus that the using of ultrasonic waves is an effective way to increase the activity of heterogeneous catalytic reactions transesterification has been established.

Keywords: sunflower oil; transesterification; butane-1-ol; glycerol trioleate; ferric oxide (II).

Вступ

На сьогодні основні промислові способи трансестерифікації рослинних олій ґрунтуються на взаємодії триолеату гліцерину із одноатомними спиртами при температурі 60-70°C і атмосферному тиску в присутності гомогенних лужних каталізаторів [1].

Основними перевагами таких каталізаторів є їхня порівняно низька собівартість і висока продуктивність. Проте, присутність води у сировині може спричинити омилення естерів, а вільні жирні кислоти можуть реагувати з утворенням мила. Тому при застосуванні лужних каталізаторів необхідно використовувати осушену рослинну олію з вмістом вільних жирних кислот не більше ніж 0,5 мас. % та безводний спирт [2, 3]. Такі вимоги істотно обмежують застосування такої сировини, як відпрацьований кулінарний жир, який значно дешевший, але містить понад 2 мас. % вільних жирних кислот [4].

Недоліками гомогенних лужних каталізаторів є значні енергозатрати, складність очищення гліцерину, необхідність нейтралізації каталізатора та необхідність очищення стічних вод [5, 6].

Використання гетерогенних каталізаторів дозволяє усунути недоліки, характерні для гомогенних каталізаторів [7-9]. Застосування гетерогенних каталізаторів у реакції трансестерифікації має такі переваги: простота відділення каталізатора від продуктів реакції, можливість його багаторазового використання, відсутність продуктів омилення, простий процес відділення естерів від гліцерину, відсутня необхідність нейтралізації каталізатора, значно знижується кількість стічних вод, а потреба їх очищення зводиться до мінімуму.

Відомо, що як гетерогенні каталізатори реакції трансестерифікації сировини з високим вмістом жирних кислот можна застосовувати стеарат цинку/SiO₂, MoO₃/ZrO₂, WO₃/ZrO₂, WO₃/ZrO₂-Al₂O₃,

MoO₃/SiO₂ та цинк етаноат/SiO₂. Для вказаних каталізаторів застосовували значний надлишок спирту (співвідношення спирт : олія – 18 : 1 (мол.)), температура реакції становила 197°C, а концентрація каталізатора – 3 мас. % [10].

В роботі [11] досліджено ряд гетерогенних каталізаторів трансестерифікації кокосової та пальмової олії, зокрема оксидів ZrO₂ і ZnO. Процес здійснювали при температурі 200°C, тиску 5,0 МПа та співвідношенні метанол : олія – 6 : 1 (мол.). Каталізатор після відділення і регенерації, відновлював початкову активність.

Відомо також, що гетерогенні каталізатори – катіоніт КУ-2-8 із іммобілізованими іонами металів та солі металів – у реакції трансестерифікації триолеату гліцерину (ТГ) спиртами C₂-C₄ є достатньо ефективними [12, 13, 16].

Ультразвукове (УЗ) випромінювання широко застосовується в процесах вилугування, екстрагування, турбулізації середовища з метою інтенсифікації масообміну, підвищення дисперсності твердих частинок та для інтенсифікації ряду хімічних реакцій [14].

Відомо, що використання кавітаційних пристроїв у технології виробництва біодизелю дозволяє значно скоротити час хімічної реакції, інтенсифікувати перемішування реакційної суміші, а також впливає на каталітичну активність каталізаторів [15]. Саме тому актуальним є дослідження процесу трансестерифікації ТГ бутан-1-олом в полі УЗ хвиль з використанням гетерогенних каталізаторів.

Мета та завдання досліджень

Метою досліджень є вивчення процесу трансестерифікації ТГ соняшникової олії бутан-1-олом в полі УЗ коливань у присутності гетерогенного каталізатора FeO та визначення оптимального способу обробки УЗ хвилями дослідженого каталізатора та реакційної суміші.

Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували соняшкову олію (ДСТУ 4492:2005), бутан-1-ол (ГОСТ 5208-81) і каталізатор – оксид феруму (II).

Процесу трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом (БС) досліджували при мольному співвідношенні БС : ТГ – 10 : 1, вмісті каталізатора – 2 мас. %, температурі – 363-388К і тиску – 101,3-303,9 кПа на трьох лабораторних установках:

1) установка, у якій досліджували процес трансестерифікації ТГ БС при атмосферному тиску, складалася з електричної плити, гліцеринової бані та круглодонної колби, обладнаної зворотним холодильником, мішалкою та термометром;

2) установка, у якій досліджується процес трансестерифікації ТГ БС під дією УЗ при

атмосферному тиску, складалася зі скляного реактора, обладнаного зворотнім холодильником, кавітатором та термометром. Температуру в реакторі підтримували за допомогою термостату, що забезпечувало точність її регулювання;

3) установка, у якій досліджували процес трансестерифікації ТГ БС під дією УЗ при надлишковому тиску, складалася з металічного реактора, обладнаного кавітатором, зворотним холодильником та пробовідбірником. Температуру в реакторі підтримували за допомогою термостату, а контролювали термопарою. Надлишковий тиск в реакторі створювали подачею в реактор азоту із балону.

В усіх випадках у реактор чи колбу завантажували олію та БС в розрахункових кількостях, а потім вносили каталізатор FeO. Кожні 30 хв з реакційної суміші відбирали проби, в яких хроматографічно визначали вміст спирту та розраховували його конверсію та конверсію ТГ.

Для аналізів застосовували хроматограф "Цвет-100" з детектором по теплопровідності. Довжина колонки становила 2 м, а її діаметр – 3 мм. Колонка була заповнена нерухою фазою 5% Silicone SE30 на Chromaton N-AW. Як газ-носії застосовували гелій, його витрата становила – 3 дм³/год; сила струму на детекторі – 140 мА; об'єм аналізованої проби – 2 мкл. Температура випарника становила 498К, температура детектора – 483К. Температура колонки становила 373К [16].

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження впливу температури реакції на конверсію олії здійснювали в діапазоні 363К–388К (рис. 1, 2), як каталізатор використовували FeO. Дослідження здійснювали за відсутності УЗ коливань.

Встановлено, що із збільшенням температури швидкість реакції трансестерифікації та конверсія ТГ, що досягається за однаковий час, зростають.

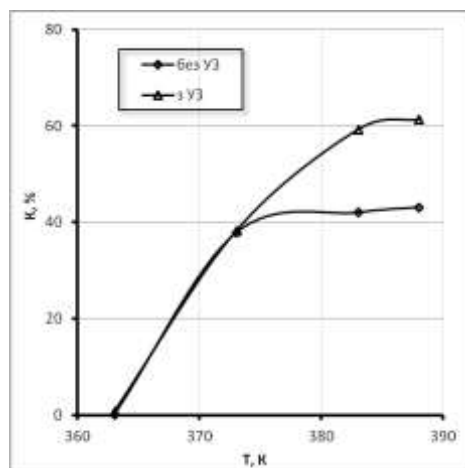


Рис. 1. – Вплив УЗ коливань на конверсію ТГ при різних температурах. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %, час – 30 хв

Як видно з рис. 1 і 2, підвищення температури реакції веде до зростання конверсії олії, причому в перші 30 хв істотне підвищення конверсії спостерігається в температурному діапазоні 363-373К, а після 150 хв реакції – в діапазоні 373-388К.

Отримані результати, можуть свідчити про те, що на 30 хв в реакцію вступає перша естерна група ТГ. Враховуючи, що заміщення по першій естерній групі відбувається досить легко, можна припустити, що підвищення температури понад 373К мало впливає на швидкість реакції заміщення першої групи. Разом з тим, на глибших стадіях реакції (150 хв) підвищення температури понад 373К дозволяє збільшити реакційну здатність другої естерної групи у ТГ.

Для хімічних реакцій, що відбуваються в полі УЗ хвиль характерним є те, що з підвищенням температури хоча і підвищується швидкість тепловування рідини і полегшується виникнення кавітації, однак ефективність запліскування кавітаційних бульбашок зменшується [15]. Залежність швидкості звукохімічної реакції від температури має максимум, положення якого залежить від фізико-хімічних характеристик субстрату та тиску.

Тому було досліджено вплив УЗ хвиль на процес трансестерифікації ТГ БС (рис.1, 2).

Як видно з рис. 1, на 30 хв реакції у діапазоні температур 363-373К УЗ практично не впливає на швидкість реакції, проте при підвищенні температури понад 373К спостерігається істотне збільшення конверсії.

Можна припустити, що дія УЗ при підвищених температурах активує естерні групи ТГ і полегшує трансестерифікацію другої естерної групи в молекулі.

Як видно з рис. 2, на 150 хв реакції ультразвукові коливання дозволяють підвищити конверсії олії у всьому дослідженому діапазоні температур 363-388К. Але як і за 30 хв реакції найбільш виражена зміна конверсії спостерігається починаючи з 373К.

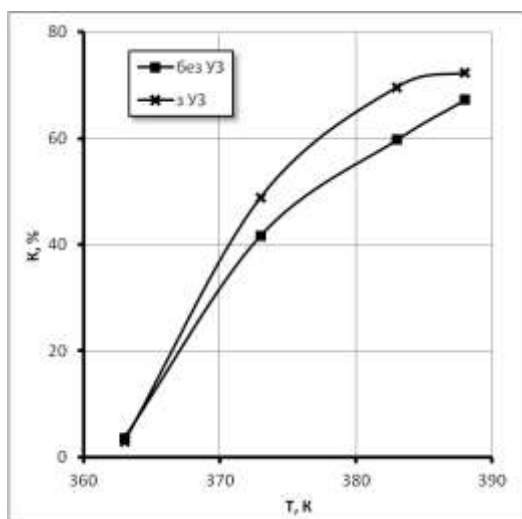


Рис. 2 – Вплив УЗ коливань на конверсію ТГ при різних температурах. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %, час – 150 хв

Отже, максимальний вплив УЗ коливань на конверсію ТГ спостерігається в діапазоні температур 373-388К.

Тиск також впливає на ефективність кавітаційних процесів: інтенсивність кавітації з підвищенням тиску спочатку зростає, проходить через максимум, а при його подальшому підвищенні кавітація може повністю зникнути [15].

Як видно з табл. 1, при температурі 363К підвищення тиску з 101,3 кПа до 202,6 кПа приводить до збільшення конверсії олії, а подальше збільшення тиску до 303,9 кПа на конверсію ТГ практично не впливає.

При температурах 373К та 383К застосування підвищеного тиску навпаки зумовлює значне зниження конверсії триолеату гліцерину. Можна зробити припущення, що збільшення тиску у досліджуваному процесі негативно впливає на утворення кавітаційних центрів в реакційній системі і нівелює ефект від ультразвукового випромінювання.

Таблиця 1 – Вплив тиску на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації у присутності каталізатора FeO в полі УЗ хвиль. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %

Температура, К	Тиск, кПа	Конверсія триолеату гліцерину, %	
		30 хв	150 хв
363	101,3	0,7	3,0
	202,6	1,2	17,0
	303,9	3,6	17,8
373	101,3	38,2	48,9
	202,6	3,7	9,3
	303,9	1,2	5,2
383	101,3	59,2	69,6
	202,6	16,8	50,8
	303,9	7,4	39,5

Відомо, що для підсилення явища кавітації викликаного дією УЗ, через реакційну суміш барботують інертний газ [15].

Як видно з табл. 2, барботування через реакційну суміш азоту у полі УЗ коливань при 383 призводить до істотного зниження конверсії сировини. Тому, для досліджених умов застосування барботування інертного газу не може бути ефективним способом підвищення конверсії триолеату гліцерину.

Таблиця 2 – Вплив барботування азоту на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації у присутності FeO в полі УЗ випромінювання. Співвідношення БС : ТГ – 10:1 (мол.), вміст каталізатора – 2 мас. %, температура – 383К

Умови	Конверсія триолеату гліцерину, %	
	30 хв	150 хв
УЗ	59,2	69,6
Без УЗ	42,1	59,7
УЗ/N ₂	43,1	60,2

Оскільки попередня ультразвукова обробка

гетерогенних каталізаторів веде до зростання їх каталітичної активності на 10-40 % [15], було досліджено трансестерифікацію ТГ БС у присутності попередньо обробленого УЗ хвилями оксиду феруму (II). Каталізатор попередньо обробляли УЗ у водному розчині 15 хв, висушували і вносили на реакцію.

Встановлено, що обробка оксиду феруму (II) ультразвуком практично не впливає на конверсію олії. Застосування свіжого каталізатора (1 доба після обробки) та каталізатора, який зберігався протягом 4 діб на конверсію триолеату гліцерину практично не впливає (табл. 5).

Таблиця 5 – Вплив попередньої обробки оксиду феруму (II) УЗ на конверсію ТГ в реакції трансестерифікації. Співвідношення БС : ТГ – 10 : 1 (мол.), температура – 383К, вміст каталізатора – 2 мас. %.

Час, хв	Спосіб обробки каталізатора			
	Без УЗ	1 доба	4 доби	Постійна дія УЗ
30	12,8	8,9	8,9	59,2
150	34,8	34,9	32,2	69,6

Загалом, можна припустити, що дія УЗ коливань деформує каталітичну ґратку оксиду феруму (II) і веде до появи нових центрів каталізу, однак час їх існування є достатньо малим і при контакті каталізатора з повітрям ці центри втрачають свою активність.

Висновки

Встановлено, що застосування ультразвуку дозволяє підвищити конверсію ТГ на 10-35%, причому яскраво виражене збільшення конверсії спостерігається, починаючи з температури 383 К. Можна зробити висновок, що збільшення тиску нівелює ефект від використання УЗ хвиль, ймовірно, за рахунок негативного впливу на процес утворення кавітаційних центрів. Також показано, що барботування азоту крізь реакційну суміш зменшує ефективність дії УЗ хвиль. Дослідження показали, що попередня обробка оксиду феруму (II) УЗ практично не впливає на конверсію ТГ. Застосування обробленого УЗ каталізатора після його зберігання протягом 1-4 діб не впливає на його каталітичну активність.

Список літератури

1. **Frascari, D.** A pilot-scale study of alkali-catalyzed sunflower oil transesterification with static mixing and with mechanical agitation / **D. Frascari, M. Zuccaro, D. Pinelli, A. Paglianti** // *Energy Fuel*. – 2008. – V.22, № 3. – P.1493-1501. – doi: 10.1021/ef700584h.
2. **Freedman, B.** Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils / **Freedman, B., Pryde, E.H. Mounts, T.L.** // *J. Am. Oil Soc. Chem.* – 1984. – № 61. – P. 1638-1643. – doi: 10.1007/BF02541649.
3. **Pat. 4698186A US**, int. C11 C3/04, C11 C3/10. Process for the pre-esterification of free fatty acids in fats and oils / **Jeromin L., Peukert E., Wollmann G.**; applicant and holder – Henkel Kommanditgesellschaft Auf Aktien – №US

- 06/821,109; filing date 21.01.1986; publication date 06.10.1987.
4. **Watanabe, Y.** Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixedbed bioreactor / **Y. Watanabe, Y. Shimada, A. Sugihara, Y. Tominaga** // *J. Am Oil Soc. Chem.* – 2001. – V. 78 (2). – P.703-707. – doi: 10.1007/s11746-001-0329-5.
5. **Fukuda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils / **H. Fukuda, A. Kondo, H. Noda** // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2001. – Vol. 92, №5. – P. 405-416. – doi: 10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
6. **Macaira, J.** Biodiesel production using supercritical methanol/carbon dioxide mixtures in a continuous reactor / **J. Macaira, A. Santana, F. Recasens, M. Angeles Larrayoz** // *Fuel*. – 2011. – V. 90. – P. 2280-2288. – doi: 10.1016/j.fuel.2011.02.017.
7. **Endalew, A. K.** Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO) / **A. K. Endalew, Y. Kiros, R. Zanzi** // *Energy*. – 2011. – V. 36, №5. – P. 2693-2700. – doi: 10.1016/j.energy.2011.02.010.
8. **Yan, S.** Advancements in heterogeneous catalysis for biodiesel synthesis / **S. Yan, C. DiMaggio, S. Mohan, M. Kim, S.O. Salley** // *Top Catal.* – 2010. – V. 53, №11. – P. 721-736. – doi: 10.1007/s11244-010-9460-5.
9. **Helwani, Z.** Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review / **Z. Helwani, M. R. Othman, N. Aziz, W. J. N. Fernando, J. Kim** // *Fuel Process Technol.* – 2009. – V. 90, №12. – P. 1502-1514. – doi: 10.1016/j.fuproc.2009.07.016.
10. **Jacobson, K.** Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil / **K. Jacobson, R. Gopinath, L. Ch. Meher, A. K. Dalai** // *Applied Catal. B: Environ.* – 2008. – № 85. – P. 86-91. – doi: 10.1016/j.apcatb.2008.07.005.
11. **Jitputti, J.** Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut by different solid catalysts / **J. Jitputti, B. Kitiyanan, P. Rangsunvigit, K. Bunyakiat, L. Attanatho, P. Jenvanitpanjakul** // *Chem. Ing. J.* – 2006. – V.116 (1). – P.61-66. – doi: 10.1016/j.cej.2005.09.025.
12. **Мельник, Ю. Р.** Переробка рослинних олій шляхом їх алкохолізу ізопропіловим спиртом / **Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник, З. Ю. Палюх та ін.** // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. – 2015. – №25.3. – С. 135-139.
13. **Мельник, Ю. Р.** Алкохоліз тригліцеридів етанолом у присутності катіоніту КУ-2-8, модифікованого іонами металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палюх, С. Р. Мельник** // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. – 2015. – №3. – С. 78-82.
14. **Шевчук, Л. І.** Кавігація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти: монографія / **Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський** // *Львів: Видавництво Львівської політехніки*. – 2014. – 376 с.
15. Ultrasonic Processors for Biodiesel Production. – [Web]: http://www.hielscher.com/biodiesel_transesterificat_01.htm.
16. **Мельник, Ю. Р.** Каталіз трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом солями двовалентних металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палюх, М. В. Кузик та ін.** // *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. – 2016. – №5. – С. 32-37.

Bibliography (transliterated)

1. **Frascari, D., Zuccaro, M., Pinelli, D., Paglianti, A.** A pilot-scale study of alkali-catalyzed sunflower oil transesterification with static mixing and with mechanical

- agitation. *Energy Fuel*, 2008, **22**(3), 1493-1501, doi: 10.1021/ef700584h.
- Freedman, B., Pryde, E. H., Mounts, T. L.** Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J. Am. Oil Soc. Chem.*, 1984, **61**, 1638-1643, doi: 10.1007/BF02541649.
 - Pat. 4698186A US**, int. C11 C3/04, C11 C3/10. Process for the pre-esterification of free fatty acids in fats and oils / **Jeromin, L., Peukert, E., Wollmann, G.** // applicant and holder – Henkel Kommanditgesellschaft Auf Aktien – № US 06/821, 109; filing date 21.01.1986; publication date 06.10.1987.
 - Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., Tominaga, Y.** Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixedbed bioreactor. *J. Am Oil Soc. Chem.*, 2001, **78** (2), 703-707, doi: 10.1007/s11746-001-0329-5.
 - Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2001, **92**(5), 405–416, doi: 10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
 - Macaira, J., Santana, A., Recasens, F., Larrayoz Angeles M.** Biodiesel production using supercritical methanol/carbon dioxide mixtures in a continuous reactor. *Fuel*, 2011, **90**, 2280-2288, doi: 10.1016/j.fuel.2011.02.017.
 - Endalew, A. K., Kiros, Y., Zanzi, R.** Heterogeneous catalysis for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil (JCO). *Energy*, 2011, **36** (5), 2693-2700, doi: 10.1016/j.energy.2011.02.010.
 - Yan, S., DiMaggio, C., Mohan, S., Kim, M., Salley, S.O.** Advancements in heterogeneous catalysis for biodiesel synthesis. *Top Catal.*, 2010, **53** (11), 721-736, doi: 10.1007/s11244-010-9460-5.
 - Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Fernando, W. J. N., Kim, J.** Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review, *Fuel Process Technol.*, 2009, **90** (12), 1502-1514, doi: 10.1016/j.fuproc.2009.07.016.
 - Jacobson, K., Gopinath, R., Meher, L. Ch., Dalai, A. K.** Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil. *Applied Catal. B: Environ.*, 2008, **85**, 86-91, doi: 10.1016/j.apcatb.2008.07.005.
 - Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L., Jenvanitpanjakul, P.** Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut by different solid catalysts. *Chem. Ing. J.*, 2006, **116** (1), 61-66, doi: 10.1016/j.cej.2005.09.025.
 - Melnyk, Yu. R., Melnyk, S. R., Palyukh, Z. Yu.** та in. Pererobka roslynnykh oliy shlyakhom yikh alkoholizu izopropilovym spirtom [Processing of vegetable oils by alcoholysis of isopropyl alcohol] *Naukovy visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, 2015, **25**(3), 135–139.
 - Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Melnyk, S. R.** Alkoholiz tryhlytserydnyv etanolom u prysutnosti kationitu KU-2-8, modyfikovanoho ionamy metaliv. [Alcoholism triglycerides ethanol in the presence of KU-2-8 cation modified metal ions] *Visnyk Skhidnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya*, 2015, **3**, 78–82.
 - Shevchuk, L. I., Starchevskyy, V. L.** Kavitatsiya. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty: monohrafiya [Cavitation. Physical, chemical, biological and technological aspects: monograph]. *Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoyi politekhniki*, 2014, 376 p.
 - Ultrasonic Processors for Biodiesel Production. [Web] https://www.hielscher.com/biodiesel_transesterificat_01.htm
 - Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Kuzyk, M. V. та in.** Kataliz transesterifikatsiyi tryoleatu hlytserynu butan-1-olom solyamy dvovalentnykh metaliv. *Visnyk Skhidnoukrayinskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalya*, 2016, **5**, 32–37.

Відомості про авторів (About authors)

Мельник Юрій Романович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Yurii – Candidate of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Старчевський Роман Олегович – студент, Національний університет «Львівська політехніка», студент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (098) 719-58-25; e-mail: star_roma@ukr.net.

Starchevskiy Roman – Student, National University Lviv Polytechnic, Student at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (098) 719-58-25; e-mail: star_roma@ukr.net.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Мельник, Ю. Р. Гетерогенно-каталітична трансестерифікація триолеату гліцерину в полі ультразвукових хвиль / **Ю. Р. Мельник, Р. О. Старчевський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 188-192. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

Please cite this article as:

Melnyk, Yu., Starchevskiy, R. Heterogeneous catalytic transesterification of glycerol trioleate in the field of ultrasonic waves. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 188–192, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мельник, Ю. Р. Гетерогенно-каталитическая переэтерификация триолеата глицерина в поле ультразвуковых волн / **Ю. Р. Мельник, Р. О. Старчевский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 188-192. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.30.

АННОТАЦІЯ Исследовано реакцію алкоголіза триолеат гліцерина бутан-1-олом в присутстві гетерогенного каталізатора – оксида заліза (II). Показано, що застосування ультразвукових коливань при температурі вище 373К суттєво підвищує конверсію триолеат гліцерина по порівнянню з здійсненням реакції при тих же умовах, але без ультразвуку. Показано, що проведення реакції при надмірному тиску або з барботуванням азоту через реакційну суміш нивелює ефект від застосування ультразвукових коливань. Також показано, що попередня обробка каталізатора – оксида заліза (II) – ультразвуковими хвилями є не ефективною.

Ключевые слова: подсолнечное масло; алкоголиз; бутан-1-ол; триолеат глицерина; оксид железа (II).

Надійшла (received) 14.12.2016

УДК 665.36

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.31

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОСКОПОДОБНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ю. Е. ОМЕЛЬЧЕНКО*, И. Н. ДЕМИДОВ

Кафедра технологии жиров и продуктов брожения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

**email: puntterra@yandex.ua*

АННОТАЦИЯ В статье представлены результаты исследования качественных показателей воскоподобных веществ извлеченных из вторичных продуктов производства растительного масла методом контактной экстракции с использованием в качестве растворителей гексан и сивушное масло. Проанализирован качественный состав исследуемых образцов методом газовой хроматографии. Исследованы основные качественные показатели воскоподобных веществ и проведена сравнительная характеристика с промышленными аналогами.

Ключевые слова: воскоподобные вещества; хроматография; дифференциальная сканирующая калориметрия; температура плавления

QUALITY INDICATORS WAXLIKE SUBSTANCES

J. OMELCHENKO, I. DEMIDOV

Department of Technology of fats and fermented products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article presents the results of qualitative research wax-like substances extracted from recycled vegetable oil production by extraction of the contact using hexane as a solvent and fusel oil. The aim of this work is to determine the physical and chemical indicators obtained wax-like substances. To address this goal the study used the method of gas chromatography, differential scanning calorimetry and the traditional chemical analysis methods. We analyzed by gas chromatography qualitative composition of the test samples, allowing identify more than 90% of wax esters. Installed temperature melting wax-like substances of the samples by methods of open capillary and differential scanning calorimetry, which amounted to 81°C and 73,5°C for hexane and fusel oil, respectively. The basic physical and chemical characteristics of wax-like substances, namely, acid number, saponification number, the essential number and iodine number. The comparative characteristic of physical-chemical indicators of the samples wax-like substance with industry peers. Comparative characteristics showed that the content of related substances in the test samples did not exceed the permissible values in comparison with beeswax and wax derived from the husks of sunflower seeds.

Keywords: waxy substances; chromatography; differential scanning calorimetry; the melting temperature.

Введение

На сегодняшний день усовершенствованию технологий масложировой отрасли уделяется большое внимание. Одним из распространенных направлений является снижение отходов производства и разработка способов максимального выделения из них ценных веществ.

В процессе рафинации подсолнечного масла в качестве отхода производства получают отработанный фильтровальный порошок на стадии вымораживания. Данный вторичный продукт представляет собой смесь ценных компонентов, таких как фильтровальный порошок, растительное масло и воскоподобные вещества.

Воскоподобные вещества представляют собой сложную смесь сопутствующих веществ, принадлежащих различным классам органических соединений. Основным компонентом этой смеси являются воски – сложные эфиры высших жирных кислот и высших одноатомных (реже двухатомных) спиртов [1]. К остальным сопутствующим можно отнести такие соединения, как высшие свободные жирные кислоты, углеводороды, лактоны, стеролы, стериды, алифатические спирты и некоторые другие

соединения.

Использование восков в различных отраслях промышленности очень разнообразно. Например, в кондитерской промышленности для образования влагонепроницаемого слоя за счет чего увеличивается срок хранения изделий [2-3]; в косметических препаратах; в медицине; в качестве защитных композиций для дерева, металлов, ткани, электроизоляционных покрытий, бумаги и т.д. [4-6]. Однако, для использования восков в качестве компонентов смесей, их могут модифицировать, для придания необходимых свойств, тем самым расширяя область применения. Поэтому определение состава и основных характеристик воскоподобных веществ, выделенных из вторичных продуктов масложировой отрасли является важным и актуальным.

Среди различных методов для определения состава и основных характеристик восков наиболее эффективными считаются хроматографические и спектрометрические методы анализа.

Методы спектроскопии используемые для характеристики восков, такие как метод инфракрасной спектроскопии с обратным Фурье-преобразованием интерферограммы излучения

© Ю. Е. ОМЕЛЬЧЕНКО, И. Н. ДЕМИДОВ, 2016

(спектроскопія FTIR) [7], дозволяє індефіцировать тільки основні характерні групи.

Однак, хроматографічні методи аналізу, засновані на принципі розділення, наприклад рідкофазна хроматографія [8], надкритична газова хроматографія [9], газова хроматографія пламено-іонізаційного виявлення (GC-FID) [10] і інші, дозволяють більш повно визначити склад складних сумішей. Для того, щоб одночасно ідентифікувати і визначити кількісний вміст різних компонентів складної суміші частіше за все використовують газову хроматографію і мас-спектрометрію [11]. Іноді для деяких компонентів воску, таких як жирні кислоти і жирні спирти, вимагається дериватизація для більш ефективного їх визначення [12].

В даному дослідженні для визначення якісних показувачів і характеристик воскоподібних речовин, вилучених з обробленого фільтрувального порошку, використано метод газової хроматографії, метод диференціальної скануючої калориметрії і традиційні хімічні методи аналізу.

Цель работы

Ціллю проведеної роботи є визначення фізико-хімічних показувачів воскоподібних речовин, вилучених з обробленого фільтрувального порошку контактним методом екстракції з використанням різних розчинників.

На основі поставленої цілі дослідження сформульовані і розв'язані наступні задачі:

- визначити якісний склад

воскоподібних речовин з використанням методу газової хроматографії;

- дослідити процеси плавлення і кристалізації воскоподібних речовин методами диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) і відкритого капелюра [13];

- визначити найважливіші хімічні показувачі воскоподібних речовин, такі як кислотне число, число омилення, ефірне число, йодне число.

Изложение основного материала

На основі раніше отриманих експериментальних даних [14] встановлено раціональні умови процесу екстракції і кристалізації з використанням в якості розчинників гексану і сивушного масла, а саме:

- три ступені екстракції;
- співвідношення оброблений фільтруючий порошок – розчинник 1:3;
- тривалість процесу екстракції 30 хв;
- температура кристалізації 20 °С;
- час кристалізації 24 ч.

Дані умови дозволяють вилучити більш ніж 90% воскоподібних речовин. В восках, виділених з вторинних продуктів масложирової галузі, описаним вище способом, далі визначали склад і основні якісні характеристики.

На першому етапі дослідження визначено якісний і кількісний склад отриманих воскоподібних речовин з використанням різних розчинників методом газової хроматографії. Результати дослідження представлені на рис. 1.

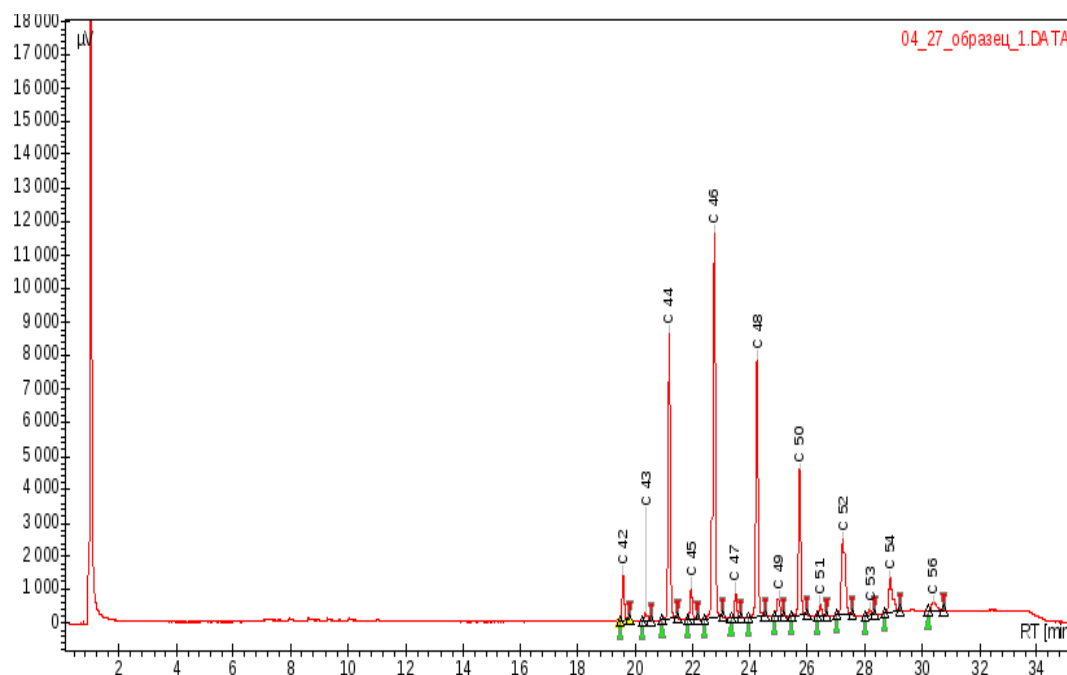


Рис. 1 – Хроматограма воскоподібних речовин, вилучених з використанням гексану

На основании полученных результатов (рис.1), можно сделать вывод, что воскоподобные вещества, извлеченные с использованием гексана и сивушного масла, практически идентичны и обеспечивают разделение сложных эфиров восков в пределах времени выполнения анализа 31 мин.

Восковые эфиры разделены на капиллярной колонкой в соответствии с их точками кипения. Концентрация сложных эфиров с нечётным числом атомов С от С43 до С53, гораздо ниже, чем сложных эфиров, с чётным числом атомов С от С42 до С56.

В ходе анализа определили более 90% от общего количества восковых эфиров. Среди присутствующих в исследуемых образцах эфиров

восков, С44 и С46 является преобладающим.

Одним из важнейшим качественным показателем воскоподобных веществ, который и определяет его область применения, является температура плавления. Поэтому на следующем этапе исследования определены температура плавления каждого полученного образца методом открытого капилляра и исследованы термические процессы плавления и кристаллизации методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Графики ДСК воскоподобных веществ, извлеченных гексаном и сивушным маслом, представлены на рис. 2 и рис. 3. соответственно.

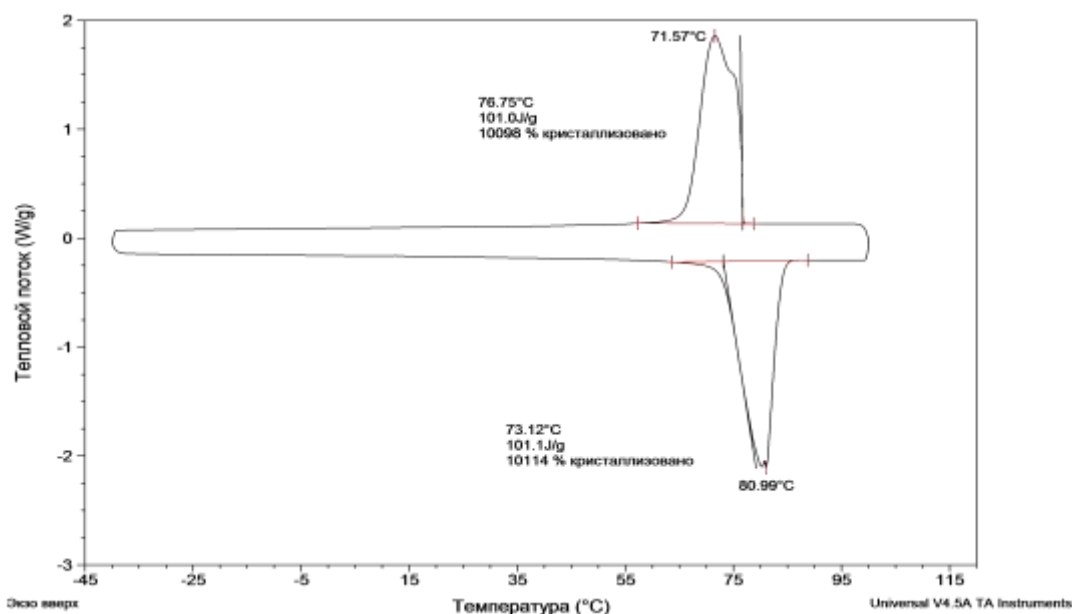


Рис. 2 – График ДСК процесса плавления и кристаллизации воскоподобных веществ, извлеченных гексаном

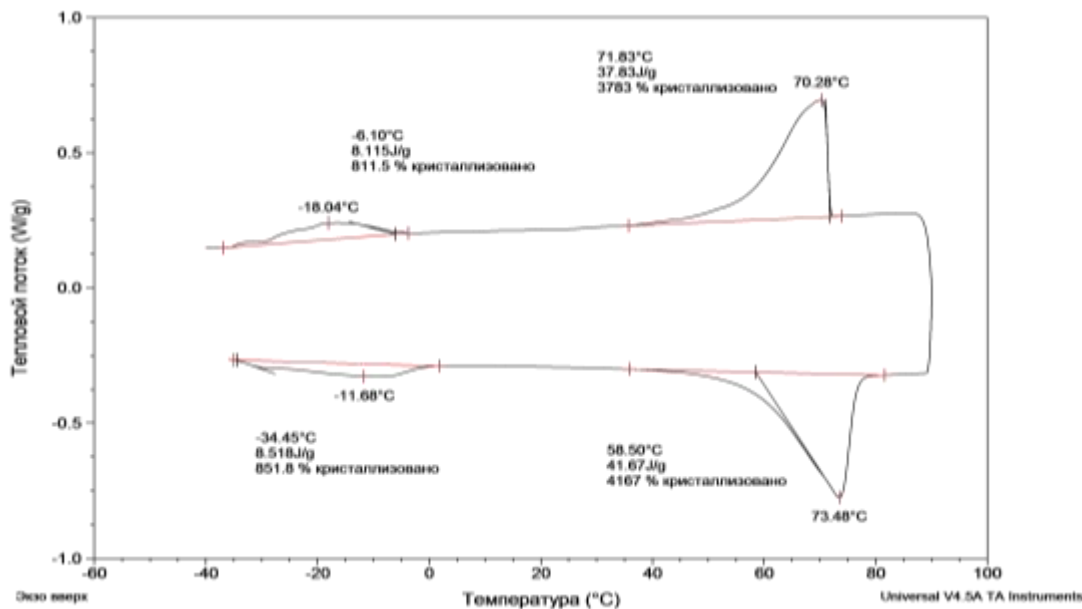


Рис. 3 – График ДСК процесса плавления и кристаллизации воскоподобных веществ, извлеченных сивушным маслом

Из рис. 2 и рис. 3 видно, что температура плавления и кристаллизации воскоподобных веществ, полученных с использованием в качестве растворителя гексана и сивушного масла отличаются. Это объясняется разной природой растворителей и различным количеством масла, оставшегося в

образцах.

Температуры плавления полученных образцов также определили методом открытого капилляра. Результаты исследования температур плавления и кристаллизации по обоим методам представлены в табл. 3.

Таблица 1 – Температуры плавления и кристаллизации воскоподобных веществ методами ДСК и открытого капилляра

Образец	Температура плавления по ДСК, °С	Температура плавления по методу открытого капилляра, °С	Температура кристаллизации, °С
Воскоподобные вещества извлеченные гексаном	81	79	71,5
Воскоподобные вещества извлеченные сивушным маслом	73,5	73	70

Полученные данные (табл. 1), свидетельствуют о том, что воскоподобные вещества исследуемых образцов имеет температуру плавления значительно выше, по сравнению с температурой плавления пчелиного воска (63–69 °С) [15] и воска, полученного из лузги семян подсолнечника (65–70 °С) [16]. Это значительно расширяет область их применения.

Воскоподобные вещества, полученные экстракцией из отработанного фильтрующего порошка с использованием в качестве растворителей гексана и сивушного масла, проанализировали

химическими методами исследования, а именно: определили кислотное число, число омыления, эфирное число, йодное число.

В косметической и кондитерской промышленности чаще всего применяют животные и растительные воски. Поэтому важно сравнить физико-химические показатели исследуемых образцов воскоподобных веществ с промышленными аналогами. Сравнительная характеристика представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика полученных образцов воскоподобных веществ с промышленными аналогами

Показатели	Воскоподобные вещества извлеченные гексаном	Воскоподобные вещества извлеченные сивушным маслом	Пчелиный воск	Воск полученный из лузги семян подсолнечника
Кислотное число, мг КОН/г	7	10	17-21	2-17
Число омыления, мг КОН/г	109	112	85-101	100-117
Эфирное число, мг КОН/г	102	107	71-83	98-107
Йодное число, г йода в 100 г воска	8	15	9-20	110-124
Температура плавления, °С	81	73,5	63-69	65-70
Температура кристаллизации, °С	71,5	70	60-63	70-73

Химический метод контроля показал (табл.2), что исследуемые образцы воскоподобных веществ содержат сопутствующие вещества в допустимых пределах по сравнению с промышленными аналогами.

Выводы

В ходе проведенного эксперимента определили качественные показатели воскоподобных веществ извлеченных из отработанного фильтровального порошка контактным методом экстракции с

использованием в качестве растворителей гексан и сивушное масло.

Показана возможность идентификации состава воскоподобных веществ с использованием газовой хроматографии, которое составило более 90% от общего количества восковых эфиров. Среди присутствующих в исследуемых образцах эфиров восков, С44 и С46 является преобладающим.

Определена температура плавления воскоподобных веществ исследуемых образцов методом дифференциальной сканирующей калориметрии и открытого капилляра, которая

составила 81°C и 73,5°C для гексана и сивушного масла соответственно. Данный показатель выше, по сравнению с температурой плавления пчелиного воска и воска, полученного из лузги семян подсолнечника, что дает возможность расширить их область применения.

С помощью химических методов контроля определили показатели воскоподобных веществ, а именно: кислотное число, эфирное число, йодное число и число омыления. Проведена сравнительная характеристика показателей полученных воскоподобных веществ с пчелиным воском и воском, полученным из лузги семян подсолнечника, которая показывает, что содержание сопутствующих веществ находится в допустимых пределах.

Список литературы

- 1 **О'Брайен, Р.** Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / **Р. О'Брайен, В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. Селивановой, Н. В. Магды** – СПб.: *Профессия*. – 2007. – С. 66–68.
- 2 **Маршалкіна, Г. А.** Технологія кондитерських виробів / **Г. А. Маршалкіна** – М.: Харчова промисловість. – 1988. – 445 с.
- 3 **Лур'є, І. С.** Технологія і технохімічний контроль кондитерського виробництва / **І. С. Лур'є** – М.: Легка та харчова промисловість. – 1987. – 328 с.
- 4 **Боровская, Л. В.** Применение природных и синтетических восков в качестве теплоаккумулирующих материалов / **Л. В. Боровская, С. Г. Шабалина, В. Н. Данилин**. – М.: Наука и техника. – 1996. – С. 45–52.
- 5 **Ивановский, Л. Е.** Энциклопедия восков / **Л. Е. Ивановский**. – Л.: Гостоптехиздат. – 1956. – Т. 1. – 147 с.
- 6 **Kolattu-kuda, P. E.** Chemistry and biochemistry of natural waxes / **P. E. Kolattu-kuda** – Amst. – 1976. – 147 p.
- 7 **Odlyha, M.** Investigation of the binding media of paintings by thermoanalytical and spectroscopic techniques / **M. Odlyha** // *Thermochimi Acta*. – 1995. – № 269 – P. 705–727
- 8 **Asperger, A.** Thermally assisted hydrolysis and methylation – a simple and rapid online derivatization method for the gas chromatographic analysis of natural waxes / **A. Asperger, W. Engewald, G. Fabian** // *J Anal Appl Pyrol.* – 2001. – № 61. – P. 91–109. – doi: 10.1016/S0165-2370(01)00116-4.
- 9 **Hamilton, R. J.** Waxes: chemistry, molecular biology and functions / **R. J. Hamilton** *The Oily Press*, Dundee. – 1995. – P. 90–163.
- 10 **Marinach, C.** Identification of binding media in works of art by gas chromatography–mass spectrometry / **C. Marinach, M. C. Papillon, C. Pepe** // *J Cult Herit* – 2004. – № 5 – P. 231–240. – doi: 10.1016/j.culher.2003.12.002.
- 11 **Regert, M.** Characterization of wax works of art by gas chromatographic procedures / **M. Regert, S. Colinart, L. Degrand** // *J Chromatogr A*. – 2005. – № 1091. – P. 124–240. – doi: 10.1016/j.chroma.2005.07.039.
- 12 **Grob, K.** Recognition of adulterated oils by direct analysis of the minor components / **K. Grob, A. M. Giuffré, U. Leuzzi, D. Mincione** // *Fat Sci Tech* – 1994. – № 98 – P. 286–290.

- 13 **ДСТУ ISO ISO 6321:2003.** Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення точки плавлення у відкритому каплярі (точка плинину) – [Чинний від 11.06.2003]. – К.: Держспоживстандарт України. – 2004. – 18 с. – (Національний стандарт України)
- 14 **Омельченко, Ю. Е.** Извлечение липидов из отработанного фильтрующего порошка методом контактной экстракции / **Ю. Е. Омельченко, И. Н. Демидов** // *Вестник НТУ «ХПИ»* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – №19 (1191). – С. 57 – 62.
- 15 **ДСТУ 4667:2006.** Віск бджолиний промисловий. Технічні умови. – [Чинний від 15.08.2006]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с. – (Національний стандарт України).
- 16 **Белькович, П. И.** Воск и его технические аналоги / **П. И. Белькович, Н. Г. Голованов** – Минск: Наука и техника – 1980. – 176 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **O'Brien, R., Shirokov, V. D., Babeykinoy, D. A. Selivanova, N. S., Magda, N. V.** Fats and oils. Production, composition and properties, use. SanctPeterburg: *Occupation*, 2007, 66–68.
- 2 **Marshalkina, G. A.** Tehnology confectionery. Moscow: *Nutritive promislovist*, 1988, 445 p.
- 3 **Lur'e, I. S.** Technology and Chemical Control confectionery. *Moskow: Light is the nutritive promislovist*, 1987, 328 p.
- 4 **Bohr, L. V., Shabalin, S. M., Danilin, V. N.** Application of natural and synthetic waxes as heat storage materials. Moscow: Science and Technology, 1996, 45–52.
- 5 **Ivanovo, L. E.** Encyclopedia waxes. Gostoptekhizdat, 1956, 147 p.
- 6 **Kolattu-kuda, P. E.** Chemistry and biochemistry of natural waxes. Amst., 1976, 147 p.
- 7 **Odlyha, M.** Investigation of the binding media of paintings by thermoanalytical and spectroscopic techniques. *Thermochimi Acta*, 1995, **269**, 705–727.
- 8 **Asperger, A., Engewald, W., Fabian, G.** Thermally assisted hydrolysis and methylation – a simple and rapid online derivatization method for the gas chromatographic analysis of natural waxes. *J Anal Appl Pyrol*, 2001, **61**, 91–109, doi: 10.1016/S0165-2370(01)00116-4.
- 9 **Hamilton, R. J.** Waxes: chemistry, molecular biology and functions. *The Oily Press*, Dundee, 1995, 90–163.
- 10 **Marinach, C., Papillon, M. C., Pepe, C.** Identification of binding media in works of art by gas chromatography–mass spectrometry. *J Cult Herit*, 2004, **5**, 231–240, doi: 10.1016/j.culher.2003.12.002.
- 11 **Regert, M., Colinart, S., Degrand, L.** Characterization of wax works of art by gas chromatographic procedures. *J Chromatogr A*, 2005, **1091**, 124–240, doi: 10.1016/j.chroma.2005.07.039.
- 12 **Grob, K., Giuffré, A. M.** Recognition of adulterated oils by direct analysis of the minor components. *Fat Sci Tech*, 1994, **98**, 286–290.
- 13 **Animal fats and oils and plant. Determination of melting point in open capillary (point flow) ISO 6321: 2003.** – [Effective as of 11.06.2003]. – Kyiv: *State Committee of Ukraine*, 2004 – 18. – (National Standard of Ukraine).
- 14 **Omelchenko, J. E., Demidov, I. N** Removing lipids from the spent filter powder extraction method of contact. *Vestnik NTU "KPI"*. – Kharkiv: NTU "KPI", 2016, **19**(1191), 57-62.
- 15 **Beeswax industrial. Specifications: ISO4667: 2006.**

[Effective as of 15.08.2006]. – K.: *State Committee of Ukraine*, 2007 18 – (National Standard of Ukraine)

- 16 **Bel'kovich, P. I., Golovanov, N. G.** Wax and its technical counterparts. Minsk: Science and Technology, 1980, 176 p.

Сведения об авторах (About authors)

Омельченко Юлия Евгеньевна – Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», преподаватель-стажер кафедры «Технология жиров и продуктов брожения», г. Харьков, Украина; тел.: (063) 880-88-90; e-mail: punterra@yandex.ru.

Omelchenko Julia Evgenievna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", trainee teacher the Department "Technology of fats and fermented foods", Kharkov, Ukraine; tel.: (063) 880-88-90; e-mail: punterra@yandex.ru.

Демидов Игорь Николаевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», профессор кафедры «Технология жиров и продуктов брожения», г. Харьков, Украина; тел.: (095) 185-32-67; e-mail: demigon@rambler.ru.

Demidov Igor Nikolaevich – doctor of technical sciences, professor, National Technical University "Kharkovsky Polytechnic Institute", Professor of the Department "Technology of fats and fermentation products", Kharkov, Ukraine; tel.: (095) 185-32-67

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Омельченко, Ю. Е. Качественные показатели воскоподобных веществ / **Ю. Е. Омельченко, И. Н. Демидов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 193-198. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.31.

Please cite this article as:

Omelchenko, J., Demidov, I. Quality indicators waxlike substances. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 193–198, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.31.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Омельченко, Ю. Є. Якісні показники воскоподібних речовин / **Ю. Є. Омельченко, І. М. Демідов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 193-198. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.31.

АНОТАЦІЯ У статті представлені результати досліджень якісних показників воскоподібних речовин отриманих з вторичних продуктів виробництва рослинного масла методом контактної екстракції з використанням в якості розчинників гексан та сивушне масло. Проаналізувавши якісний склад зразків, що досліджувались, методом газової хроматографії, досліджені основні якісні показники воскоподібних речовин та проведена порівняльна характеристика з виробничими аналогами.

Ключові слова: воскоподібні речовини; хроматографія; диференціальна скануюча калориметрія; температура плавлени.

Поступила (received) 11.12.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА ПРОТЯГОМ ФЕРМЕНТАЦІЇ

С. Ю. ПОПОВА*, А. В. СЛАЩЕВА

Кафедра технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, УКРАЇНА.

*email: rez_ok@mail.ru.

АНОТАЦІЯ У роботі доведена перспективність використання сухої картопляної добавки (СКД) із вторинних продуктів переробки картоплі (ВППК) в технологіях виробів із дріжджового тіста. Встановлено, що використання СКД поліпшує фізичні та структурно-механічні властивості дріжджового тіста під час розстоювання. Досліджено вплив добавки на зміни напруження зсуву та в'язкості зразків тіста із додаванням СКД залежно від тривалості розстоювання та сорту борошна. Встановлено, що зміни в в'язкості однакові як для контрольних зразків тіста з борошна обох досліджуваних партій, так і з додаванням СКД, що свідчить про можливість використання добавки різної концентрації без суттєвих змін структурно-механічних властивостей тіста.

Ключові слова: вторинні продукти переробки картоплі; суха картопляна добавка; реологічні властивості; структурно-механічні властивості; технологічний процес; дріжджове тісто.

THE STUDY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH DURING FERMENTATION

S. Yu. POPOVA*, A. V. SLASHCHEVA

Department of restaurant business technology and hotel and catering, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, UKRAINE.

ABSTRACT The purpose of the research was the substantiation of rational concentration of dry potato supplements from the point of view of the rheological properties of dough.

Studies conducted in model systems yeast dough obtained by the accelerated method. Express technology due to pre-activation of yeast (*Saccharomyces cerevisia* is) in a nutrient medium consisting of water and dry additives from the secondary products of processing of potatoes.

The study on the determination of the viscosity and shear stress of the dough depending on the concentration of the dry additive and potato flours. The results of experimental studies of all samples showed that they possess stable structure, which destruction begins only after reaching a certain voltage. Therefore, the investigated test specimen with dry potato Supplement have a stable structure, which ensures that no sticking of the dough on the working bodies of technological equipment and promotes efficiency.

It is proved that the use of a dry potato additives in a concentration of 5 % by weight of flour contributes to dough with a stable rheological performance.

The obtained results can be used in the baking industry with the aim of intensification of the process of production of yeast dough.

Keywords: secondary products of processing of potatoes; potato dry additive; rheological properties; structural and mechanical properties; technological process; yeast dough.

Вступ

В практиці світового хлібопекарського виробництва економічно розвинених країн все більшого розвитку набуває впровадження нових інтенсивних технологій [1, 2], орієнтованих на пекарні невеликої потужності та міні-пекарні. Ці технології більш гнучкі, ніж традиційні, дозволяють оперативну реагувати на вимоги ринку у задоволенні населення свіжими виробами [3].

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю створення прискореної технології дріжджового тіста для хлібопекарної промисловості шляхом використання добавки із ВППК як джерела легкозасвоюваних цукрів [4], що дозволяє форсувати технологічний процес тістоутворення за рахунок попередньої активації дріжджів [5]. Використання

добавки із ВППК в технологіях хлібобулочних виробів з дріжджового тіста дозволить не тільки раціонально використовувати сировинні ресурси, а й створити прискорену технологію дріжджового тіста без використання небезпечних речовин.

Раціональне використання ВППК привертає увагу дослідників з усього світу, тому що вони є цінним джерелом клітковини та рослинного білку, а також редукуючих цукрів і крохмалю [6]. Як правило, у цілому дослідники відзначають позитивний вплив ВППК на реологічні властивості хліба. Наприклад, додавання картопляного борошна (максимальна кількість добавки – 35% до маси пшеничного борошна) сприяє підвищенню гігроскопічності, газоутворювальної здатності, загального об'єму CO₂ [7]. Польські дослідники відзначають, що додавання картопляного білка у кількості 2-10% призводить до

зменшення щільності м'якучки хліба та збільшення об'єму хліба [8].

Використання добавок рослинного та тваринного походження в технологіях дріжджового тіста дозволяють підвищити харчову цінність та розширити асортимент хлібобулочних виробів [9, 10]. Проте, натуральних добавки, як правило, містять цілий комплекс речовин, які впливають на реологічні [11, 12] та технологічні [13] властивості тіста. Тому введення будь-яких добавок потребує ретельного вивчення їх впливу на реологічні показники тіста, що дозволяє прогнозувати якісні та органолептичні властивості нових видів хлібобулочних виробів [14].

Таким чином, використання СКД, отриманої із ВППК, для розробки прискореної технології дріжджового тіста потребує досліджень впливу кількості добавки на структурно-механічні показники тіста в процесі ферментації.

Мета роботи

Метою експериментальних досліджень було встановлення зміни кількісних значень напруження зсуву та в'язкості зразків тіста з додаванням СКД в залежності від концентрації добавки та сорту борошна від тривалості розстоювання.

Відповідно до мети було визначено наступні задачі:

- дослідження структурно-механічних показників якості дріжджового напівфабрикату у залежності від концентрації сухої картопляної добавки;
- дослідження структурно-механічних показників якості дріжджового напівфабрикату у залежності від сорту борошна.

Виклад основного матеріалу

Формування фізичних властивостей тіста залежить від багатьох факторів, в основному від співвідношення біополімерів борошна, стану його білково-протеїнового комплексу та від рецептури тіста. СКД містять білки та крохмаль, які можуть суттєво впливати на формування реологічних властивостей тіста. Окрім того, СКД оброблено лимонною кислотою яка значним чином змінює стан білкових речовин. Із зазначеного вище випливає доцільність дослідження впливу СКД та її концентрації на реологічні властивості дріжджового тіста. Також для організації і корекції технологічного процесу необхідно враховувати хлібопекарні властивості борошна, тому доцільним є дослідження реологічних властивостей дріжджового тіста від сорту борошна.

Експериментальні дослідження проводили за допомогою віскозиметру Rheotest RN4.1, який забезпечив можливість одержання абсолютних значень показників за швидкостей зсуву 0,3-6,5 с⁻¹.

Визначення в'язкості та напруги зсуву дріжджового тіста контрольного зразка вологістю 38% та досліджуваних зразків з додаванням СКД у концентрації 1; 3 та 5% до маси борошна (досліди зразків тіста з концентрацією СКД 7% не проводили

із врахуванням незадовільних результатів органолептичних властивостей даних зразків).

Температура зразків (32°C) була однорідною по всьому об'єму, коливання температури склали 0,1°C протягом експерименту, зразки мали однорідну консистенцію.

При визначенні органолептичних показників якості досліджуваних зразків було встановлено, що при внесенні СКД у концентрації 5% до маси борошна ці показники не поступалися контрольним зразкам. Таким чином, вважаємо раціональним внесення СКД у кількості 5% до маси борошна, оскільки ця концентрація не погіршує органолептичні показники та покращує реологічні властивості тіста, а також сприяє скороченню часу дозрівання тіста.

Задачею експериментальних досліджень було встановлення зміни напруження зсуву та в'язкості зразків тіста із додаванням СКД у концентрації 5% до маси борошна партій №1 (вищий сорт) та №2 (I сорт) залежно від тривалості ферментації. На рис. 1-4 наведено криві зміни напруження зсуву залежно від швидкості зсуву та тривалості дозрівання.

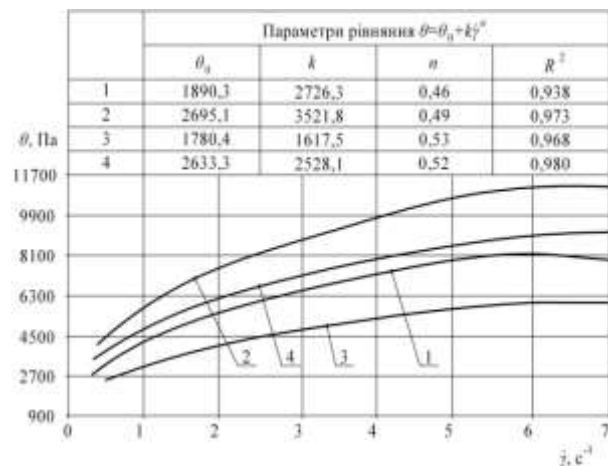


Рис. 1 – Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву після замішування тіста

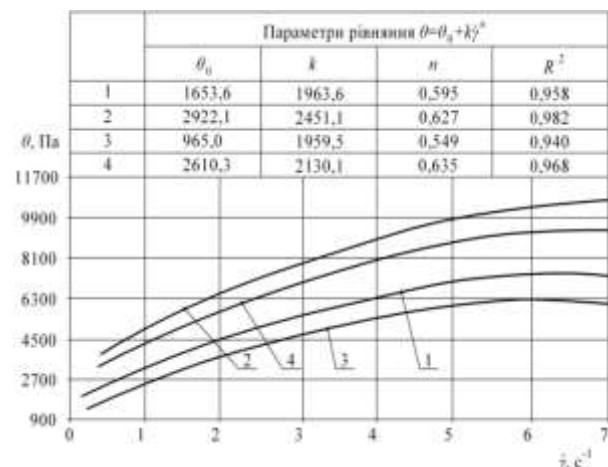


Рис. 2 – Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву після 45-60 с ферментації

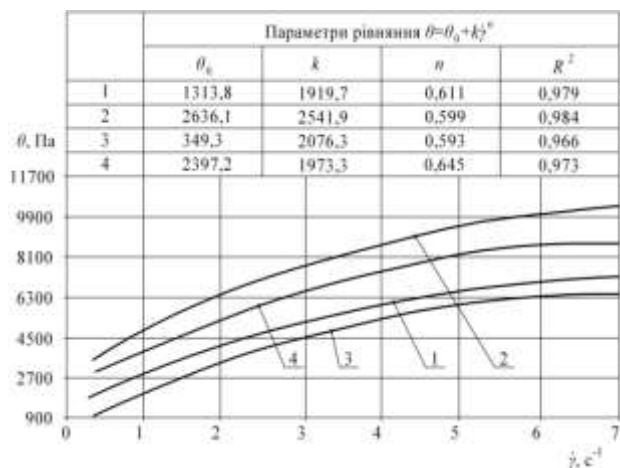


Рис. 3 – Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву після 90-60 с ферментації

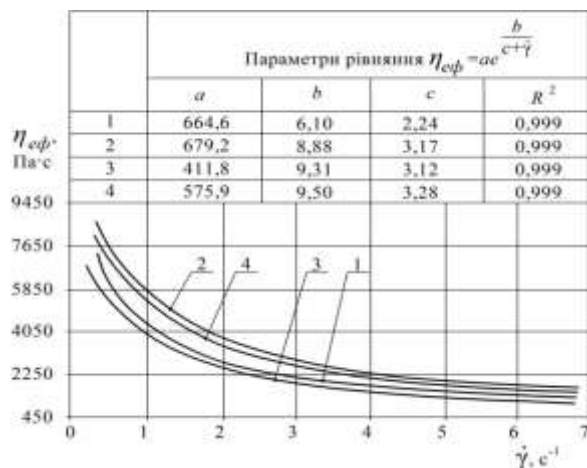


Рис. 6 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву після 45-60 с ферментації

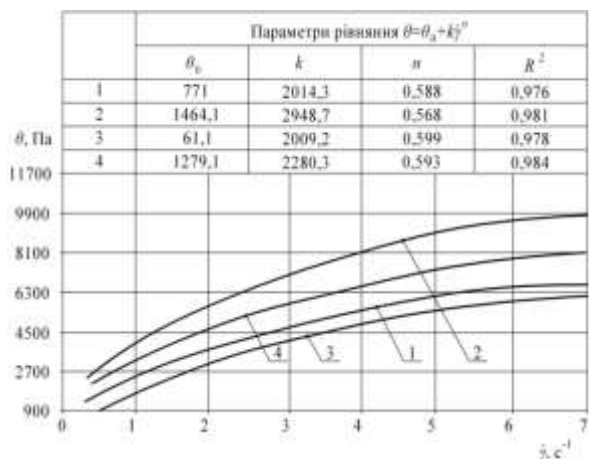


Рис. 4 – Залежність напруги зсуву від швидкості зсуву після 135-60 с ферментації

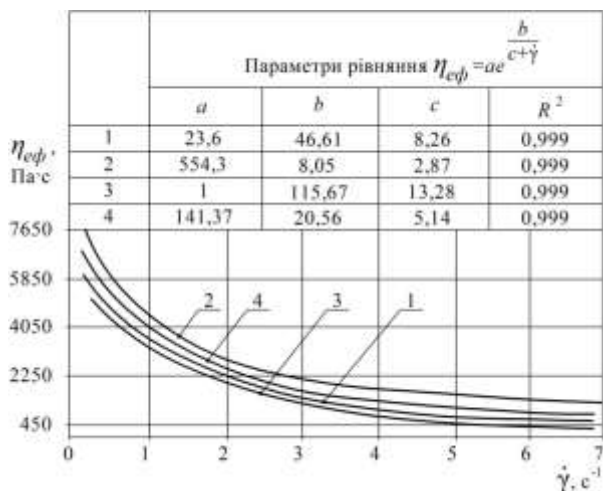


Рис. 7 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву після 90-60 с ферментації

На рис. 5–8 наведено криві зміни ефективної в'язкості залежно від швидкості зсуву та тривалості дозрівання.

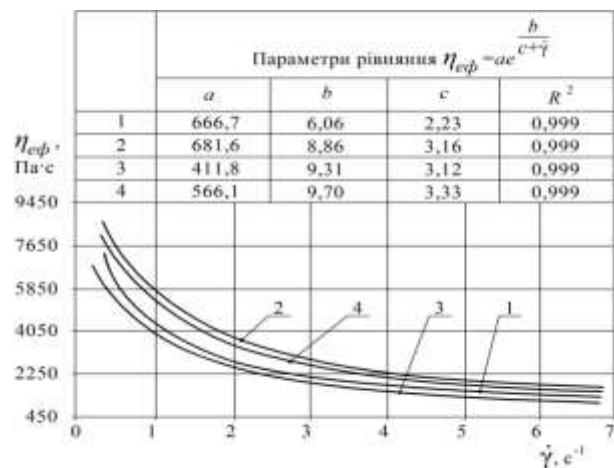


Рис. 5 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву після замішування тіста

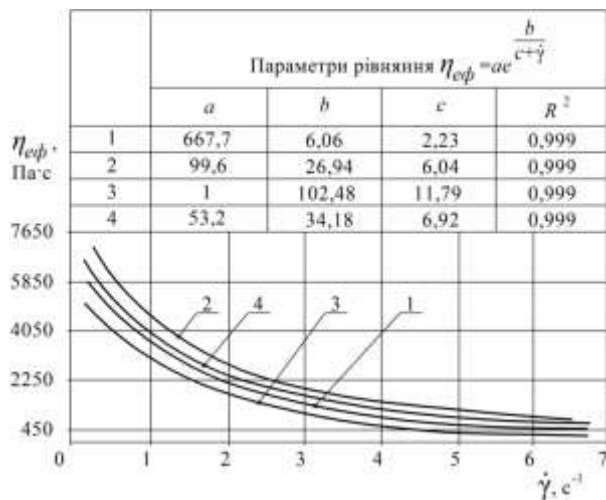


Рис. 8 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву після 135-60 с ферментації

де: 1 – контроль (борошно партії №1); 2 – зразок з додаванням СКД 5% до маси борошна партії №1; 3 – контроль (борошно партії №2); 4 – зразок з додаванням СКД 5% до маси борошна партії №2

Характер зміни напруження зсуву (рис. 1 – 4) для всіх зразків залишається постійним: зі збільшенням швидкості напруження зсуву зростає. При швидкості зсуву $6,5 \text{ с}^{-1}$ значення напруження зсуву при тривалості розстоювання від 0 до $135 \cdot 60 \text{ с}$ зменшуються на 18%. Вплив тривалості розстоювання від сорту борошна зменшується зі збільшенням швидкості зсуву.

З графіків (рис. 5 – 8) видно, що зі збільшенням швидкості зсуву в'язкість тіста при будь-якій тривалості вистоювання зменшується для всіх зразків. По мірі збільшення часу вистоювання в'язкість також зменшується. Закономірність зміни в'язкості однакова для контрольних зразків тіста з борошна обох досліджуваних партій, так і з додаванням СКД 5% до маси борошна.

Таким чином, досліджувані зразки тіста з СКД мають стійку структуру, що забезпечить відсутність налипання тіста на робочі органи технологічного обладнання та сприятиме ефективності його роботи.

Обговорення результатів

В роботі запропоновано використання СКД, отриманої із ВППК у якості активатора дріжджового середовища, яка сприяє інтенсифікації процесу тістоведіння на $(60 \dots 90) \cdot 60 \text{ с}$. Досліджено реологічні властивості тістових напівфабрикатів, контрольного та досліджуваних зразків.

В результаті проведених досліджень реологічних властивостей дріжджового тіста під час ферментації встановлено, що додавання СКД до рецептурного складу дріжджового тіста сприяє укріпленню клейковинного каркасу просторової сітки тістових напівфабрикатів. Укріплення тіста знаходить своє відображення в підвищенні стабільності тіста з додаванням СКД та зменшенню його розрідження. Також, процес укріплення тіста сприяє підвищенню показників розтяжності та енергії тіста в процесі ферментації.

Висновки

Додавання у тісто СКД незначним чином впливає на показники ефективної в'язкості, а залежно від концентрації добавки значення напружень зсуву за однієї швидкості зростають, оскільки напруження зсуву є найбільш чутливою характеристикою змін властивостей сировини. Зі збільшенням вмісту добавки спостерігається покращення показників формоутримуючої здатності. При підвищенні процентного вмісту СКД збільшуються абсолютні значення величин ефективної в'язкості та напруги зсуву тіста у порівнянні з контрольним зразком. Також встановлено, що реологічні показники якості

дріжджового напівфабрикату виробленого із вищого та I сортів борошна коливаються у невеликих діапазонах.

На даному етапі досліджень оптимальною концентрацією СКД до маси борошна виявлено 5 %. Розроблена прискорена технологія дріжджового тіста із використанням СКД дозволить налагодити випуск широкого асортименту продукції на підприємствах невеликої потужності.

У подальших дослідженнях планується встановлення впливу СКД на споживчі властивості виробів виготовлених за прискореною технологією із додаванням СКД.

Список літератури

- 1 **Cauvain, S. P.** Bread: Breadmaking processes / **S. P. Cauvain** // *Encyclopedia of food and health*. – 2016. – P. 478–483. – doi: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00087-8.
- 2 **Лебеденко, Т. Є.** Удосконалення процесу активації дріжджів шляхом використання фітодобавок / **Т. Є. Лебеденко, В. О. Кожевникова, Н. Ю. Соколова** // *Харчова наука і технологія*. – 2015. – № 2 (31). – С. 25–33. – doi: 10.15673/2073–8684.31/2015.44264.
- 3 **Huang, S.** Optional ingredients for dough / **S. Huang, D. Miskelly** // *Steamed breads*. – 2016. – P. 47–63. – doi: 10.1016/b978-0-08-100715-0.00004-5.
- 4 **Попова, С. Ю.** Дослідження фракційного складу цукрів вторинних продуктів переробки картоплі / **С. Ю. Попова** // *Східно-Європейський журнал передових технологій: науковий журнал*. – 2015. – № 5/6 (77). – С. 23–29. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.51551.
- 5 **Попова, С. Ю.** Оптимізація процесу попередньої активації дріжджів / **С. Ю. Попова, Р. П. Никифоров, А. В. Слащева** // *Технологічний аудит і резерви виробництва*. – 2015. – Т. 5, № 4 (25). – С. 29–35. – doi: 10.15587/2312–8372.2015.51760.
- 6 **Mushtaq, Q.** Potato peels: a potential food waste for amylase production / **Q. Mushtaq, M. Irfan, F. Tabssum, J. I. Qazi** // *Journal of Food Process Engineering*. – 2016. – №10. – P. 345–352. – doi: 10.1111/jfpe.12512.
- 7 **Xing-li, Liu.** Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread / **Liu Xing-li, Mu Tai-hua, Sun Hong-nan, Chen Jing-wang** // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2016. – Vol. 11. – P. 2666–2676. – doi: 10.1016/S2095-3119(16)61388-6.
- 8 **Witczak, T.** Rheology of gluten-free dough and physical characteristics of bread with potato protein / **T. Witczak, L. Juszczak, R. Ziobro, Ja. Korus** // *Journal of Food Process Engineering*. – 2016. – Vol. 9. – P. 345–352. – doi: 10.1111/jfpe.12491.
- 9 **Heertje, I.** Structure and function of food products: a review / **I. Heertje** // *Food Structure*. – 2014. – Vol. 1 (1). – P. 3–23. – doi: 10.1016/j.foostr.2013.06.001.
- 10 **Лебеденко, Т. Є.** Современные представления о пищевой ценности хлебо-булочных изделий. Основные направления для их коррекции / **Т. Є. Лебеденко, В. А. Кожевникова, Н. Ю. Соколова** // *Зернові продукти і комбікорми*. – 2015. – № 2 (58). – С. 25–33. – doi: 10.15673/2313-478x.58/2015.46011.
- 11 **Ronda, F.** Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality / **F. Ronda, S. Pérez-Quirce, M. Villanueva** // *Advances in Food*

- Rheology and Its Applications*. – 2016. – P. 297–334. – doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00012-7.
- 12 **Sanz, T.** Creep-recovery and oscillatory rheology of flour-based systems / **T. Sanz, A. Salvador, M. J. Hernández** // *Advances in Food Rheology and Its Applications*. – 2016. – P. 277–295. – doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00011-5.
- 13 **Slashcheva, A.** Study of the protein-carbohydrate mix effect on the technological properties of short yeast-leavened dough / **A. Slashcheva, R. Nykyforov, S. Popova, Yu. Korenets** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 2, Issue 11 (80). – P. 24–31. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.64294
- 14 **Hadiyanto Asselman, A.** Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design / **A. Hadiyanto Asselman, G. V. Straten, R. M. Boom, D. C. Esveld, A. J. B. V. Boxtel** // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2007. – № 8 (2). – P. 285–298. – doi: 10.1016/j.ifset.2007.01.006
- 6 **Mushtaq, Q., Irfan, M., Tabssum, F., Qazi, J. I.** Potato peels: a potential food waste for amylase production. *Journal of Food Process Engineering*, 2016, **10**, 345–352. doi: 10.1111/jfpe.12512.
- 7 **Xing-li Liu, Tai-hua Mu, Hong-nan Sun, Jing-wang Chen** Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, **11**, 2666–2676, doi: 10.1016/S2095-3119(16)61388-6.
- 8 **Witczak, T., Juszcak, L., Ziobro, R., Korus, Ja.** Rheology of gluten-free dough and physical characteristics of bread with potato protein. *Journal of Food Process Engineering*, 2016, **9**, 345–352, doi: 10.1111/jfpe.12491.
- 9 **Heertje, I.** Structure and function of food products: a review. *Food Structure*, 2014, **1** (1), 3–23, doi: 10.1016/j.foostr.2013.06.001.
- 10 **Lebedenko, T. E., Kozhevnikova, V. O., Sokolova, N. Yu.** Modern ideas about the nutritional value of bakery products. The main directions of their correction. *Grain products and mixed fodders*, 2015, **2** (58), 19–25. doi: 10.15673/2313-478x.58/2015.46011.
- 11 **Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Villanueva, M.** Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, 2016, 297–334, doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00012-7.
- 12 **Sanz, T., Salvador, A., Hernández, M. J.** Creep-recovery and oscillatory rheology of flour-based systems. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, 2016, 277–295, doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00011-5.
- 13 **Slashcheva, A., Nykyforov, R., Popova, S., Korenets, Yu.** Study of the protein-carbohydrate mix effect on the technological properties of short yeast-leavened dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **2** (11/80), 24–31, doi: 10.15587/1729-4061.2016.64294.
- 14 **Hadiyanto Asselman, A., Straten, G. V., Boom, R. M., Esveld, D. C., Boxtel, A. J. B. V.** Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2007, **8** (2), 285–298, doi: 10.1016/j.ifset.2007.01.006.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Cauvain, S. P.** Bread: Breadmaking processes. *Encyclopedia of food and health*, 2016, 478–483. doi: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00087-8.
- 2 **Lebedenko, T. E., Kozhevnikova, V. O., Sokolova, N. Yu.** Improving the activation process of the yeast through the use of herbal supplements. *Food science and technology*, 2015, **2** (31), 25–33, doi: 10.15673/2073-8684.31/2015.44264
- 3 **Huang, S., Miskelly, D.** Optional ingredients for dough. *Steamed breads*, 2016, 47–63. doi: 10.1016/b978-0-08-100715-0.00004-5
- 4 **Popova, S. Ju.** Study of fractional composition of carbohydrates, secondary products of processing of potatoes *East European journal of advanced technologies: scientific journal*, 2015, **5/6** (77), 23–29, doi: 10.15587/1729-4061.2015.51551.
- 5 **Popova, S. Ju., Nykyforov, R. P., Slashcheva, A. V.** Pre-activation optimization of the yeast. *Technology Audit and Production Reserves*, 2015, **5** (4/25), 29–35, doi: 10.15587/2312-8372.2015.51760.

Відомості про авторів (About authors)

Попова Світлана Юрївна – к.т.н., доцент, «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», доцент кафедри технологій в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: rez_ok@mail.ru.

Popova Svitlana – PhD, Associate Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, associate professor department of restaurant business technology and hotel and catering, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: rez_ok@mail.ru

Слащева Аліна В'ячеславівна – кандидат технічних наук, доцент, «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», доцент кафедри технологій в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: sl-alina-2011@ya.ru

Slashcheva Alina – PhD, Associate Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, associate professor department of restaurant business technology and hotel and catering, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: sl-alina-2011@ya.ru, Rez_ok@mail.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Попова, С. Ю. Дослідження реологічних властивостей дріжджового тіста протягом ферментації / **С. Ю. Попова, А. В. Слащева** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 199–204. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.32.

Please cite this article as:

Попова, S., Slashcheva, A. The study of rheological properties of dough during fermentation. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 199–204, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.32.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Попова, С. Ю. Исследование реологических свойств дрожжевого теста в течение ферментации / **С. Ю. Попова, А. В. Слащева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 199-204. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.32.

АННОТАЦИЯ В работе доказана перспективность использования сухой картофельной добавки (СКД) из вторичных продуктов переработки картофеля (ВППК) в технологиях изделий из дрожжевого теста. Установлено, что использование СКД улучшает физические и структурно-механические свойства дрожжевого теста во время расстойки. Исследовано влияние добавки на изменения напряжения сдвига и вязкости образцов теста с добавлением СКД в зависимости от продолжительности расстойки и сорта муки. Установлено, что изменения вязкости одинаковы как для контрольных образцов теста из муки обеих исследуемых партий, так и с добавлением СКД, что свидетельствует о возможности использования добавки различной концентрации без существенных изменений структурно-механических свойств теста.

Ключевые слова: вторичные продукты переработки картофеля; сухая картофельная добавка; реологические свойства; структурно-механические свойства; технологический процесс; дрожжевое тесто.

Надійшла (received) 06.12.2016

УДК 644.803:639.231

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.33

ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧОРНОМОРСЬКОЇ АКУЛИ КАТРАН ЗАЛЕЖНО ВІД ІМПУЛЬСУ СИЛИ ДЕФОРМАЦІЇ

О. В. СИДОРЕНКО^{1*}, Н. О. БОЛІЛА¹, Н. П. ФОРОСТЯНА²

¹ Кафедра товарознавства, управління безпекою та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, УКРАЇНА

² Кафедра інженерно-технічних дисциплін, Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, УКРАЇНА
* email: L_fish@ukr.net

АНОТАЦІЯ Проведено дослідження структурно-механічних властивостей чорноморської акули катран залежно від імпульсу сили деформації. Визначено зміни імпульсу сили деформації м'язової частини різновікових особин чорноморської акули катран залежно від різних умов і термінів зберігання рибної сировини. Наведено дані експериментальних досліджень щодо впливу деформуючої сили на різні частини туші акули катран. Для встановлення кореляційного зв'язку пружних властивостей зразків із структурними властивостями досліджуваного об'єкту надано фізичну модель деформації на розтяг.

Ключові слова: густина; коефіцієнт пружності; структурно-механічні властивості; деформація; акула катран; термін зберігання

FORECASTING OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE BLACK SEA DOGFISH DEPENDING ON A DEFORMATION FORCE IMPULSE

O. SYDORENKO¹, N. BOLILA¹, N. FOROSTYANA²

¹ Department of engineering and technical disciplines, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, UKRAINE

² Department of commodity science, safety and quality management, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Due to the need of expansion of the range of fish products of the guaranteed level of safety there is a need of studying of different types domestic fish raw materials and a possibility of its commercial production. Respectively, for a fishery industry of Ukraine the Black Sea dogfish has industrial value. Efficiency of entering of a dogfish in a food allowance of our compatriots requires scientific reasons for conditions and storage durations of fish raw materials which indicative criterion of suitability can be rheological properties. The purpose of work is to establish connection of structural characteristics of the Black Sea dogfish with elastic properties depending on conditions and a storage duration. Uneven-age, heterosexual individuals of the Black Sea dogfish were an object of a research. Experimental cuts of samples of muscular tissue carried out from different parts of carcass of a shark (about the head, the middle and a tail part). Researches were conducted on the multipurpose measuring complex "MIG - 1.3" by the module on deformation studying by method of axial stretching. Sensors of the module of a measuring complex during the experiment fixed in real time change of resultant force in case of deformation that was reflected in the display of the computer. Comparing the received schedules deforming forces for various cuts directly we compare deformation time, size deforming forces and time of a relaxation (recovery). The highest rates deforming forces are noted in dogfish right after catch - from 4,1 ÷ 3,7 N, after the first freezing we fix reduction of size deforming forces from 3,9 ÷ 3,1 N, specifies reduction of elastic properties of the researched object. At last after the second, long, freezing these indicators sharply fall and already constitute 1,5 ÷ 1,18 N, specifies considerable losses of elastic properties of an object and violation of its structure. For establishment of communication of elastic properties of samples with structural properties of the researched object the physical model of deformation on stretching was used. Deformation from absolute lengthening rather high coefficient of approximation - 0,9932 is valid the equation of regression of dependence. The provided physical and mathematical model of process was checked experimentally and gave very good coordination. The deformation force and its numerical values depend on elastic properties of the studied objects. Its increase speaks about change of structural (morphological) properties of dogfish. Losses by the researched humidity object depending on storage conditions, lead to change of density and coefficient of elasticity of a body.

Keywords: density; elasticity coefficient; structural-mechanical properties; deformation; dogfish; period of storage.

Вступ

У зв'язку з необхідністю розширення асортименту рибної продукції гарантованого рівня безпеки виникає необхідність вивчення різних видів вітчизняної рибної сировини та можливості її промислового видобутку [1]. Відповідно, промислове значення для рибогосподарської галузі України має чорноморська акула – катран. Запаси акули катран в

українських водах не використовуються в повній мірі внаслідок відсутності програм по вивченню технологічної функціональності сировини та можливості виробництва біологічно цінних продуктів харчування на основі катрану. Катран можна вважати промисловим резервом для розвитку українського рибальства та харчових технологій, оскільки у Чорному та Азовському морях за 2015 р. вилов акули катран становив 125 т при запасі 1232 т [2, 3].

Отже, ефективність введення катрану в раціон харчування наших співвітчизників потребує наукового обґрунтування умов і термінів зберігання рибної сировини, показовим критерієм придатності якої можуть бути реологічні властивості [4].

Встановлено, що для визначення реологічних характеристик харчових продуктів, а саме для визначення консистенції, використовують різні інструментальні методи, що описують руйнування чи деформування структури продукту. Найпоширеніші методами є побудова кривих кінетики деформації і кривих релаксації напружень [5, 6].

Вивчення структурно-механічних властивостей катрана є першочерговим завданням у реологічних дослідженнях [7]. Структурно-механічні властивості були досліджені методом осьової деформації, адаптованим до виконання на багатофункціональному модульному вимірному комплексі «МИГ – 1.3». Цим методом досліджено напружений стан, що виникає у м'язовій структурі повздожних та поперечних зрізів катрана під час деформації [8-10].

Відповідно, постала проблема встановлення взаємозв'язку між напруженням, що виникає в продукті внаслідок деформації, деформаційною швидкістю і силою деформації [6].

Мета роботи

Метою роботи є встановити зв'язок структурних характеристик чорноморської акули катран з пружними властивостями в залежності від умов зберігання: охолодження (0...+4°C) та поетапного заморожування (короткострокового – 1 доба, та довгострокового – 360 діб, відповідно до змодельованих умов (- 30... - 32 °C).

Об'єктом дослідження були різновікові, різностатеві особини чорноморської акули катран. Експериментальні зрізи зразків м'язової тканини проводили з різних частин туші акули (біля голови, середини та хвостової частини). Дослідження проводились на багатофункціональному вимірному комплексі «МИГ – 1.3» модулем з вивчення деформації методом осьового розтягу.

Виклад основного матеріалу

В залежності від умов прикладання деформуючої сили реологічні властивості можна розділити на зсувні, котрі визначають поведінку об'єкту в об'ємі при дії на нього дотичної сили; компресійні – характеризують поведінку продукту, поміщеного в об'ємі, або між паралельними пластинами, або іншим способом і характеризують однонапрямлений розтяг або стиснення зразка; поверхневих, що визначають дію сили на поверхні зразка під дією нормальної складової деформуючої сили, тобто характеризують адгезійні властивості об'єкта дослідження [5].

Відповідно до мети, в наших дослідженнях визначалися компресійні властивості чорноморської

акули. Метод, який був нами вибраний, як найбільш науково достовірний для вирішення поставленої проблеми, відноситься до методу осьової деформації. Вид деформації – розтяг.

Перед проведенням досліджень на розтяг нами був визначений показник густини зразків різних частин туші катрану в залежності від можливих умов зберігання з метою встановлення залежності коефіцієнта пружності від структури досліджуваних об'єктів (див. табл.1).

Таблиця 1 – Показники густини досліджуваних зразків акули катран в залежності від умов зберігання, кг/м³

Частина туші	Умови зберігання		
	Охолоджений	Після першого заморожування	Після другого заморожування
Біля голови	974,57± 21,29	957,95± 11,12	940,79± 15,53
Черевна частина	712,30± 12,83	813,39± 36,15	988,95± 33,53
Брюшна частина	1229,22± 51,13	1113,11± 41,21	1173,47± 22,14
Середина спинки	859,87± 26,14	909,45± 20,12	964,14± 16,62
Хвостова частина	893,13± 13,84	957,95± 26,37	1006,82± 17,15

Отже, відповідно до даних табл. 1, показник густини досліджуваних об'єктів збільшується. Абсолютна величина зростання $\Delta\rho$ кожного зразка різна, що ймовірно пов'язано із втратою вільної вологи в результаті їх зберігання. В той же час, втрата вологи залежить від морфологічної будови катрана. Відомо, що найшвидше втрачає воду міжм'язова структура (сполучна тканина, жировий прошарок) і найповільніше - м'язова. Кореляція даних показників густини між охолодженим зразком і першого заморожування становить 0,292, а між першим та другим заморожуванням – 0,553. Різниця кореляційних коефіцієнтів, на наш погляд, пояснюється втратою вологи. Оскільки у охолодженого зразка показники густини для різних частин туші різні і коливаються в межах від 1250 до 750 кг/м³, то після заморожування втрата вологи призвела до вирівнювання густин в межах 1014,83 ± 23,13 кг/м³.

Завданням другого етапу досліджень було встановлення зв'язку між густиною зразків та їх пружними властивостями. Таким чином ми визначали вплив умов зберігання на зміну реологічних властивостей катрана [9].

Досліджувані зразки були підготовлені так, що мали форму правильного прямокутника з лінійними розмірами : 49±0,5 x 24±0,5 (мм). Потім, закріплені вертикально в затискачах модуля комплексу «МИГ-1», зразки деформували до 30% відносно початкових розмірів.

Обговорення результатів

Датчики модуля вимірювального комплексу під час експерименту фіксували в реальному часі зміну результуючої сили під час деформації, що відображалось на дисплеї комп'ютера (рис. 1–3). Крім того, на графіку чітко видно втрати деякої маси - відрив частини зразка. На рис. 1–3 це виявляється у різниці сил ΔF . Порівнюючи отримані графіки деформуючої сили для різних зрізів відразу порівнюємо час деформації, величину деформуючої сили та час релаксації (відновлення). Як видно з наданих діаграм, час деформації для кожного зразка різний, що є незаперечним фактором різних пружних властивостей у експериментальних зрізах. Так, найкоротшим часом деформації (1.8с) характеризується діагональний зріз м'язів (рис. 1), а найдовший – 3.2с – повздожній зріз м'язів.

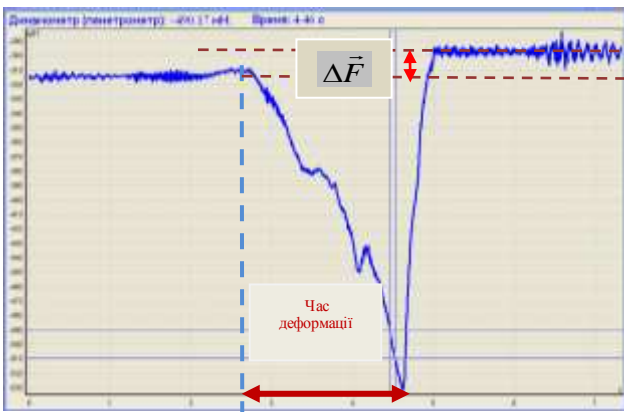


Рис. 1 – Деформаційна діаграма осьового розтягу зразків: діагональний зріз м'язів

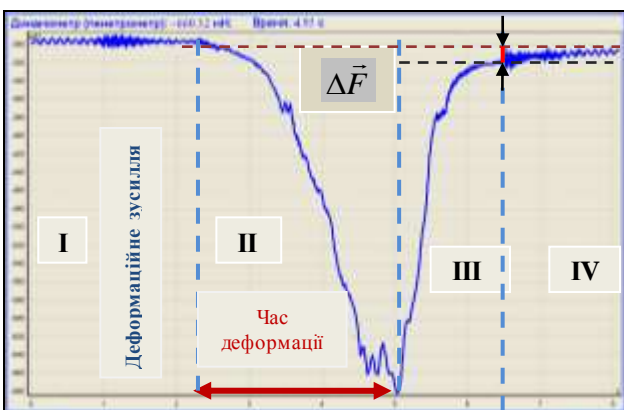


Рис. 2 – Деформаційна діаграма осьового розтягу зразків: поперечний зріз м'язів, I – область зрівноваження сил; II – область деформації; III – область зняття деформуючої сили, фіксування сил внутрішньої пружності; IV – область відновлення

Перша область – характеризує умову зрівноваження сил, тобто є рівнодійною силою згідно

другого закону Ньютона, або просто вагою зразка. Під час деформації фіксується на екрані збільшення сили. Різниця між значеннями сил області I та області II є силою деформації – це надлишкова сила над рівнодійною. Різниця значень сил між першою і третьою областями говорить про втрати маси за рахунок відриву її під час деформаційного розтягу.



Рис. 3 – Деформаційна діаграма осьового розтягу зразків: повздожній зріз м'язів

Більш докладний аналіз діаграм наведений в табл.2

Таблиця 2 – Час дії деформаційної сили

Частина туші	Зріз	Доросла особина (заморожена – 360 днів)		Молода самка (щойно після вилову)		Молода самка (охолоджена – 1 доба)	
		F _{деф.} , Н	t _{деф.} , с	F _{деф.} , Н	t _{деф.} , с	F _{деф.} , Н	t _{деф.} , с
Біля голови	Вздож	1,18	3,2	4,9	2,1	3,9	2,6
	Впоперек	1,1	2,8	3,5	3,1	1,6	6,5
	По діаг.	2,15	1,8	3,3	2,9	3,4	2,8
Середина	Вздож	1,8	2,1	4,1	2,6	3,7	2,6
	Впоперек	1,15	3,1	3,8	2,7	3,0	2,8
Біля хвоста	Вздож	1,5	2,5	3,7	2,9	3,1	3,1
	Впоперек	1,1	2,6	4,5	2,3	2,8	3,9
	По діаг.	1,1	3,1	3,0	3,6	2,6	3,3

Згідно даних табл. 2, у катрану зразу після вилову відмічаються найвищі показники деформуючої сили – від 4,1 ÷ 3,7 Н, після першого заморожування фіксуємо зменшення величини деформуючої сили від 3,9 ÷ 3,1 Н, що вказує на зменшення пружних властивостей досліджуваного об'єкту. Нарешті, після другого, тривалого заморожування ці показники різко падають і вже становлять 1,5 ÷ 1,18 Н, що вказує на значні втрати пружних властивостей об'єкту та порушення його структури.

Для встановлення зв'язку пружних властивостей зразків із структурними властивостями досліджуваного об'єкту скористаємось фізичною

моделлю деформації на розтяг. Фізична модель розглядає цей процес з позицій механіки (див. рис. 4)

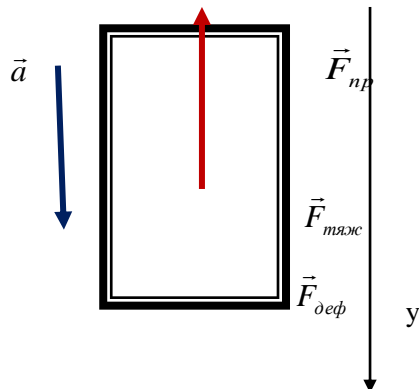


Рис. 4 – Схематичне зображення сил, що виникають в досліджуваному об'єкті під час деформаційного розтягу

Згідно рис. 4 запишемо рівняння рівнодійної сили у векторній формі:

$$\vec{F}_{\text{рив}} = \vec{F}_{\text{пр}} + \vec{F}_{\text{тяжс}} + \vec{F}_{\text{деф}} \quad (1)$$

де $F_{\text{тяжс}}=P$ - вага тіла, що фіксується УВКП, H . ерепишемо рівняння (1) у скалярній формі:

$$ma = P - k\Delta\ell + F_{\text{деф}} \quad (2)$$

де m – маса досліджуваного об'єкту; a - прискорення з яким деформується досліджуваний об'єкт; g – прискорення вільного падіння = 9,81 м/с²; k – коефіцієнт пружності досліджуваного об'єкту; $\Delta\ell$ – видовження досліджуваного об'єкту; $F_{\text{деф}}$ – деформуюча сила, прикладена зовні до тіла.

Згідно теоретичних основ механіки, всі сили які діють на тіло, за принципом суперпозиції, утворюють результуючу силу. Векторну форму (1) другого закону Ньютона переписавши у скалярну (2), методом математичних перетворень отримуємо формулу (3), що пов'язує коефіцієнт пружності досліджуваного об'єкту з його густиною:

$$k = \frac{P + F_{\text{деф}} - \rho V \cdot 2\Delta\ell / t^2}{\Delta\ell} = \frac{P + F_{\text{деф}}}{\Delta\ell} - \frac{2\rho V}{t^2} \quad (3)$$

де $P+F_{\text{деф}}$ – сумарна сила, що фіксується датчиком модуля деформації багатфункціонального вимірювального комплексу «МИГ – 1.3», H .

Формула (3) є прийнятною для наближеного розрахунку коефіцієнта пружності з врахуванням зміни густини в залежності від умов та терміну зберігання досліджуваного об'єкту (рис. 5).

Рівняння регресії залежності деформаційної сили від абсолютного видовження має досить високий коефіцієнт апроксимації – 0,9932. Для більш точного аналізу необхідно розділити графік на лінійні залежності, що дозволяє з отриманих регресійних

рівнянь отримати числове значення коефіцієнта пружності досліджуваного зразка. Так, при величині деформації 3,7% свіжого зразка діагонального зрізу біля голови катрана, коефіцієнт пружності становить 165,49 Н/м. При подальшій деформації зразка до 15% , коефіцієнт пружності стабілізується в межах 81,28 Н/м. За умови подовження деформації до 30% коефіцієнт пружності різко зростає і лежить в межах 226,32 Н/м. При подальшій деформації зразок розривається.

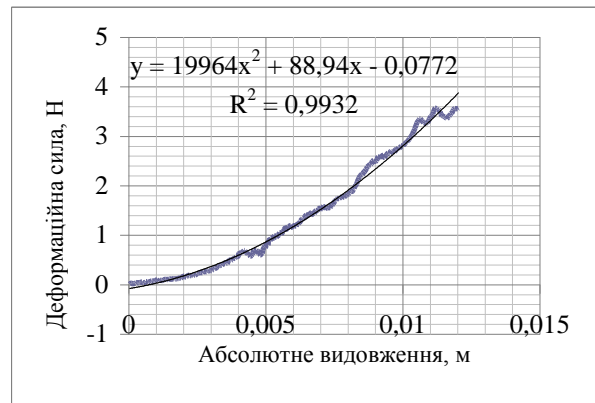


Рис. 5 – Графік залежності деформаційної сили від видовження досліджуваного об'єкту

Графічно зміну коефіцієнта пружності від деформаційної сили зображено на рис. 6. При втраті вологи і збільшенні густини графічна залежність стає більш плавною по відношенню до зазначеної на рис. 6.

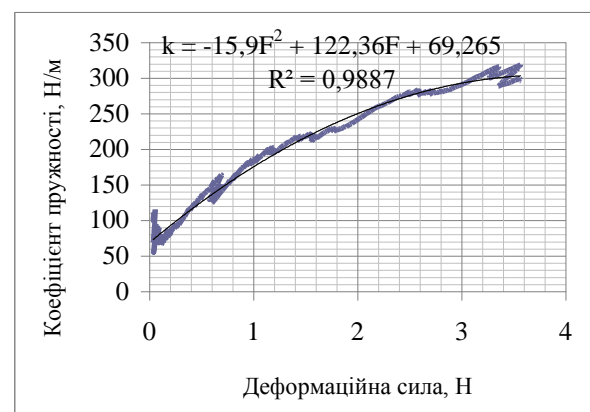


Рис. 6 – Графічна залежність коефіцієнта пружності досліджуваного об'єкту від густини та від величини втраченої вологи

Висновки

Використаний нами багатфункціональний вимірювальний модульний комплекс «МИГ-1.3» показав свою ефективність і мобільність при дослідженні осьової деформації зразків

повздожнього і поперечного зрізу. Подана фізико-математична модель процесу була перевірена експериментально і дала дуже добру узгодженість. Деформаційна сила і її числові значення залежать від пружних властивостей досліджуваних об'єктів. Її збільшення говорить про зміну структурних (морфоологічних) властивостей катрана. Втрати досліджуваним об'єктом вологості, залежно від умов зберігання, приводять до зміни густини та коефіцієнта пружності тіла.

Встановивши динаміку зміни вищезазначених характеристик, можна спрогнозувати: температурний режим зберігання, втрати вологи, зміну густини, коефіцієнта пружності та інші структурно-механічні властивості. Отриманий комплекс характеристик дозволяє дати рекомендації до умов зберігання та використання сировини в харчовій промисловості; розробити оптимальні режими обробки катрана.

Список літератури

- 1 Студенцова, Н. А. Продукты питания нового поколения на основе водных биоресурсов Азово-Черноморского бассейна / Н. А. Студенцова // *Изв. Вузов. Пищевая технология*. – 2007. – № 3. – С. 12–16.
- 2 Боліла, Н. О. Аналіз ринку чорноморської акул катран / Н. О. Боліла, О. С. Болілій // *Наук. збірник «Інтегроване управління водними ресурсами»*. – 2013. – №1. – С. 352–357.
- 3 Боліла, Н. О. Вплив морфометричних характеристик на споживні властивості чорноморської акул катран / Н. О. Боліла // *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча*. – 2016. – Вип. 16. – С. 119–122.
- 4 Сидоренко, О. Методологія прогнозування змін якості рибних продуктів під час товароруку / О. Сидоренко // *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. – 2012. – №2. – С. 54–61.
- 5 Романенко, О. Метод визначення структурно-механічних властивостей рибних пресервів / О. Романенко // *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. – № 2. – 2013. – С. 58–65.
- 6 Jain, D. Evaluation of texture parameters of Rohu fish (Labeo rohita) during iced storage / D. Jaun, P. B. Pathare, M. R. Manakantan // *Journal of food engineering*. – 2007. – Vol. 81. – P. 336–340. – doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.006.
- 7 Tee, E. T. Physical and Sensory Properties of Frozen Spanish Mackerel (Scomberomorus guttatus) Fish Balls Added with Cryoprotectants / E. T. Tee, L. W. Siow // *Food and Bioprocess Technology*. – 2014. – Vol. 7(12). – P. 3442–3454. – doi: 10.1007/s11947-014-1348-0.
- 8 Гуць, В. С. Структурно-механічні властивості риборослинних продуктів / В. С. Гуць, О. В. Сидоренко, О. В. Тимофєєва // *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. – 2006. – № 2. – С. 127–134.
- 9 Горбатов, А. В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов : справочник / А. В. Горбатов, А. М. Маслов, Ю. А. Мачихин; под ред. А. В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая пром-сть. – 1982. – 296 с.
- 10 Кузнецов, О. А. Реология пищевых масс / О. А. Кузнецов, Е. В. Волошин, Р. Ф. Сагитов. – Оренбург : ГОУ УГО. – 2005. – 106 с.

- 11 Orlov, A. M. Age and growth of spiny dogfish Squalus acanthias (Squalidae, Chondrichthyes) in pacific waters off the Kuril Islands / A. M. Orlov, E. F. Kulish, I. N. Mukhametov, O. A. Shubin // *Journal of Ichthyology*. – 2011. – Vol. 51 – P. 42–55. – doi:10.1134/S0032945210061049.
- 12 Sydorenko, O. Modeling of biologically valuable foodstuffs with predictable complex of positive / O. Sydorenko, L. Berbenets, R. Moskalyk; *Proceedings of the 17-th IGWT Symposium and 2010 International Conference on Commerce* ["Facing the Challenges of the Future: Excellence in Business and Commodity Science"], (Romania, 21–25 sept. 2010). – Vol. 1. – P. 584–589.
- 13 Giannakourou, M. C. Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain / M. C. Giannakourou, K. Koutsoumanis, G. J. Nychas, P. S. Taoukis // *International Journal of Food Microbiol.* – 2005. – Vol. 102. – P. 323–336. – doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.037.
- 14 Vanitha, M. Quality changes in fish burger from Catla (Catla Catla) during refrigerated storage / M. Vanitha, K. Dhanapal, G. Vidya Sagar Reddy // *Journal Food Sci Technol.* – 2015. – Vol. 52(3). – P. 1766–1771. – doi:10.1007/s13197-013-1161-1.

Bibliography (transliterated)

- 1 Studentsova, N. A. Produktyi pitaniya novogo pokoleniya na osnove vodnyih bioresursov Azovo-Chernomorskogo basseyna [Food of new generation on the basis of water bioresources of the Azovo-Chernomorsky pool]. *Izv. Vuzov. Pischevaya tehnologiya*, 2007, 3, 12–16.
- 2 Bollila, N. O., Bollilly S. O. Anallz rinku chornomorskoYi akuli katran katran [Analysis of the condition of the market of the Black Sea dogfish]. *Nauk. zbirnik «Integrovane upravlnnya vodnimi resursami»*, 2013, 1, 352–357.
- 3 Bollila, N. O. Vpliv morfometrichnih harakteristik na spozhivnl vlastivostl chornomorskoYi akuli katran [The influence of morphometric characteristics on consumer properties of the Black Sea dogfish]. *Vlsnik LvIvskoYi komertsIynoYi akademIYi. SerIya tovaroznavcha*, 2016, 16, 119–122.
- 4 Sydorenko, O. MetodologIya prognozuvannya zmln yakostl ribnih produktIv pld chas tovaroruhu [Forecasting changes in fish products quality during goods turnoves]. *MIzhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovari I rinki"*, 2012, 2, 54–61.
- 5 Romanenko, O. Metod viznachennya strukturno-mehanIchnih vlastivostey ribnih preservIv [Method of identification of the structural-mechanical properties of fish preserves]. *MIzhnar. nauk.-prakt.zhurn. "Tovari I rinki"*, 2013, 2, 58–65.
- 6 Jain, D., Pathare, P. B., Manakantan, M. R. Evaluation of texture parameters of Rohu fish (Labeo rohita) during iced storage. *Journal of food engineering*, 2007, 81, 336–340, doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.11.006.
- 7 Tee, E. T., Siow, L. W. Physical and Sensory Properties of Frozen Spanish Mackerel (Scomberomorus guttatus) Fish Balls Added with Cryoprotectants. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(12), 3442–3454, doi:10.1007/s11947-014-1348-0.
- 8 Guts, V. S., Sydorenko, O. V., Timofeeva, O. V. Strukturno-mehanIchnl vlastivostl ribo-roslnnih produktIv [Structural and mechanical properties of rybo-vegetable products]. *MIzhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovari I rinki"*, 2006, 2, 127–134.

- 9 **Gorbatov, A. V., Maslov, A. M., Machihin, Yu. A.** Strukturno-mehanicheskie harakteristiki pischevyih produktov : spravochnik [Rheology of food masses, *Moskov: Legkaya i pischevaya prom-st.*, 1982, 296 p.
- 10 **Kuznetsov, O. A., Voloshin, E. V., Sagitov, R. F.** Reologiya pischevyih mass [Rheology of food masses]. *Orenburg: GOU UGO*, 2005, 106 p.
- 11 **Orlov, A. M., Kulish, E. F., Mukhametov, I. N., Shubin, O. A.** Age and growth of spiny dogfish *Squalus acanthias* (Squalidae, Chondrichthyes) in pacific waters off the Kuril Islands. *Journal of Ichthyology*, 2011, **51**, 42–55, doi:10.1134/S0032945210061049.
- 12 **Sydorenko, O., Berbenets, L., Moskalyk, R.** Modeling of biologically valuable foodstuffs with predictable complex of positive. *Facing the Challenges of the Future: Excellence in Business and Commodity Science*, Romania, 2010, **1**, 584–589.
- 13 **Giannakourou, M. C., Koutsoumanis, K., Nychas, G. J., Taoukis, P. S.** Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. *International Journal of Food Microbiol*, 2005, **102**, 323–336, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.037.
- 14 **Vanitha, M., Dhanapal, K., Vidya Sagar Reddy, G.** Quality changes in fish burger from Catla (*Catla Catla*) during refrigerated storage. *Journal Food Sci Technol*, 2015, **52**(3), 1766–1771, doi: 10.1007/s13197-013-1161-1.

Відомості про авторів (About authors)

Сидоренко Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний торговельно-економічний університет, професор кафедри товарознавства, управління безпечністю та якістю, м. Київ, Україна, e-mail: l_fish@ukr.net.

Olena Sydorenko – Doctor of Technical Science, Professor, Kyiv National University of Trade and Economics, Professor of the Department of commodity science, safety and quality management, Kyiv, Ukraine, e-mail: l_fish@ukr.net.

Боліла Надія Олександрівна – Київський національний торговельно-економічний університет, аспірант кафедри товарознавства, управління безпечністю та якістю, м. Київ, Україна, e-mail: nadiabolila@gmail.com.

Nadiia Bolila – Kyiv National University of Trade and Economics, graduate student of the Department of commodity science, safety and quality management, Kyiv, Ukraine, e-mail: nadiabolila@gmail.com.

Форостяна Нінель Петрівна – кандидат педагогічних наук, доцент, Київський національний торговельно-економічний університет, доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін, м. Київ, Україна, e-mail: forostyann@gmail.com.

Ninel Forostyana – Candidate of pedagogical sciences, Docent, Kyiv National University of Trade and Economics, Docent of the Department of engineering and technical disciplines, Kyiv, Ukraine, e-mail: forostyann@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Сидоренко, О. В. Прогнозування терміну зберігання чорноморської акул катран залежно від імпульсу сили деформації / **О. В. Сидоренко, Н. О. Боліла, Н. П. Форостяна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 205-210. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.33.

Please cite this article as:

Sydorenko, O., Bolila, N., Forostyana, N. Forecasting of structural characteristics of the black sea dogfish depending on a deformation force impulse. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 205–210, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.33.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сидоренко, Е. В. Прогнозирование структурных характеристик черноморской акулы катран в зависимости от импульса силы деформации / **Е. В. Сидоренко, Н. А. Боліла, Н. П. Форостяна** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 205-210. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.33.

АННОТАЦИЯ Проведено дослідження структурно-механичних властивостей чорноморської акул катран в залежності від імпульсу сили деформації. Определены изменения импульса силы деформации мышечной части разновозрастных особей черноморской акул катран в зависимости от различных условий и сроков хранения рыбного сырья. Приведены данные экспериментальных исследований о влиянии деформирующей силы на разные части туши акул катран. Для установления корреляционной связи упругих свойств образцов со структурными свойствами исследуемого объекта предоставлено физическую модель деформации на растяжение.

Ключевые слова: плотность; коэффициент упругости; структурно-механические свойства; деформация, акула катран; срок хранения

Надійшла (received) 12.12.2016

ПОЛУЧЕНИЕ МОЛИБДАТ СОДЕРЖАЩЕГО NI-TI СЛОИСТОГО ДВОЙНОГО ГИДРОКСИДА ОДНОСТАДИЙНЫМ ОБРАТНЫМ СИНТЕЗОМ И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

В. А. СОЛОВОВ^{1*}, Н. В. НИКОЛЕНКО¹, В. Л. КОВАЛЕНКО^{1,3}, В. А. КОТОК^{2,3},
А. А. БУРКОВ⁴

¹ Кафедра аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА

² Кафедра процессов и аппаратов и общей химической технологии, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА

³ Кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических производств, ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

⁴ Кафедра химии и технологии переработки полимеров, ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
*email: sva-92@mail.ru

АННОТАЦИЯ Образец молибдат-содержащий Ni-Ti слоистый двойной гидроксид был получен одностадийным обратным синтезом: постепенным введением раствора солей никеля и титана в раствор щелочи с добавкой гептамолибдата аммония при постоянно перемешивании и комнатной температуре. Структура образца как слоистого двойного гидроксида подтверждена результатами ИК-спектроскопии, РФА и дериватографии. По данным ИК-спектроскопии было показано наличие в межслоевом пространстве СДГ гептамолибдат-анионов. РСМА установлено следующее соотношение металлов в синтезированном СДГ Ni:Ti:Mo=1:0,19:0,22.

Ключевые слова: молибдат-содержащий Ni-Ti слоистый двойной гидроксид; гептамолибдат; одностадийный обратный синтез

SYNTHESIS OF MOLYBDATE-INTERCALATED Ni-Ti LAYERED DOUBLE HYDROXIDE BY COPRECIPITATION AT HIGH SUPERSATURATION AND CHARACTERIZATION

V. A. SOLOVOV^{1*}, N. V. NIKOLENKO¹, V. L. KOVALENKO^{1,3}, V. A. KOTOK^{2,3}, A. A. BURKOV⁴

¹ The Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, SHEI USUCT, Dnipro city, UKRAINE

² The Department of Processes, Apparatus and General Chemical Technology SHEI USUCT Dnipro city, UKRAINE

³ The Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, FSBEI HE Vyatka State University, Kirov city, RUSSIAN FEDERATION

⁴ The Department of chemistry and processing technology of polymers, FSBEI HE Vyatka State University, Kirov city, RUSSIAN FEDERATION

ABSTRACT The molybdate intercalated layered double hydroxides can be potentially applied as catalysts for organic synthesis and oxidation. According to literature they are most commonly prepared using multi-stage methods such as anion-exchange and rehydration of calcinated LDH precursor. Aim of the work was to study a possibility of one-stage synthesis of molybdate-intercalated Ni-Ti LDH. To achieve the set-out aim, a sample of molybdate-intercalated Ni-Ti LDH has been prepared using one-step coprecipitation at high supersaturation at room temperature synthesis method: drop-wise introduction of nickel and titanium salts solution into solution of sodium hydroxide and ammonium heptamolybdate. The prepared sample was characterized by SEM, XRD, FTIR, TG-DTA and EDX. Hydrotalcite-like structure has been confirmed by results of XRD, FTIR and TG. The results of SEM have showed that sample morphology is constituted by spherical agglomerates. According to XRD results the prepared sample has rather low crystallinity. The results of TG-DTA showed that thermal decomposition of the sample occurs into two stages: 1) 90-180°C accompanied by an endothermic event and associated with loss of adsorbed and interlayer water; 2) 280-340°C accompanied by an endothermic event and associated with dehydroxilation brucite-like layered, transformation of LDH into LDO and, possibly, transformations in Ni-Ti-Mo-O system. Results of FTIR have confirmed successive intercalation of molybdate anion into interlayer space of Ni-Ti LDH. The results of FTIR also indicate presence of polymolybdate forms. The results of EDX analysis showed molar ratio of Ni:Ti:Mo=1:0,19:0,22. The acquired results show the possibility of one-stage synthesis of molybdate intercalated Ni-Ti LDH.

Keywords: molybdate-intercalated Ni-Ti LDH; heptamolybdate; one-stage synthesis.

Введение

Слоистые двойные гидроксиды (СДГ) (англ. Layered double hydroxides –LDH) или гидротальцитоподобные соединения — это класс

синтетических и природных соединений с общей формулой $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(\text{OH})_2]^{x+}[A_{x/m}]^m \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где: M^{2+} — двухвалентный катион ($\text{Ni}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Fe}^{2+}$ и тд.); M^{3+} — трехвалентный катион ($\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}$ и тд.); A — анион ($\text{CO}_3^{2-}, \text{Cl}^-, \text{OH}^-$ и тд.). Они имеют

слоистую структуру, подобную бруситу ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), в которых часть двухвалентных катионов замещена трехвалентными, при этом сохраняется кристаллическая решетка «хозяина» - $\text{Me}(\text{OH})_2$. Такое замещение создает избыточный заряд, который компенсируется анионами, располагающимися между слоями Me-O-H вместе с водой [1]. В литературе также описываются СДГ, в которых часть двухвалентных катионов замещена на четырехвалентные: Ti^{4+} [2,3], Zr^{4+} [4], V^{4+} [5]. Благодаря изменчивости состава СДГ широко применяются в качестве катализаторов, носителей [6,7], прекурсоров оксидных катализаторов и сорбентов [8-10], и др.

Соединения, как никеля, так и титана, проявляют каталитическую активность в реакциях синтеза органических соединений. В качестве веществ, содержащих указанные металлы, как катализаторы используются и Ni-Ti СДГ, и смешанные Ni-Ti оксиды (как продукты прокаливания СДГ) [9].

Соединения молибдена так же обладают значительной каталитической активностью. Поэтому введение молибдата в межслоевое пространство СДГ является актуальной задачей. Молибдат содержащие СДГ применяются в качестве катализаторов для органического синтеза [11,12]. Для приготовления таких СДГ используются два метода: анионообмен и регидратация кальцинированного СДГ в растворе молибдата как соли [7,11]. Оба метода являются многостадийными и включают стадию синтеза СДГ-прекурсора (без молибдата) и стадии обработки прекурсора с получением молибдат-содержащего СДГ.

Метод анионообмена включает синтез СДГ-прекурсора с легко замещаемыми анионами, такими как нитрат или хлорид, с последующей выдержкой прекурсора в растворе соли молибдата в течении 48-72 часов для прохождения реакции ионного обмена – замещения нитрат-иона (или хлорид-иона) на молибдат.

Метод регидратации является трехстадийным и основывается на «эффекте памяти» — способности кальцинированных СДГ восстанавливать гидроксидную структуру при длительном выдерживании в солевых растворах. При этом методе синтезированный на первой стадии СДГ-прекурсор прокаливается при определенной температуре для перехода СДГ в слоистый двойной оксид (СДО) и разрушения или удаления аниона (вторая стадия). Полученный кальцинированием СДО выдерживается в растворе соли молибдата для восстановления гидроксидной структуры с формированием молибдат-содержащего СДГ.

Однако следует указать, что как промышленный метод получения одностадийный синтез значительно предпочтительнее многостадийного как по времени получения, так и по необходимым материалам, энергоносителям и

оборудованию. Поэтому разработка одностадийного синтеза молибдат-содержащего Ni-Ti СДГ является актуальным.

Одностадийный метод синтеза применялся для синтеза молибдат содержащего Mg-Al СДГ [12]. Анализ публикаций не выявил применение одностадийного синтеза для получения молибдат содержащего Ni-Ti СДГ.

Цель работы

Исследование возможности одностадийного синтеза молибдат содержащего Ni-Ti слоистого двойного гидроксида.

Для достижения этой цели необходимо было получить одностадийным синтезом образец молибдат содержащего Ni-Ti СДГ и изучить его характеристики.

Изложение основного материала

Методика исследований.

Метод синтеза.

Все использованные реагенты имели классификацию «ч.». Для синтеза молибдат содержащего Ni-Ti СДГ был использован метод обратного синтеза при комнатной температуре.

В раствор, содержащий 0,08 моль NaOH и 0,011 моль $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, при перемешивании по каплям добавлялся раствор, содержащий 0,037 моль $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 1,62 мл смеси $\text{TiCl}_4\text{-HCl}$ (объемное соотношение 1:1, Ti^{4+} 0,0074 моль). В исходном растворе было следующее мольное соотношение $\text{Ti}^{4+}/(\text{Ti}^{4+}+\text{Ni}^{2+})=0,17$. Так как гептамолибдат в щелочной среде деполимеризуется до MoO_4^{2-} [13], количество гептамолибдата аммония было рассчитано исходя из начального мольного соотношения $\text{Mo}^{6+}/\text{Ti}^{4+}=1,1$.

После окончания добавления Ni-Ti содержащего раствора реакционная смесь непрерывно перемешивалась в течении 1 часа. Полученный осадок СДГ был отфильтрован, высушен при температуре 70 °С в течении 24 часов, просеян через никелевую сетку 71 мкм, отмыт от растворимых солей, снова отфильтрован и высушен при тех же условиях.

Методы изучения образца.

Полученный образец был охарактеризован методами РФА, СЭМ, ТГ/ДТА, РСМА и ИК-спектроскопии.

Рентгенофазовый анализ был проведен на диффрактометре ДРОН-3 (СССР) с использованием $\text{CuK}\alpha$ излучения). Морфология образца была изучена на сканирующем электронном микроскопе JEOLJSM-6510 (Япония). Термическое поведение было изучено в атмосфере воздуха при помощи Shimadzu DTG-60/DTG-60A (Япония) со скоростью нагрева 5°С/мин. Рентгеноспектральный микроанализ был проведен при помощи Shimadzu EDX 900-HS (Япония). ИК-

спектр был снят на ИК-спектрометре Bruker Tensor 27 FT-IR (Япония).

Обсуждение результатов

Результаты СЭМ (рис. 1) показали, что частицы синтезированного образца состоят из агломератов сферической формы субмикронного размера.

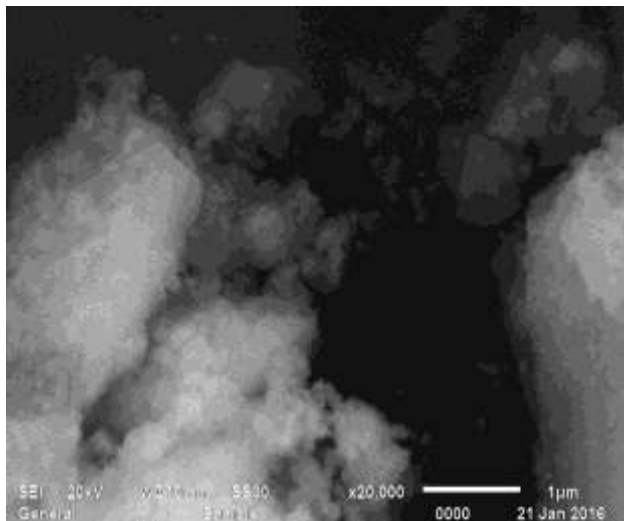


Рис. 1 – СЭМ синтезированного образца

На рис. 3 представлена ТГ/ДТА диаграмма синтезированного образца. В общем виде следует указать, что ТГ кривая характеризует синтезированный образец как α -структуру гидроксида никеля, которая характерна для Ni-Ti СДГ. На диаграмме можно выделить два скачка потери массы: 1) 90-180°C; 2) 280-340°C.

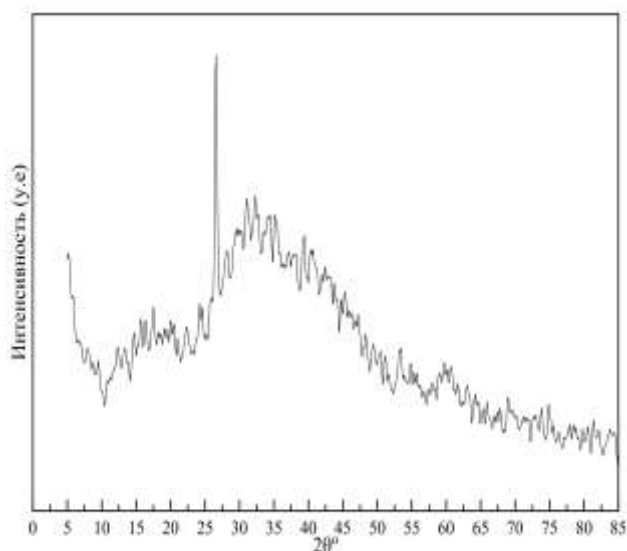


Рис.2 – Рентгенограмма полученного образца

Согласно литературным данным [1,2] первый скачек потери массы соответствует потере

межслоевой кристаллизационной воды с характерным эндотермическим пиком на ДТА кривой (133°C). Второй скачек потери массы - распад кристаллической решетки гидроксида и переход СДГ в СДО, с эндотермическим пиком при $t=312^\circ\text{C}$. Следует отметить, что для α -модификации, в т.ч. для Ni-TiСДГ с карбонат ионами, интенсивность второго эндотермического пика (распад решетки гидроксида) больше или примерно равна интенсивности первого эндотермического пика(потеря кристаллизационной воды) [2, 14].

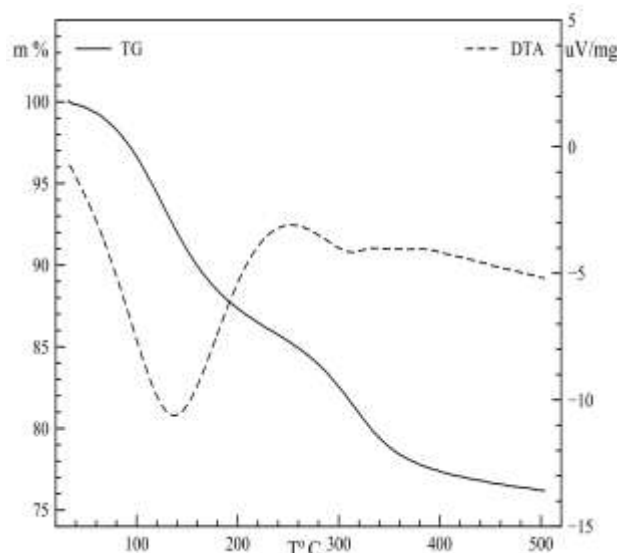


Рис. 3 – ТГ/ДТА диаграмма полученного образца

Для синтезированного образца наблюдается противоположная картина – интенсивность второго эндотермического пика значительно ниже. При этом можно говорить о том, что в интервале температур 260-500°C фактически наблюдается площадка эндотермического эффекта со слабо выраженным пиком при 312 °C. Это явление может быть связано с фазовыми переходами молибдат-иона в межслоевом пространстве, в частности полимеризации или деполимеризации молибдат-аниона.

По данным ИК-спектроскопии (рис. 4) образец имеет широкий пик при 3317 cm^{-1} , который соответствует вибрациям OH^- групп, и является характерным СДГ структуры[1]. Пик при 1630 cm^{-1} соответствует вибрациям межслоевой воды. Пики при 1462 и 1380 cm^{-1} соответствует вибрациям CO_3^{2-} . Карбонат ионы является распространенным «загрязнением» в химии СДГ, так как карбонаты в небольших количествах всегда находятся в щелочи и они из-за сильного сродства к гидротальцигным слоям способны включаться в межслоевое пространство даже при низком содержании в реакционном растворе [1]. Согласно литературным данным [16] для MoO_4^{2-} характерен пик при 827 cm^{-1} , однако на ИК-спектре синтезированного образца данный пик не обнаруживается. Из чего можно сделать вывод что, он либо скрыт, либо MoO_4^{2-}

отсутствует в межслоевом пространстве. Пики при 841 и 902 см^{-1} указывают на наличие $\text{Mo}_6\text{O}_{24}^{6-}$ и $\text{HMo}_6\text{O}_{24}^{5-}$. Следовательно, можно отметить, что ИК-спектр подтверждает, что синтезированный образец является полимолибдатным Ni-Ti СДГ.

На наличие полимолибдат анионов также указывают результаты РСМА, согласно которым молярное соотношение Ni/Ti в осадке равно 5,32, а Mo/Ti=1,18.

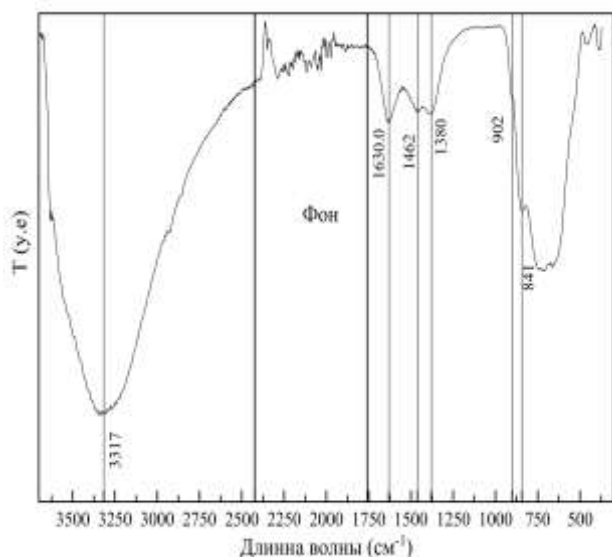


Рис. 4 – ИК-спектрограмма полученного образца

Выводы

1. Проведен одностадийный синтез образца молибдат-содержащего Ni-Ti СДГ.

2. Свойства образца были изучены методами СЭМ, РФА, ТГ/ДТА и ИК-спектроскопии.

3. СДГ структурасинтезированного образца доказана результатами РФА, ТГ/ДТА и ИК-спектроскопии.

4. ИК-спектроскопией и РСМА показано, что молибдат-анион входит в межслоевое пространство слоистого двойного гидроксида в виде гексамолибдат-иона.

5. На ДТА кривой была обнаружена аномалия, связанная с формированием площадки эндотермического эффекта, которая вероятно обусловлена деполимеризацией полимолибдат-иона и фазовыми превращениями в системе Ni-Ti-Mo-O.

Список литературы

1. Cavani, F. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications. / F. Cavani, F. Trifirò, A. Vaccari // *Catalysis today*. – 1991. – Vol. 11, No. 2. – P. 173–301. – doi: 10.1016/0920-5861(91)80068-K.
2. Shu, X. Formation of Ni-Ti-layered double hydroxides using homogeneous precipitation method / X. Shu [et al.] // *Solid State Sciences*. – 2006. – Vol. 8. – P. 634–639. – doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2006.02.029.
3. Zhang, W. H. Preparation of Ni(II)/Ti(IV) layered double hydroxide at high supersaturation / W. H. Zhang, X. D. Guo, J. He, Z. Y. Qian // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2008. – Vol. 28, No. 8. – P. 1623–1629. – doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2007.11.016.
4. Saber, O. Preparation and characterization of a new nano layered material, Co-ZrLDH / O. Saber // *Journal of Materials Science*. – 2007. – Vol. 42, No. 23. – P. 9905–9912. – doi: 10.1007/s10853-007-2097-5.
5. Saber, O. Preparation of new layered double hydroxide, Co-V LDH / O. Saber, H. Tagaya // *Rev. Adv. Mater. Sci*. – 2005. – Vol. 10. – P. 59–63. – doi: 10.1007/s10847-004-4819-5.
6. Fan, G. Catalytic applications of layered double hydroxides: recent advances and perspectives / G. Fan, F. Li, D. G. Evans, X. Duan // *Chem. Soc. Rev*. – 2014. – Vol. 43, No. 20. – P. 7040–7066. – doi: 10.1039/C4CS00160E.
7. Sels, B. F. Molybdate- and tungstate-exchanged layered double hydroxides as catalysts for $^1\text{O}_2$ formation: characterization of reactive oxygen species and a critical evaluation of $^1\text{O}_2$ detection methods / B. F. Sels, D. E. De Vos, P. J. Grobet [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 1999. – Vol. 103, No. 50. – P. 11114–11123. – doi: 10.1021/jp992236z.
8. Cheng, J. Novel Co-Mg-Al-Ti-O catalyst derived from hydrotalcite-like compound for NO storage/decomposition / J. Cheng, X. Wang, C. Ma, Z. Hao // *Journal of Environmental Sciences*. – 2012. – Vol. 24, No. 3. – P. 488–493. – doi: 10.1016/S1001-0742(11)60796-1.
9. Gao, Z. Y. Photodegradation of Pentachlorophenol using NiO-coupled NiTiO₃ Nanocomposites from Layered Precursor as Photocatalysts / Z. Y. Gao, H. Zhang // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vol. 396–398. – P. 411–416. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.396-398.411.
10. Nikolenko, N. V. Peroxide-based route for the synthesis of zinc titanate powder / N. V. Nikolenko, A. N. Kalashnykova, V. A. Solovov [et al.] // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2016. – doi: 10.1016/j.arabj.2016.06.018.
11. Mitchell, P. C. H. Propane dehydrogenation over molybdenum hydrotalcite catalysts / P. C. H. Mitchell, S. A. Wass // *Applied Catalysis A: General*. – 2002. – Vol. 225, No. 1. – P. 153–165. – doi: 10.1016/S0926-860X(01)00862-6.
12. Klemkaitė-Ramanauskė, K. Preparation of Mg/Al layered double hydroxide (LDH) with structurally embedded molybdate ions and application as a catalyst for the synthesis of 2-adamantylidene(phenyl)amine Schiff base / K. Klemkaitė-Ramanauskė, A. Žilinskas, R. Taraškevičius [et al.] // *Polyhedron*. – 2014. – Vol. 68. – P. 340–345. – doi: 10.1016/j.poly.2013.11.009.
13. Taube, F. Characterization of aqueous peroxomolybdates with catalytic applicability: Thesis / F. Taube. – Umeå : Dept. of Chemistry, Umeå University – 2002. – 65 p.
14. Solovov Vitalii Comparison of characteristics of Ni(II)-Ti(IV) layered double hydroxides synthesized by different coprecipitation techniques / Vitalii Solovov, Nikolai Nikolenko, Vadym Kovalenko, Valerii Kotok // *IFSES 2016 Memory. – International Forum for Science and Engineering Students, Guadalajara, Mexico – April, 2016*. – doi: 10.13140/RG.2.226569.95842.
15. Gao, Z. et al. Adsorption of Pentachlorophenol from Aqueous Solution on Dodecylbenzenesulfonate Modified Nickel Titanium Layered Double Hydroxide

- Nanocomposites / **Z. Gao** et al. // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2011. – Vol. 50. – P. 5334–5345. – doi: 10.1021/ie101766e
16. **Davantès, A.** In situ real time infrared spectroscopy of sorption of (poly)molybdate ions into layered double hydroxides / **A. Davantès, G. Lefèvre** // *The Journal of Physical Chemistry A.* – 2013. – Vol. 117, No. 48. – P. 12922–12929. – doi: 10.1021/jp408885k.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Cavani F., Trifirò F., Vaccari A.** Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications. *Catalysis today*, 1991, **2**(11), 173–301, doi: 10.1016/0920-5861(91)80068-K.
 2. **Shu X. et al.** Formation of Ni-Ti-layered double hydroxides using homogeneous precipitation method. *Solid State Sciences*, 2006, **8**, 634–639, doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2006.02.029.
 3. **Zhang, W. H., Guo, X. D., He, J., Qian, Z. Y.** Preparation of Ni(II)/Ti(IV) layered double hydroxide at high supersaturation. *Journal of the European Ceramic Society* 2008, **8**(28), 1623–1629, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2007.11.016.
 4. **Saber, O.** Preparation and characterization of a new nano layered material, Co–Zr LDH. *Journal of Materials Science*, 2007, **23** (42), 9905–9912, doi: 10.1007/s10853-007-2097-5
 5. **Saber, O., Tagaya, H.** Preparation of new layered double hydroxide, Co-V LDH. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 2005, **10**, 59–63, doi: 10.1007/s10847-004-4819-5.
 6. **Fan, G., Li, F., Evans, D. G., Duan, X.** Catalytic applications of layered double hydroxides: recent advances and perspectives. *Chem. Soc. Rev.*, 2014, **20**(43), 7040–7066, doi: 10.1039/C4CS00160E.
 7. **Sels, B. F., De Vos, D. E., Grobet, P. J.** et al. Molybdate- and tungstate-exchanged layered double hydroxides as catalysts for $^{18}\text{O}_2$ formation: characterization of reactive oxygen species and a critical evaluation of $^{18}\text{O}_2$ detection methods. *The Journal of Physical Chemistry B.*, 1999, **50**(103), 11114–11123, doi: 10.1021/jp992236z.
 8. **Cheng, J., Wang, X., Ma, C., Hao, Z.** Novel Co-Mg-Al-Ti-O catalyst derived from hydrotalcite-like compound for NO storage/decomposition. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **3**(24), 488–493, doi: 10.1016/S1001-0742(11)60796-1
 9. **Gao, Z. Y., Zhang, H.** Photodegradation of Pentachlorophenol using NiO-coupled NiTiO₃ Nanocomposites from Layered Precursor as Photocatalysts. *Advanced Materials Research*, 2011, **396–398**, 411–416, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.396-398.411.
 10. **Nikolenko, N. V., Kalashnykova, A. N., Solovov, V. A.** et al. Peroxide-based route for the synthesis of zinc titanate powder. *Arabian Journal of Chemistry*, 2016, doi: 10.1016/j.arabjc.2016.06.018.
 11. **Mitchell, P. C. H., Wass, S. A.** Propane dehydrogenation over molybdenum hydrotalcite catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 2002, **1**(225), 153–165, doi: 10.1016/S0926-860X(01)00862-6.
 12. **Klemkaitė-Ramanauskė, K., Žilinskas, A., Taraškevičius, R.** et al. Preparation of Mg/Al layered double hydroxide (LDH) with structurally embedded molybdate ions and application as a catalyst for the synthesis of 2-adamantylidene(phenyl)amine Schiff base. *Polyhedron*, 2014, **68**, 340–345, doi: 10.1016/j.poly.2013.11.009.
 13. **Taube, F.** Characterization of aqueous peroxomolybdates with catalytic applicability. Thesis. *Dept. of Chemistry, Umeå University*, 2002, 65 p.
 14. **Vitalii Solovov, Nikolai Nikolenko, Vadym Kovalenko, Valerii Kotok** Comparison of characteristics of Ni(II)-Ti(IV) layered double hydroxides synthesized by different coprecipitation techniques. *IFSES 2016 Memory. International Forum for Science and Engineering Students, Guadalajara, Mexico*, April, 2016, doi: 10.13140/RG.2.226569.95842.
 15. **Gao, Z.** et al. Adsorption of Pentachlorophenol from Aqueous Solution on Dodecylbenzenesulfonate Modified Nickel Layered Double Hydroxide Nanocomposites. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2011, **50**, 5334–5345. doi: 10.1021/ie101766e.
 16. **Davantès, A., Lefèvre, G.** In situ real time infrared spectroscopy of sorption of (poly)molybdate ions into layered double hydroxides. *The Journal of Physical Chemistry A.*, 2013, **48**(117), 12922–12929, doi: 10.1021/jp408885k.

Сведения об авторах (About authors)

Соловов Виталий Андреевич – магистр, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», аспирант кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина; e-mail: sva-92@mail.ru.

Vitalii Solovov – master, Ph. D. student, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Ph.D. student of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine; e-mail: sva-92@mail.ru.

Николенько Николай Васильевич – доктор химических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», заведующий кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина; e-mail: n_nikolenko@ukr.net

Nikolai Nikolenko – Professor of Chemical Sciences (Ph. D.), professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, head of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine; e-mail: n_nikolenko@ukr.net

Коваленко Вадим Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», доцент кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский Государственный Университет», кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств г. Вятка, Российская федерация; e-mail: vadimchem@gmail.com

Vadym Kovalenko – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.), Associate Professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Associate Professor of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine;

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», associate professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing. Kirov city, Russian Federation; e-mail: vadimchem@gmail.com

Коток Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», доцент кафедры процессов и аппаратов и общей химической технологии, г. Днепр. Украина.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский Государственный Университет», кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств, г. Вятка, Российская федерация; e-mail: valeriykotok@gmail.com

Valerii Kotok (V.A. Kotok) – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.), Associate Professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, associate professor of department of Processes, Apparatus and General Chemical Technology, Dnipro city, Ukraine;

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», associate professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, Kirov city, Russian Federation; e-mail: valeriykotok@gmail.com

Бурков Андрей Алексеевич – кандидат химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский Государственный Университет», кафедра химии и технологии переработки полимеров, г. Вятка, Российская федерация; e-mail: andrey_burkov@mail.ru

Andrei Burkov – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», associate professor of Department of Chemistry and Processing Technology of Polymers, Kirov city, Russian Federation; e-mail: andrey_burkov@mail.ru

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Соловов, В. А. Получение молибдат содержащего Ni-Ti слоистого двойного гидроксида одностадийным обратным синтезом и изучение его характеристик / **В. А. Соловов, Н. В. Николенко, В. Л. Коваленко, В. А. Коток, А. А. Бурков** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 211-216. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.34.

Please cite this article as:

Solovov, V., Nikolenko, N., Kovalenko, V., Kotok, V., Burkov, A. Synthesis of molybdate-intercalated Ni-Ti layered double hydroxide by coprecipitation at high supersaturation and characterization. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 211–216, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.34.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Соловов, В. А. Отримання молибдат-вмісного Ni-Ti подвійно-шарового гідроксиду одно стадійним зворотнім синтезом і вивчення його характеристик / **В. А. Соловов, М. В. Ніколенко, В. Л. Коваленко, В. А. Коток, А. О. Бурков** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 211-216. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.34.

АНОТАЦІЯ Зразок молибдат-вмісного Ni-Ti подвійно-шарового гідроксиду (ПШГ) був отриманий одно стадійним зворотнім синтезом: поступовим введенням розчину солей нікелю та титану в розчин лугу з додаванням гептамолибдату амонію при постійному перемішуванні та кімнатній температурі. Структура зразка як подвійно-шарового гідроксиду підтверджена результатами ІЧ-спектроскопії, РФА і дериватографії. За результатами ІЧ-спектроскопії було показано наявність в між шаровому просторі ПШГ гексамолибдат-аніонів. РСМА встановлено наступне співвідношення металів в синтезованому ПШГ Ni:Ti:Mo=1:0,19:0,22.

Ключові слова: молибдат-вмісний Ni-Ti подвійно-шаровий гідроксид; гептамолибдат; одно стадійний зворотній синтез.

Надійшла (received) 14.12.2016

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ФОСФОГІПСУ ДЛЯ СИСТЕМ БІОДЕСУЛЬФУРИЗАЦІЇ

Е. Ю. ЧЕРНЫШ, Е. Н. ЯХНЕНКО*, Л. Д. ПЛЯЦУК

Кафедра прикладної екології, Сумський державний університет, Суми, УКРАЇНА
*email: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

АНОТАЦІЯ В статті описано лабораторну модель процесу грануляції фосфогіпсу, визначено оптимальний середній розмір гранул мінерального завантаження з фосфогіпсу з урахуванням особливостей розвитку біоплівки; досліджено особливості процесу розвитку бактеріального матриксу сіркоокислюючих бактерій на гранулах відвального дигідратного фосфогіпсу. Визначено особливості впливу часу гранулювання і вологості фосфогіпсу на процес гранулювання, а також апроксимовані рівняннями регресії вплив даних факторів на оптимізацію процесу гранулоутворення. Теоретично та експериментально обґрунтовано склад добавок для модифікації гранул фосфогіпсу.

Ключові слова: мінеральний носій; фосфогіпс; гранулювання; матрикс сіркоокислюючих бактерій.

OPTIMIZATION OF THE PHOSPHOGYPSUM GRANULATION FOR BIO-DESULFURIZATION SYSTEMS

E. CHERNISH, E. YAKHNENKO, L. PLYATSUK

Department of applied ecology, Sumy State University (SSU), Sumy, UKRAINE

ABSTRACT The paper focused on describes a laboratory model of granulation phosphogypsum. Phosphogypsum is a kind of gypsum that occurs as a by-product and was obtained from phosphate rock during the production of phosphoric acid in fertilizer plants. The most optimal conditions for the granulation process were determined. The optimal average grain size of phosphogypsum granules of mineral download for the development of biofilms was determined. The features of the development of matrix of sulfur-oxidizing bacteria under dehydrate phosphogypsum granules was studied. The parameters of granulation process were estimated such as granulation time and humidity of phosphogypsum at process. The optimum humidity range with addition of hydrated lime was observed during the process of dihydrate phosphogypsum granulation. The regression equations for approximated of the impact of these factors for process optimization granulation was developed. The biofilm of biomass was found in the surface of the granules after Micro X-ray analysis. Bacterial matrix penetrates deep into the pores of the thin pellet. The mineral components of granulated material were subjected to enzymatic transformation by cells, forming an internal "bioactive layer". The clusters of amorphous sulfur deposits were formed on the surface of the phosphogypsum granular load, which indicates the active metabolism of Thiobacillus. Using the bio-activity properties under optimum conditions for treatment of the phosphogypsum waste leads to obtain a product that can be safely used in many biotechnological applications.

Keywords: mineral carrier; phosphogypsum; granulation; matrix of sulfur-oxidizing bacteria; biotechnological applications.

Вступ

Сьогодні на території України у відвалах знаходиться близько 30 млн. тон фосфогіпсу [1]. Відповідно актуальним є розробка нових напрямків утилізації фосфогіпсових відходів.

Відповідно цьому присвячено праці вітчизняних та зарубіжних вчених [2-9]. Так, в [2] пропонується переробка фосфогіпса в сірчану кислоту й вапно, при цьому відзначається, що найбільше доцільно розміщати відповідне виробництво поблизу вугільних електростанцій, що використовують технологію циркулюючого киплячого шару, так як в даній технології CaO – вмісту речовину використовують для зв'язування оксидів сірки, що утворюються в процесі горіння палива. Таке виробництво сірчаної кислоти й вапна з фосфогіпса на сьогоднішній день є нерентабельним у порівнянні з методами одержання цього продукту із традиційної сировини, тому у світі поки працюють тільки дві

установки по одержанню сірчаної кислоти й вапна з фосфогіпса.

В [3] обґрунтована доцільність створення рентгенозахистних конструкцій з композиційного матеріалу на основі фосфогіпса. Однак потрібні подальші дослідження механізмів впливу композиційних матеріалів на основі фосфогіпсових в'язких на ефективність захисту від рентгеновського й гамма-випромінювань.

Для вилучення рідкісноземельних елементів (РЗЕ) з фосфогіпса використовуються методи обробки його сірчаною, азотною кислотами, з переведенням рідкісноземельних елементів у розчин і наступним їхнім вилученням з розчину обробкою аміаком, лугами, фторидами і т.д. [4-6]. Варто відмітити, що при реалізації таких технічних рішень відбувається утворення значних об'ємів стічних вод, які також потребують подальшої обробки та утилізації. Процес енергомісткий та потребує значних витрат хімічних реагентів. При цьому такі способи вилучення РЗЕ з

фосфогіпса не дозволяють одержати досить високий результат (ступінь вилучення коливається від 25 до 80%). Крім того, описані технології вимагають великих об'ємів обладнання для сірчаноокислого вилуговування й фільтрувального устаткування.

Важливим є використання фосфогіпсових відходів в сільському господарстві, існують розробки щодо його застосування як меліоранту та як компонента мінеральних добрив [7,8]. При внесенні в ґрунт фосфогіпсу може мати місце посилення вертикальної й горизонтальної міграції важких металів, що необхідно враховувати при його дозуванні. Необхідно зазначити, що на сьогодні все більше в наукових працях приділяється увага вдосконаленню технологічних рішень при обробці цього відходу для зниження швидкості вимивання мікроелементів з добрив на його основі.

Одним із перспективних напрямків є утилізація фосфогіпсових відходів у біотехнологічних системах, зокрема системах біодесульфуризації газових потоків [10-11]. Використання фосфогіпсу як мінерального носія для ряду еколого-трофічних груп мікроорганізмів обумовлює можливість розширення сфери застосування його в біотехнологічних процесах.

Одним із важливих завдань є оптимізація процесу виробництва гранул із фосфогіпсу з урахуванням особливостей розвитку на їх поверхні біоплівки потрібних видів бактерій.

Формулювання мети роботи

Мета роботи - оптимізація процесу гранулювання фосфогіпсу.

Відповідно до мети були визначені завдання дослідження:

- визначення оптимального середнього розміру гранул з урахуванням особливостей розвитку біоплівки;
- визначення впливу часу гранулювання і вологості фосфогіпсу на процес гранулювання.

Викладення основного матеріалу

Матеріали і методи дослідження.

Лабораторна модель процесу грануляції фосфогіпсу. Попередньо відвальний фосфогіпс висушували при температурі +60°C протягом 1 години. Надалі фосфогіпс переносили в обертовий тарілчастий гранулятор (рис.1).

Тарілка діаметром 250 мм і висотою бортів 65 мм була виготовлена з нержавіючої сталі. Швидкість обертання тарілки змінювали від 50 до 80 об/хв.

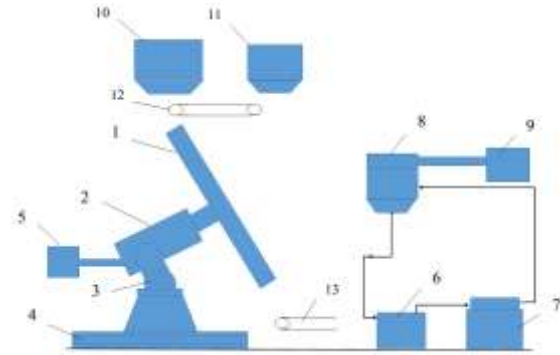


Рис. 1 – Схема установки гранулювання фосфогіпсу: 1 – тарілка; 2 – електродвигун; 3 – обладнання для регулювання кута нахилу тарілки; 4 – опорна рама; 5 – регулятор напруги; 6 – ємність для водного розчину; 7 – насос-дозатор; 8 – дисковий розпилювач; 9 – блок живлення; 10 – бункер фосфогіпса; 11 – дозатор вапна; 12 – транспортер вихідного матеріалу; 13 – транспортер готових гранул

При експериментах у періодичному режимі роботи обладнання вихідна навіска фосфогіпса подавалась з бункера 10 через транспортер 12 у тарілку 1 гранулятора. Водний розчин подавався безупинно з ємності 6 за допомогою насоса-дозатора 7 через дисковий розпилювач 8 на поверхню шару протогранул фосфогіпса, що знаходяться у русі. Вапно з бункера 11 подавалось з дозатора 12. У ході процесу періодично відбиралися проби для ситового аналізу.

Режими гранулювання (час, кут нахилу й швидкість обертів тарілки) фіксували для кожної серії дослідів. Їх підбирали залежно від співвідношення рідка фаза : тверда фаза. Співвідношення $r : t$ при змочуванні порошку варіювали так, щоб загальна вологість фосфогіпсу була оптимальною для отримання сферичних гранул з діаметром 1-7 мм. Порошок фосфогіпсу змочували водним розчином з додаванням гідратного вапна в кількості 3–6% від маси фосфогіпса (по сухій речовині).

Для зволоження фосфогіпсу використовували водний розчин $MnSO_4$ (2-4 мас. %). Вибір саме цієї солі обумовлений тим, що вона є однією з необхідних для розвитку бактеріальної культури речовин, а у зразках відвального фосфогіпсу, що брався із відвалу ВАТ «Суміхімпром», мангану не виявлено або виявлено у низькій кількості (менше 0,0001 мас%).

Дозу добавки вапна корегували в залежності від біологічних показників розвитку бактеріального матриксу на поверхні гранул, таким чином, щоб його розвиток становив не менше 10^9 КУО/г, що обумовлено стандартними характеристиками процесу біологічного очищення.

Отримані при гранулюванні гранули обережно переносили в ексикатор для набору ними міцності (до 8–9 кг/см²) і підсушування до вологості 10%. Ситовий аналіз включав підрахунок числа гранул з певними розмірами й вимір масової частини різних фракцій

гранул. Вимір площі поверхні й пористості гранул проводився методом капілярної конденсації азоту на аналізаторі сорбції газів Quantachrome NOVA 4200e.

Міцність гранул одного розміру (кг/см^2) визначали по зусиллю, яке необхідно докласти для їх роздавлювання при стисненні. При цьому брали середню величину, отриману в результаті 10 паралельних вимірювань.

Лабораторне дослідження процесу розвитку бактеріального матриксу на гранулах фосфогіпсу.

Середовище для культивування мало наступний склад: NH_4Cl , 1,0г; K_2HPO_4 , 0,6 г; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,2 г; $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,02 г; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 40 мг; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 80 мг; MnSO_4 , 15 мг; дистильованої води, 1000 мл; pH, 5,0. Ідентифікація культур проводилась по визначнику Бергі на основі даних по морфології, фізіології та по біохімічним властивостям мікробних клітин.

Дослідження форми та клітинної структури виконували на трансмісійному електронному мікроскопі EMB 100AK (НВО «Електрон», Суми, Україна).

Статистична обробка результатів здійснювалась в програмі MS Excel. Математична обробка результатів експериментів проводилась за допомогою пакета програми Statistica 6.0.

Результати та їх обговорення

Визначення оптимального середнього розміру гранул з урахуванням особливостей розвитку біоплівки. Відповідно до завдання дослідження і напрямку використання фосфогіпсових гранул оптимізація їх розміру повинна здійснюватися на основі визначення глибини проникнення бактеріального матриксу.

Для процесу очищення від сполук сірки газових потоків використовують аеробні групи сіркоокислюючих бактерій, до яких окрім облигатних аеробів, також відносять види бактерій, що можуть здійснювати метаболічну активність і при зниженій концентрації кисню, і тих, що не гинуть при його відсутності (факультативні аероби). При цьому мінеральні компоненти фосфогіпсу (кальцій, фосфор, сірка, калій, магній і т.д.) можуть використовуватися також як аеробними, так і анаеробними мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп.

Відповідно важливим є визначення оптимального розміру гранул і обмеження діаметру гранул у відповідності до характеру розвитку тіобактерій для стимулювання їх домінування серед інших видів мікроорганізмів.

Отже, до оптимальних за розміром відносять гранули, навколо яких домінують аеробні групи сіркоокислюючих мікроорганізмів в процесі експлуатації гранул фосфогіпсу у біофільтрі.

У процесі утворення біоплівки на гранулах глибина проникнення бактеріального матриксу всередину гранул не перевищує 1,5-2,5 мм (рис. 2, 3).

При цьому відбувається біотрансформація компонентів фосфогіпсу. Зона анаеробного росту не повинна перевищувати 2,5 мм.

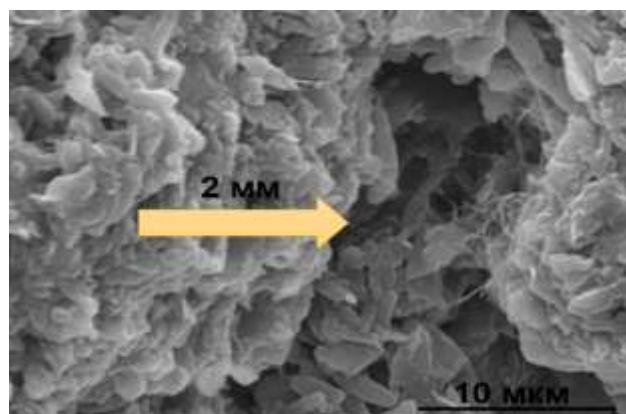


Рис. 2 – Мікрофотографія структури гранул фосфогіпсу після іммобілізації накопичувальної культури тіобактерій, збільш. 10 мкм: стрілкою вказана глибина проникнення бактеріального матриксу в гранулу

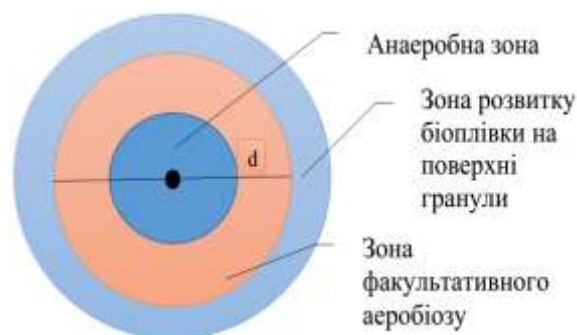


Рис. 3 – Схематичне зображення структури гранули із фосфогіпсу

Виходячи з вищевикладеного матеріалу, оптимальний розмір гранул можна визначити емпіричним шляхом за допомогою скануючої електронної мікроскопії фосфогіпсових гранул різного розміру з іммобілізованими на їх поверхні тіобактеріями. Відповідно оптимальний їх діаметр становить 4-5 мм (рис.2).

Визначення впливу часу гранулювання і вологості фосфогіпсу на процес гранулювання.

У процесі гранулювання спостерігалось зростання середнього розміру сферичних гранул при збільшенні часу в інтервалі 10-25 хвилин (рис. 4).

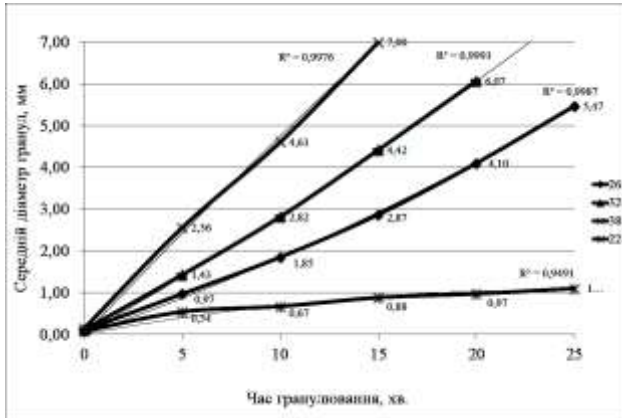


Рис. 4 – Середній діаметр гранул в залежності від часу гранулювання і вологості фосфогіпсу

Спостерігалась експоненційна залежність середнього розміру гранул від часу обробки, що узгоджується із припущенням про укрупнення часток в результаті злипання при грануляції вихідного дигідрата сульфату кальцію фосфогіпса з утворенням гранул, а також у результаті налипання часток за рахунок адгезійних сил.

При знаходженні оптимального поєднання таких факторів, як час гранулювання фосфогіпсу і значення його вологості, була побудована діаграма тривимірної поверхні (рис.5). Слід зауважити, що занадто велике зволоження (38%) призводить до збільшення відсотку утворення коржоподібних грудок, що прилипають до стінок тарілки, в той час як при вологості менше 22% гранули сферичної форми розміром більше 1 мм практично не утворюються.

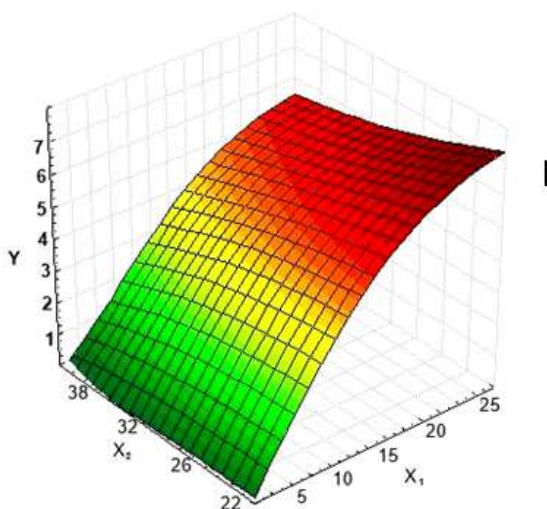


Рис. 5 – Діаграма залежності процесу гранулювання фосфогіпсу від часу обробки та вологості фосфогіпсу

За отриманими результатами (рис. 5) вплив факторів X_1 (час гранулювання) та X_2 (вологість фосфогіпсу в процесі обробки) на оптимізацію

процесу гранулоутворення (Y) апроксимується рівнянням регресії:

$$M(Y) = 215,34 - 190,27X_1 + 65,21X_2 - 20,46X_1^2; \quad (1)$$

Коефіцієнт детермінації склав 0,9987, стандартна помилка оцінки – 0,2120;

Вплив солі біоактивного металу ($MnSO_4$) на стійкість гранул наведена на рис. 6. При цьому було визначено, що оптимальним є внесення у водний розчин 3 мас. % сульфату марганцю (II), що дозволить забезпечити додаткове надходження поживних речовин для бактеріальної культури та незначно вплине на міцність гранул. При збільшенні масової частки цієї солі відбувалось зниження швидкості зміцнення гранул в ексикаторі.

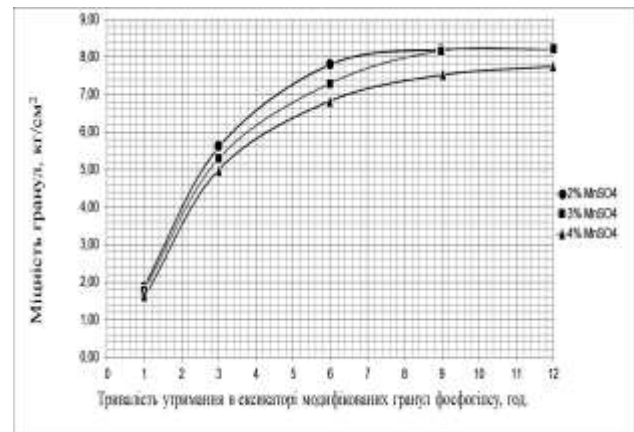
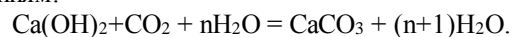


Рис. 6 – Залежність процесу зміцнення гранул фосфогіпсу від тривалості утримання при різній концентрації $MnSO_4$

Найбільш оптимальний варіант гранул із діаметром 4-5 мм спостерігався при гранулюванні фосфогіпса з вологістю 32% при додаванні гідратного вапна в кількості 5% від маси фосфогіпсу й часу гранулювання 15 хв. Слід зауважити, що збільшення вмісту добавки вапна до 6 % і більше спричиняло зменшення рівня розвитку сіркоокислюючих бактерій на поверхні фосфогіпсових гранул на 10^2 КУО/г від оптимального значення. Можливо це пов'язано з утворення карбонатної плівки на поверхні гранул внаслідок процесу карбонізації гідроксиду кальцію за рівнянням:



Механізм взаємодії вапна і фосфогіпсу полягає в підвищенні гідрофобних властивостей гранул. В процесі грануляції відбувається ущільнення агрегатів фосфогіпсу під дією внутрішнього агрегатного кристалізаційного тиску та утворення з напівводного і одноводного гіпсу, що містяться в фосфогіпсі, кристалів дигідратного гіпсу, якими заростають пори і частково цементуються вже наявні в фосфогіпсі агрегати дигідрату сульфату кальцію.

Зауважимо, що низький вміст добавки на рівні 3-4% не дозволяє досягти необхідних фізико-хімічних процесів, описаних вище.

Висновки

У роботі розглянуто процес грануляції фосфогіпсу та визначено оптимальну середню величину діаметру гранул дигідратного фосфогіпсу, що використовується в якості мінерального субстрата для іммобілізації сіркоокислюючих бактерій в біофільтрі.

При дослідженні процесу розвитку бактеріального матриксу на отриманих гранулах фосфогіпсу виявлено, що до оптимальних за розміром можна віднести гранули, навколо яких домінують аеробні групи сіркоокислюючих мікроорганізмів в процесі експлуатації гранул фосфогіпсу у біофільтрі. Крім того, визначено оптимальні умови проведення процесу гранулювання. Досліджено напрямки модифікації гранул фосфогіпсу внесенням добавки із вапна та розчина сульфату мангану (II) для оптимізації необхідних фізико-хімічних та біохімічних властивостей гранульованого фосфогіпсу.

Список літератури

1. **Малик, Н. Ю.** Двостадійна хімічна переробка фосфогіпсу в нітрат амонію / **Н. Ю. Малик, М. С. Мальований, Ю. О. Малик** // *Львівська політехніка*. – 2005. – С. 207 – 211.
2. **Манжина, С. А.** Использование крупнотоннажного отхода фосфогипса для снижения SO₂-содержащих выбросов угольной теплоэлектростанции / **С. А. Манжина, В. В. Денисов, И. А. Денисова** // *Инженерный вестник Дона*. – 2014. – Выпуск №1, том 28. – С. 77–87.
3. **Булат, А. Ф.** Рентгенозахисні властивості фосфогіпсового в'язучого з рідкоземельним наповнювачем / **А. Ф. Булат, В. А. Іванов, К. С. Голов, Ю. В. Мисовець**. // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2010. – № 5. – С. 48–51.
4. **Пат. 88658.** Спосіб вилучення рідкісноземельних елементів із фосфогіпсу / **С. В. Власян, М. Д. Волошин** та інші // Бюл. № 6. – 2014р.
5. **Peelman, S.** Leaching of rare earth elements: past and present / **S. Peelman, Zhi H. I. Sun, J. Sietsma, Y. Yang** // *ERES 2014: 1st European Rare Earth Resources Conference. Milos*. – 04-07/09/2014.
6. **El-Didamony, H.** Treatment of phosphogypsum waste produced from phosphate ore processing / **H. El-Didamony, H. S. Gado, N. S. Awwad, M. M. Fawzy, M. F. Attallah** // *J Hazard Mater*. – 2013. – Vol. 244-245. – P. 596-602. – doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.053.
7. **Degirmenci, N.** Application of phosphogypsum in soil stabilization / **N. Degirmenci, A. Okucu, A. Turabi** // *Building and Environment*. – 2007. – Vol. 42, № 9. – P. 3393–3398. – doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.010
8. **Фирсова, Л. П.** Замедление выщелачивания добавок биологически активных микроэлементов (Co, Cu, Mo) из гранулированного фосфогипса / **Л. П. Фирсова** // *Вестник Московского университета. Сер. 2, Химия*. – 2008. – Т. 49, N 4. – С. 270 – 273.
9. **Plyatsuk, L. D.** The Removal of Hydrogen Sulfide in the Biodesulfurization System Using Granulated

- Phosphogypsum / **L. D. Plyatsuk, Ye. Yu. Chernysh** // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2016. – Vol. 18, №1. – P.47–54. – doi: 10.18321/ectj395.
10. **Chernysh, Ye. Yu.** Opportunity of biochemical process for phosphogypsum utilization / **Ye. Yu. Chernysh, L. D. Plyatsuk** // *The Journal of Solid waste technology and managment, USA*. – 2016. – Vol.42, no 2. – P. 108–115. – doi: 10.5276/JSWTM.2016.108.
 11. **Черныш, Е. Ю.** Определение режимных параметров работы высоконагруженных систем биодесульфуризации с применением фосфогипса / **Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – №12 (1184). – С. 207 – 212. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.12.31.

Bibliography (transliterated)

1. **Malik, N., Malovanij, M. and Malik, Yu.** Two-step chemical processing phosphogypsum to ammonium nitrate. *Lvivska politexnika*. 2005, 207-211.
2. **Manzhina, S., Denisov, V. and Denisova, I.** Using of large-scale waste phosphogypsum to reduce emissions of SO₂-containing coal power plant. *Engineering Journal of Don*. 2014, 1 (28), 77–87.
3. **Bulat, A., Ivanov, V., Holov, K. and Mysovets Yu.** Radio-protective properties of phosphogypsum binding agent with rare-earth filler. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2010, 5, 48–51.
4. **Vlasyan, S., Voloshin, M.** Method of extracting rare earth elements with phosphogypsum. Declarative patent for utilities model. 2014, № UA 88 658, *Bull. Number 6*.
5. **Peelman, S., Sun, Zhi., Sietsma, J. and Yang., Y.** Leaching of rare earth elements: past and present. *1st European Rare Earth Resources Conference 04-07/09/2014*.
6. **El-Didamony, H., Gado, H. S., Awwad, N. S., Fawzy, M. M., Attallah, M. F.** Treatment of phosphogypsum waste produced from phosphate ore processing. *J Hazard Mater*. 2013, 244-245, 596-602, doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.053.
7. **Degirmenci, N., Okucu, A., Turabi, A.** Application of phosphogypsum in soil stabilization. *Building and Environment*. 2007, 42(9), 3393–3398, doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.010.
8. **Firsova, L. P.** Slow leaching of biologically active additives microelements (Co, Cu, Mo) from granulated phosphogypsum. *Vestnik. Mosk. Univ. Ser. 2. CHEMISTRY*. 2008, 49(4), 270 – 273.
9. **Plyatsuk, L. D., Chernysh, Ye. Yu.** The Removal of Hydrogen Sulfide in the Biodesulfurization System Using Granulated Phosphogypsum. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 2016, 18 (1), 47–54, doi: 10.18321/ectj395.
10. **Chernysh, Ye. Yu., Plyatsuk, L. D.** Opportunity of biochemical process for phosphogypsum utilization. *The Journal of Solid waste technology and management, USA*. 2016, 42(2), 108–115, doi: 10.5276/JSWTM.2016.108.
11. **Chernish, E., Yakhnenko, E.** Determination of regime parameters of heavy loaded of bio-desulfurization system with phosphogypsum using. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 12(1184), 207 – 212, doi: 10.20998/2413-4295.2016.12.31.

Відомості про авторів (About authors)

Черниш Єлизавета Юрївна – кандидат технічних наук, Сумський державний університет (СумДУ), докторант, старший викладач кафедри прикладної екології Сумського державного університету, м. Суми, Україна, 40007; e-mail: e.chernish@ssu.edu.ua

Chernysh Yelizaveta – Candidate of Technical Sciences, doctoral student, senior lecturer in Department of Applied Ecology, Sumy State University (SSU), Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: e.chernish@ssu.edu.ua

Яхненко Олена Миколаївна – Сумський державний університет (СумДУ), асистент кафедри прикладної екології Сумського державного університету, м. Суми, Україна, 40007; e-mail: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

Yakhnenko Elena Nikolaevna – assistant in Department of Applied Ecology, Sumy State University (SSU), Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

Пляцук Леонід Дмитрович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології Сумського державного університету, Сумський державний університет (СумДУ), завідувач кафедри прикладної екології СумДУ, м. Суми, Україна, 40007, e-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

Plyatsuk Leonid Dmitrievich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of applied ecology of Sumy State University, Sumy State University (SSU), head of Department of applied ecology SSU, Sumy, Ukraine, 40007 ; e-mail: info@ecolog.sumdu.edu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Черниш, Є. Ю. Оптимізація процесу гранулювання фосфогіпсу для систем біодесульфуризації / **Є. Ю. Черниш, О. М. Яхненко, Л. Д. Пляцук** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. № 42 (1214). – С. 217-222. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.35.

Please cite this article as:

Chernysh, Ye., Yakhnenko, E. and Plyatsuk, L. Optimization of the phosphogypsum granulation for bio-desulfurization systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 217–222, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.35.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Черныш Е. Ю. Оптимизация процесса гранулирования фосфогипса для систем биодесульфуризации / **Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко, Л. Д. Пляцук** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 217-222. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.35.

АННОТАЦІЯ В статті описана лабораторна модель процесу грануляції фосфогіпса, визначено оптимальний середній розмір гранул мінеральної завантаження з фосфогіпса з урахуванням особливостей розвитку біопленки; досліджено особливість процесу розвитку бактеріального матрикса сероокислюючих бактерій на гранулах отвального дигідратного фосфогіпса. Визначено особливості впливу часу грануляції та вологості фосфогіпса на процес гранулювання, а також апроксимовано рівняннями регресії вплив даних факторів на оптимізацію процесу гранулоутворення. Теоретично та експериментально обґрунтовано склад добавок для модифікації гранул фосфогіпса.

Ключевые слова: мінеральний носитель; фосфогипс; грануляция; матрикс сероокисляющих бактерий.

Надійшла (received) 09.12.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ З ДОДАВАННЯМ БІЛКОВО-ЖИРОВИХ ЕМУЛЬСІЙ НА ОСНОВІ КУПАЖОВАНИХ ЖИРІВ

Д. А. ШВЕДЮК*, В. М. ПАСІЧНИЙ, Ж. І. ПРОХОРЕНКО

Кафедра технології м'яса та м'ясопродуктів Національного Університету Харчових Технологій, Київ, УКРАЇНА
*email: shvedyuk.d@ukr.net

АНОТАЦІЯ Досліджено вплив введення білково-жирових емульсій на основі купажованих жирів різного складу на фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості м'ясних січених напівфабрикатів, проведено їх порівняльний аналіз залежно від виду жирової фази та кількості внесення емульсії. Розглянуто взаємодію досліджуваних емульсій з іншими рецептурними складовими виробу – зокрема з клітковиною та зеленою масою подорожника. Проведено порівняльний аналіз дослідних зразків з контрольною групою та обґрунтовано оптимальну рецептуру кінцевого продукту.

Ключові слова: напівфабрикати; клітковина; жири; білково-жирова емульсія; подорожник; пальмова олія.

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF MEAT HALF-FINISHED PRODUCTS SUPPLEMENTED WITH MIXED FAT BASED PROTEIN - FAT EMULSION

D. SHVEDYUK*, W. PASICHNYI, Z. PROCHORENK

Department of meat and meat products technology of NUFT, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Production of half-finished meat products, including cutlets and nuggets can be supplemented with dietary fibre to have positive effect for human health. Also supplementation of dietary fibre and other vegetable products provide not only improvement of assimilability and make product cheaper, but degrade fatty-acid balance of product. Main object of this work was to investigate the ability of using mixed fat examples for production of protein-fat emulsion and following producing of half-finished meat products (especially cutlets). For investigation was taken a two kinds of mixed fats – one (A) including the palm oil (7%), palm oleine (30%) and rape oil (63%); and second (B) including the palm oil (70%), corn oil (25%) and flax oil (5%). Testing examples was distributed to the depend protein-fat emulsion content (20, 22,5 and 25 %). Protein-fat emulsion content the dry milk whey, animal protein, water and fat in ratio as – 16:4:60:20. Formulation of cutlets consist of emulsion (without fat in control examples), poultry meat (beast fillet and hip meat), hydrated dietary fibre and green mass of plantago.

Organization of experiment: examples was distributed of two control group and two investigative groups in depend of fat kind (A and B). Every group distributed to three examples – with content 20%, 22,5% and 25% of protein-fat emulsion. All examples was tested for basic physical and technological properties. Materials and methods: water holding capacity was investigated for filter paper method, pH of raw and cooked products was measured for hydrogen electrode method, cooking loss was researched for gravimetric method. Results. Examples of control group had lower rate for all basic properties (WHC – 50,8% to 57,5% in A group and 56,4%; cooking loss 1,6% in control and -3,5,-1,2% in A, B examples). Examples from A group has better properties and optimal intake of PFE estimated as 22,5%. Conclusion. PFE based on mixed fat including palm oil can improve biological value and functional properties of half-finished meat products produced with dietary fibre supplementation.

Keywords: half-finished meat products; dietary fibre; plantago; fat; protein-fat emulsion; dietary fibre.

Вступ

Станом на сьогоднішній день актуальним є виробництво січених м'ясних напівфабрикатів з застосуванням клітковини та інших рослинних компонентів [1, 11, 12]. Аргументом для цього є позитивний вплив клітковини та рослинних компонентів на процеси травлення в організмі людини [2], вміст в сировині вітамінів та радіопротекторна дія цих компонентів, що досягається за рахунок здатності їх зв'язувати важкі метали та виводити з організму [3, 4]. Проте такий підхід до виробництва даної продукції має суттєвий недолік, що полягає в незбалансованості жирно-кислотного складу продукту [5]. Цю проблему можна

вирішити введенням до рецептури білково-жирових емульсій, розроблених на основі суміші жирів, яка є поєднанням різного роду рослинних олій в таких пропорціях, що дозволяють досягнути максимального балансу за основними ненасиченими жирними кислотами [6 - 9]. Тому виникає необхідність окрім очевидного позитивного впливу на біологічну цінність дослідити вплив такого способу збагачення на основні функціональні показники продукту.

Мета роботи

Метою роботи було дослідити вплив використання сумішей жирів на функціонально-технологічні та фізико-хімічні властивості м'ясних

січених напівфабрикатів з м'яса птиці з додаванням клітковини та зеленої маси подорожника та порівняти ці показники з аналогічними у контрольних зразках, визначити оптимальний рівень введення білково-жирової емульсії у рецептуру продукту.

Вклад основного матеріалу

Виробництво м'ясних напівфабрикатів на сучасному етапі є доволі перспективним напрямком, так, як зростання попиту на цю продукцію є продиктоване дедалі більшою урбанізацією населення. Це явище також поєднане з нераціональним харчуванням більшості верств населення, тому йдеться не тільки про вирівнювання балансу харчування за білковою складовою, а й про збагачення раціону клітковиною. За своїми властивостями клітковина покращує травлення у рахунок позитивного впливу на перистальтику кишечника, а також може виступати в ролі радіопротектора. Данні властивості клітковини є особливо актуальними в сучасних умовах нашої країни, так як після подій 1986 року на ЧАЕС вміст радіонуклідів в екосистемі України збільшився, як і захворюваність на онкологічні захворювання. До того ж сам по собі дефіцит харчових волокон у харчуванні населення є одною з реалій XXI століття фактично для усіх країн нашого регіону. Використання зеленої маси подорожника доцільне з точки зору вітамінізації продукту та дослідження можливості використання клітковини у найбільш наближеному до нативного виді. Також варто зазначити що з причини широкого поширення та доступності ця сировина є дешевим джерелом біологічно-активних речовин. Відносно рецептури продукту рішення вносити клітковину на досить високому рівні (20%) продиктоване позитивним її впливом на структурно-механічні показники, що покликане компенсувати рівень внесення БЖЕ та часткову заміну м'ясної сировини. Також з огляду на органолептичні показники та повноцінність за жирно кислотним складом доцільним є внесення тваринних жирів. В якості їх джерела обрано шпик свинячий, так, як він має високі органолептичні показники та високу біологічну цінність за заданою категорією речовин.

При виборі олій для формування сумішей користувались доступністю та збалансованістю кожної з них. В олії ріпаку міститься чимало вітаміну Е і фосфору, є каротиноїди, але дані про інших вітамінах і мінералах у різних джерелах відрізняються, хоча відомо, що в насінні ріпаку багато вітамінів групи В, цинку, міді, магнію, кальцію та інших елементів. Саме з причини високого вмісту ненасичених жирних кислот ріпакової олії фахівці стали рекомендувати включати у харчування пацієнтів із захворюваннями ШКТ і кровоносної системи: регулярне вживання цієї олії попереджає утворення тромбів. Ріпакова олія сприятливо діє на обмін речовин, прискорює процеси регенерації в

клітинах, сприяє схудненню, так як знижує кількість шкідливого холестерину в крові. Масло, що минув особливу очищення, містить більшу кількість різних жирних кислот, і тому більш корисно, ніж дороге оливкова олія вищої якості. Сьогодні рапсове масло стали частіше використовувати в різних здорових дієтах, замінюючи їм інші рослинні олії, якість яких нижче, а засвоєваність – важче. Кукурудзяна олія має приємні запах і смак. Колір — від світло-жовтого до червонувато-коричневого. Густина при 10 °С 924 кг/м³, температура застигання від -10 до -15°С. За своїм хімічним складом кукурудзяна олія подібна до соняшникової олії. Вміст жирних кислот: насичених (сумарно): 10-14%, ненасичених (сумарно): 85-86%.

Кукурудзяна олія містить кислоти (у %): 2,5—4,5 стеаринова, 8—11 пальмітинова, 0,1—1,7 міристинова, 0,4 арахінова, 0,2 лігноцеринова, 30—49 олеїнова, 40—56 ліноленова, 0,2—1,6 гексадеценава

Постановка експерименту відбувалась наступним чином: дослідні зразки були розділені на 3 групи – контрольну, групу А та групу Б. У контрольній групі досліджувались зразки, в рецептурі яких білкова емульсія включала в себе білок тваринний та суху молочну сироватку з додаванням води (16, 4 і 80% відповідно), тоді як у групах А і Б білково-жирова емульсія була приготована аналогічно, проте з заміною 20% води на жир. Рівень введення емульсії (БЖЕ) прийнятий мінімальним у контрольному зразку та в третині зразків груп А і Б – 20%. Решту сировини складало м'ясо птиці (філе грудинки та м'ясо стегна), сало свинини, зелена маса подорожника (2%) та гідратована клітковина (18%). При виборі основної м'ясної сировини обрано саме м'ясо птиці з причини його низької собівартості, доступності на ринку та високої біологічної цінності при відносно низькій калорійності. Клітковина перед внесенням при фаршескладанні була гідратована у співвідношенні 2,25 частин води на кожну частину сухої клітковини. Порядок складання білкових та білково-жирових емульсій стандартний для даної технології з внесенням жирової фази наприкінці процесу змішування. Зелена маса подорожника внесена у суміші з клітковиною у вигляді сухого порошку, так, як він має максимальні строки зберігання та вищу біологічну цінність порівняно з свіжою зеленою масою. Рівень внесення зеленої маси подорожника аргументований органолептичними показниками і складає 2% від загальної маси продукту. Групи А і Б розподілені за вмістом БЖЕ на зразки, що містять 20, 22,5 і 25% відсотків БЖЕ з метою встановити оптимальний рівень введення цієї складової, вплив якого на функціональні показники буде позитивним. Склад суміші жирів у групі А – пальмова олія, пальмовий олеїн і ріпакова олія у співвідношенні – 7/30/63%, склад суміші у групі Б – пальмова, кукурудзяна та ляна олії у співвідношенні – 70/25/5 %.

Були досліджені наступні показники у готовому продукті – вміст вологи і сухих речовин,

вологозв'язуюча здатність (ВЗЗ), рН, втрати при термічній обробці і вихід готового продукту. Вміст вологи визначали арбітражним методом, рН за допомогою потенціометричного методу, ВЗЗ методом пресування з фільтрувальним папером, вихід та втрати при термічній обробці – гравіметрично. Досліди проведені у 3 повторах, значення прийняті середніми.

Обговорення результатів

Досліджувані показники усіх зразків знаходяться на достатньо високому рівні і не поступаються аналогічним показникам готових виробів класичних рецептур.

За результатами досліджень виявлено чітку тенденцію випробуваних БЖЕ покращувати усі основні функціональні показники продукту і помітну перевагу у цих показниках порівняно з контрольною групою, де білкова емульсія була приготована без додавання жиру. За основними показниками найбільшу різницю виявлено між контрольним зразком та зразками групи А. Особливо чітко це можна простежити у зміні рН – 6,3 для контрольних зразків, 5,8 і 6,0 відповідно найнижчий та найвищий показники у групі А. У зразках групи Б вагомої різниці у рН з контрольною групою не простежується, проте за іншими показниками вона наближена до групи А. Оптимальним за функціонально-технологічними показниками є зразок групи А з введенням 22,5% БЖЕ. Він має вихід 103,5% проти 98,4 у контрольній групі та максимальним виходом по групі Б – 101,2%, а також є оптимальним за кількістю зв'язаної вологи – 57,5%.

Таблиця 1 – Основні показники дослідних зразків

N	Зразок	Вміст БЕ/БЖЕ, %	рН	ВЗЗ, %	Вихід готового продукту, %
1	Контроль	20	6,3	50,8	98,4
2	A1	20	6,0	54,2	100,4
3	B1	20	6,2	49,8	97,5
4	A2	22,5	5,8	57,5	103,5
5	B2	22,5	6,15	52,4	101,2
6	A3	25	5,95	56,1	100,7
7	B3	25	6,1	47,9	95,5

Варто зазначити, що з перевищенням оптимального рівня введення БЖЕ у 22,5 % досліджувані показники починають понижуватись, тому можна зробити висновок про те, що досягнутий оптимальний рівень введення, який є таким для обох видів досліджуваних жирів. Попри дещо малі різниці між показниками деяких зразків, ці різниці зберігали і при повторенні дослідів, тобто мають характер не статистичної похибки а пов'язані з заданими факторами та умовами проведення експерименту.

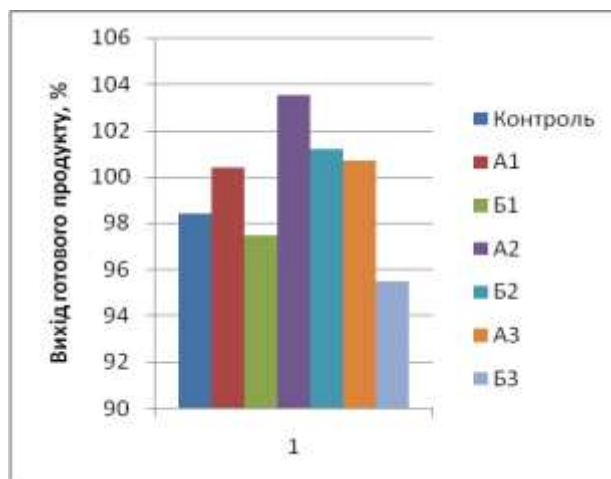


Рис. 1 – Діаграма виходу готового продукту, %

Висновки

Згідно проведених досліджень можна зробити висновки про позитивний вплив БЖЕ на основі збалансованих сумішей жирів на функціонально-технологічні характеристики м'ясних січених напівфабрикатів з додаванням клітковини та рослинних компонентів. У ході роботи була виявлена позитивна кореляція рівня введення БЖЕ з усіма показниками до досягнення оптимального рівня (22,5%) та доведено переваги БЖЕ порівняно з білковою емульсією без внесення жирової фази.

Список літератури

- 1 **Elleuch, M.** Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review / **M. Elleuch, D. Bedigian, O. Roiseux, S. Besbes, C. Blecker, H. Attia** // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 124, Is. 2. – P. 411-421. – doi: 10.1016/j.foodchem.2010.06.077.
- 2 **Slavin, J. L.** Position of the American Dietetic Association: Health Implications of Dietary Fiber / **J. L. Slavin** // *Journal of the American Dietetic Association*. – 2009. – Vol. 109, Is. 2. – 350 p. – doi:10.1016/j.jada.2008.08.007.
- 3 **Daniel, P.** The Protective Role of Fruits and Vegetables against Radiation-Induced Cancer / **P. Daniel, Ph. D. Hayes** // *Nutrition Reviews*. – 2005. – No 63(9). – P. 303-311. – doi: 10.1111/j.1753-4887.2005.tb00145.x.
- 4 **Guohua Hua, Shaohua Huangb, Hao Chena, Fei Wang,** Binding of four heavy metals to hemicelluloses from rice bran / **Guohua Hua, Shaohua Huangb, Hao Chena, Fei Wang** // *Food Chemistry*. – 2009. – Vol. 68, Is. 1. – P. 15–19. – doi: /10.1016/j.foodres.2009.09.029.
- 5 **Teye, G. A.** Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 2. Effects on properties of fat and processing characteristics of bacon and frankfurter-style sausages / **G. A. Teye, J. D. Wood, F. M. Whittington, A. Stewart, P. R. Sheard** // *Meat Science*. – 2006. – Vol. 73, Is. 1. – P. 166–17. – doi/ 10.1016/j.meatsci.2005.11.010.
- 6 **Simopoulos, A. P.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids / **A. P. Simopoulos** // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. – 2004. – Vol. 56, Is. 8. – P. 365-379. – doi: 10.1016/S0753-3322(02)00253-6.

- 7 **Rymer, C.** Lipids / **C. Rymer, D. I. Givens.** – 2005. – No 40. – 121 p. – doi:10.1007/s11745-005-1366-4.
- 8 **Howe, P.** Dietary intake of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources / **P. Howe, B. Meyer, S. Record, K. Baghurst** // *Nutrition.* – 2006. – No 22(1). – P. 47-53. – doi: 10.1016/j.nut.2005.05.0099.
- 9 **Wood, J. D.** Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review / **J. D. Wood, M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, F. M. Whittington** // *Meat Science.* – 2008. – No 78(4). – P. 343-58. – doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
- 10 **Jiménez-Colmenero, F.** Healthier meat and meat products: their role as functional foods / **F. Jiménez-Colmenero, J. Carballo, S. Cofrades** // *Meat Sci.* – 2001. – No 59(1). – P. 5-13. – doi: 10.1016/S0309-1740(01)00053-5.
- 11 **Иванов, С.** Полуфабрикаты из мяса индейки с использованием текстуроформирующих наполнителей / **С. Иванов, В. Пасичный, И. Страшинский, А. Маринин, О. Фурсик, В. Крепак** // *Химия и технология пищи. Научные труды. Пищевой институт каунасского технологического университета.* – Каунас. – 2014. – Т. 48, № 2. – С. 25–33.
- 12 **Пасичний, В. М.** Розробка комбінованих білково-жирових емульсій для ковбас і напівфабрикатів з м'ясом птиці / **В. М. Пасичний, А. І. Маринин, О. О. Мороз, А. М. Герעדчук** // *Східно-Європейський журнал передових технологій.* – 2015. – Т. 1, № 6 (73) – С. 32-38. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36232.
- 4 **Guohua Hua, Shaohua Huangb, Hao Chena, Fei Wang,** Binding of four heavy metals to hemicelluloses from rice bran. *Food Chemistry,* 2000, **68**(1), 15–19, doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.029.
- 5 **Teye, G. A., Wood, J. D., Whittington, F. M., Stewart, A., Sheard, P. R.** Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 2. Effects on properties of fat and processing characteristics of bacon and frankfurter-style sausages. *Meat Science,* 2006, **73**(1), 166–17, doi: 10.1016/j.meatsci.2005.11.010.
- 6 **Simopoulos, A.P.** The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy,* 2004, **56**(8), 365-379, doi: 10.1016/S0753-3322(02)00253-6.
- 7 **Rymer, C., Givens, D. I.** Lipids, 2005, **40**, 121 p., doi: 10.1007/s11745-005-1366-4.
- 8 **Howe, P., Meyer, B., Record, S., Baghurst, K.** Dietary intake of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources. *Nutrition,* 2006, **22**(1), 47-53, doi: 10.1016/j.nut.2005.05.0099.
- 9 **Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., Hughes, S. I., Whittington, F. M.** Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science,* 2008, **78**(4), 343-58, doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019.
- 10 **Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., Cofrades, S.,** Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Sci.,* 2001, **59**(1), 5-13, doi: 10.1016/S0309-1740(01)00053-5.
- 11 **Ivanov, S., Pasichniy, V., Strashinskiy, I., Marinin, A., Fursik, O., Krepak, V.** Polufabrikaty iz myasa indeyki s ispolzovaniem teksturoformiruyuschih napolniteley. *Himiya i tehnologiya pischi. Nauchnyye trudy. Pischevoy institut kaunasskogo tehnologicheskogo universiteta. Kaunas,* 2014, **2** (48), 25–33.
- 12 **Pasichniy, V. M., Marynin, A. I., Moroz, O. O., Herעדchuk, A. M.** Development of combined protein-fat emulsions for sausage and semifinished products with poultry meat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 2015, **1**(6 (73)), 32–38, doi: 10.15587/1729-4061.2015.36232.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H.** Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chemistry,* 2010, **124**(2), 411-421, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.06.077.
- 2 **Slavin, J. L.** Position of the American Dietetic Association: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the American Dietetic Association,* 2009, **109**(2), 350 p., doi:10.1016/j.jada.2008.08.007.
- 3 **Daniel, P., Hayes, Ph. D.** The Protective Role of Fruits and Vegetables against Radiation-Induced Cancer. *Nutrition*

Відомості про авторів (About authors)

Пасичний Василь Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний Університет Харчових технологій, професор кафедри Технології м'яса та м'ясних продуктів; м. Київ, Україна; e-mail: pasww1@ukr.net.

Pasichnyi Vasyl Mykolayevitch – Doctor of Science, Professor, National University of Food Technologies, professor of Department of meat and meat products, Kyiv, Ukraine; e-mail: pasww1@ukr.net .

Шведюк Дмитро Анатолійович – студент, кафедра Технології м'яса та м'ясних продуктів, Національний Університет Харчових технологій, м. Київ; e-mail: shvedyuk.d@ukr.net.

Shvedyuk Dmytro Anatoliyovych – student, National University of Food Technologies, Department of meat and meat products, Kyiv, Ukraine; e-mail: shvedyuk.d@ukr.net.

Прохоренко Жанна Іванівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний Університет Харчових технологій; м. Київ, Україна; e-mail: pasww1@ukr.net

Prokhorenko Zhanna Ivanovna - PhD, senior researcher, National University of Food Technologies, professor of Department of meat and meat products, Kyiv, Ukraine; e-mail: pasww1@ukr.net .

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шведюк, Д. А. Дослідження фізико-хімічних властивостей напівфабрикатів м'ясних з додаванням білково-жирових емульсій на основі купажованих жирів / **Д. А. Шведюк, В. М. Пасичний, Ж.І. Прохоренко**// *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 223-227. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.36.

Please cite this article as:

Shvedyuk, D., Pasichnyi, V., Prokhorenko, Z. Investigation of physical and chemical properties of meat half-finished products supplemented with mixed fat based protein - fat emulsion. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 223–227, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.36.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шведюк, Д. А. Исследование физико-химических свойств полуфабрикатов мясных с добавлением белково-жировых эмульсий, основанных на купажных жирах / **Д. А. Шведюк, В. Н. Пасичный, Ж.И. Прохоренко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 223-227. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.36.

АНОТАЦІЯ *Исследовано влияние введения белково-жировых эмульсий, основанных на купажных жирах разного состава на физико-химические и функционально-технологические свойства мясных рубленых полуфабрикатов, проведено их сравнительный анализ в зависимости от вида жировой фазы и количества внесения эмульсии. Рассмотрено взаимодействие исследуемых эмульсий с другими рецептурными составляющими изделия – а точнее с клетчаткой и зеленой массой подорожника. Проведено сравнительных анализ исследуемых образцов с контрольной группой и обосновано оптимальную рецептуру конечного продукта.*

Ключевые слова: *полуфабрикаты; клетчатка; жиры; белково-жировая эмульсия; подорожник; пальмовое масло.*

Поступила (received) 09.11.2016

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

<i>Анофрієв П. Г., Бондаренко Л. Н., Черкудинов В. Е.</i> Аналітичне визначення опору качення ливарної форми по роликковим опорам	5
<i>Ахмед С. М., Акімов О. В., Костик К. О.</i> Дослідження дисперсійного твердіння сплаву на основі заліза	11
<i>Білінський Й. Й., Гладішевський М. В., Бурдейний В. Б.</i> Модель поширення ультразвукових хвиль в плинному середовищі	17
<i>Бондаренко М. О.</i> Методи оптимізації із застосуванням поверхонь відгуку, адаптовані до розв'язання задач аналізу та синтезу конструктивних параметрів тонкостінних машинобудівних конструкцій	22
<i>Голіков В. В., Мазур О. Н., Онищенко О. А.</i> Особливості проектування багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу	29
<i>Довгополов А. Ю., Некрасов С. С.</i> Технологія обробки гвинтової поверхні роз'ємного з'єднання в деталях з армованих композиційних матеріалів	38
<i>Засць О. М.</i> Вплив частки коксового газу в паливі на необхідний рівень підігріву повітря горіння доменних повітрянагрівачів при використанні їх теплоти димових газів	43
<i>Ідан А. Ф. І., Акімов О. В., Костик К. О.</i> Інноваційна технологія швидкісного азотування сталі	49
<i>Костик К. О.</i> Поверхнєве двошарове зміцнення сталі при послідовному насиченні вуглецем та бором в порошкових макро- та нанодисперсних середовищах	54
<i>Ларин О. О.</i> Параметризоване скінченно-елементне моделювання НДС лопаток робочих коліс парових турбін	64
<i>Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В.</i> Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи	69
<i>Литвин Ю. О., Строкань О. В., Мирошніченко М. Ю.</i> Нова технологія управління фізичними характеристиками повітря на об'єктах зі штучним середовищем існування	76
<i>Лістрова О. С., Бабакін Д. М.</i> Теоретико-економічний аналіз альтернативної сонячної енергетики	81
<i>Моргун С. О.</i> Удосконалення скінченно-елементних моделей лопаткових конструкцій	86
<i>Павленко А. М., Чейлітко А. О., Носов М. А.</i> Композиційна вісокопоріста теплова ізоляція з ефективного параметрами пористості	92
<i>Пилипенко С. В.</i> Розрахунок тепловиділень від пластичної деформації при холодній пільгерній прокатці труб	97
<i>Півень С. М., Рачинський В. В.</i> Програмні методи оцінки роботи, якості та функціональності обладнання каркасних компоновок	103
<i>Пугач І. І., Подкопаєв С. В., Іорданов І. В., Чепіга Д. А.</i> Дослідження стійкості бічних порід в складних гірничо-геологічних умовах	111
<i>Чайковська Є. Є., Матвієнко Н. О.</i> Контроль працездатності когенераційної системи на біодизельному паливі	117
<i>Ягун К. В.</i> Оптимізація режиму несиметричної трифазної мережі з використанням активного фільтра по вдосконаленому алгоритму	124

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

<i>Жидченко С. І., Дубовик Т. М.</i> Розробка програмного модуля моніторингу залишкових знань студентів з дисциплін кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем / С. І. Жидченко,	129
<i>Зацерковний В. І., Оберемок І. І., Оберемок Н. В., Хлевна Ю. Л.</i> Розвиток елементів КСУП на базі результатів реалізації процесів управління проектом	134
<i>Кучеренко І. А.</i> Використання renderscript на android-пристроях	140
<i>Погребняк С. В., Водка О. О.</i> Розробка комп'ютерної системи для обробки результатів експерименту за допомогою штучної нейронної мережі	145
<i>Савельєва О. С., Становський О. Л., Становська І. І., Березовська К. І., Хеблов І., Гур'єв І. М., Саух І. А.</i> Формалізація простору управління проектами	154
<i>Шестопалов О. Г., Гуца О. М.</i> Порівняльний аналіз кількісних методів створення систем підтримки прийняття рішень на підприємствах в умовах невизначеності	160
<i>Ярка У. Б., Мина Ж. В., Пелецишин О. П., Білуцак Т. М.</i> Сучасні інформаційні технології створення документації згідно стандартів управління якістю на основі ISO 9000	165

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

<i>Безусов А. Т., Манолі Т. А., Нікітчина Т. І., Глушков О. А., Барішева Я. О.</i> Біотехнологічні методи у виробництві фаршу з азово-чорноморських риб	173
<i>Мазасва В. С., Голодняк В. О., Демидов І. М., Левчук І. В., Голубець О. В.</i> Дослідження температур плавлення і кристалізації жирів методом диференціальної скануючої калориметрії	179
<i>Мельник Ю. Р., Старчевський Р. О.</i> Гетерогенно-каталітична трансестерифікація триолеату гліцерину в полі ультразвукових хвиль	188
<i>Омельченко Ю. Є., Демідов І. М.</i> Якісні показники воскоподібних речовин	193
<i>Попова С. Ю., Слащева А. В.</i> Дослідження реологічних властивостей дріжджового тіста протягом ферментації	199
<i>Сидоренко О. В., Боліла Н. О., Форостяна Н. П.</i> Прогнозування терміну зберігання чорноморської акули катран залежно від імпульсу сили деформації	205
<i>Соловов В. А., Ніколенко М. В., Коваленко В. Л., Коток В. А., Бурков А. О.</i> Отримання молібдат-вмісного NI-TI подвійно-шарового гідроксиду одно стадійним зворотнім синтезом і вивчення його характеристик	211
<i>Черниш Є. Ю., Яхненко О. М., Пляцук Л. Д.</i> Оптимізація процесу гранулювання фосфогіпсу для систем біодесульфуризації	217
<i>Шведюк Д. А., Пасічний В. М., Прохоренко Ж. І.</i> Дослідження фізико-хімічних властивостей напівфабрикатів м'ясних з додаванням білково-жирових емульсій на основі купажованих жирів	223

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

<i>Anofriev P., Bondarenko L., Cherkudinov V.</i> Analytical determination of the resistance of rolling the mold on the roller supports	5
<i>Ahmed Sundus Mohammed, Akimov O., Kostyk K.</i> The study of dispersion hardening of the iron-based alloy	11
<i>Bilynsky Y., Gladyshevskiy M., Burdany V.</i> Model of distribution of ultrasonic waves in flowing medium	17
<i>Bondarenko M.</i> Optimization methods using response surfaces adapted to the tasks of analysis and synthesis of thin-walled machine structures design parameters	22
<i>Golikov V., Mazur O., Onishchenko O.</i> Design peculiarities of ice-class multi-purpose double-duty ship	29
<i>Dovgopолоv A., Nekrasov S.</i> Technology of processing of a screw surface of a detachable joint in details from the reinforced composite materials	38
<i>Zaiets O.</i> Influence of the coke gas share in the fuel on the required level of heating of blast stoves combustion air using their flue gas heat	43
<i>Idan Alaa Fadhil I., Akimov O., Kostyk K.</i> The innovative technology of high-speed nitriding steel	49
<i>Kostyk K.</i> Double-layered surface hardening of steel in successive saturation of carbon and boron in powdered macro and nanoscale environments	54
<i>Larin O. O.</i> Parametric finite element modeling of deformed state of steam turbine blade assemblies	64
<i>Lezhniuk P., Komar V., Kravchuk S.</i> Determination of optimal power reserves for carrying balance reliability of local electric system	69
<i>Lytvyn Yu., Strokan O., Miroshnichenko N.</i> New technology of management of air physical conditions in facilities with artificial environment	76
<i>Listrova O., Babakin D.</i> Theoretical economic analysis of alternative solar energy	81
<i>Morgun S.</i> The blades constructions finite elements models development	86
<i>Pavlenko A., Cheilytko A., Nosov M.</i> Compositional highly porous thermal insulation with effective porosity parameters	92
<i>Pylypenko S. V.</i> Calculation method for heat emission during plastic shaping in cold pilger rolling of pipes	97
<i>Piven S. M., Rachinskiy V. V.</i> The software methods of assessing performance, quality and functionality of the frame configuration equipment	103

<i>Pugach I., Podkopaev S., Iordanov I., Chepiga D.</i> Investigation of the stability of wall rocks in difficult mining and geological conditions	111
<i>Chaikovskaya Eu., Matvienko N.</i> Control working ability of the cogeneration system on biodiesel fuel	117
<i>Yagup K.</i> Optimization of mode of unbalanced three-phase power supply by active filter using advanced algorithms	124

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

<i>Zhydchenko S. I., Dubovyk T. M.</i> Development of the module monitoring residual knowledge of students from disciplines specialized computer systems	129
<i>Zacerkovnij V., Oberemok I., Oberemok N., Khlevna Y.</i> The development of IPM elements based on the results of the implementation of project management processes	134
<i>Kucherenko I. A.</i> Use renderscript on android-devices	140
<i>Pogrebnyak, S., Vodka, O.</i> Development of computer system for processing experiment results with neural networks	145
<i>Saveleva O., Stanovskiy O., Stanovska I., Beresovska K., Heblou I., Gurjev I., Saukh I.</i> The project management space formalization	154
<i>Shestopalov A., Hutsa O.</i> The comparative analysis of decision support system creation quantitative methods for enterprises in conditions of the uncertainty	160
<i>Yarka U., Myna Zh., Peleschyshyn O., Bilushchak T.</i> Modern information technologies of creating documents according to quality management standards based on ISO 9000	165

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

<i>Bezysov A., Manoli T., Nikitchina T., Glushkov O., Baryheva Y.</i> Biotechnological methods in production minced azov-black sea small fish	173
<i>Mazaieva V., Golodnyak V., Demydov I., Levchuk I., Holubec O.</i> A study of temperature of melting and crystallization of fats by differential scanning calorimetry	179
<i>Melnyk Yu., Starchevskiy R.</i> Heterogeneous catalytic transesterification of glycerol trioleate in the field of ultrasonic waves	188
<i>Omelchenko J., Demidov I.</i> Quality indicators waxlike substances	193
<i>Popova S., Slashcheva A.</i> The study of rheological properties of dough during fermentation	199
<i>Sydorenko O., Bolila N., Forostyana N.</i> Forecasting of structural characteristics of the black sea dogfish depending on a deformation force impulse	205
<i>Solovov V., Nikolenko N., Kovalenko V., Kotok V., Burkov A.</i> Synthesis of molybdate-intercalated NI-TI layered double hydroxide by coprecipitation at high supersaturation and characterization	211
<i>Chernysh Ye., Yakhnenko E., Plyatsuk L.</i> Optimization of the phosphogypsum granulation for bio-desulfurization systems	217
<i>Shvedyuk D., Pasichnyi V., Prokhorenko Z.</i> Investigation of physical and chemical properties of meat half-finished products supplemented with mixed fat based protein - fat emulsion	223

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

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 42 (1214) 2016

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. техн. наук А. В. Грабовський

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 39-16

Підп. до друку «29» грудня 2016 р. Формат 60x84 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. Фрунзе, 21
