

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

ВІСНИК

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

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 23 (1245) 2017

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 р.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245) – 203 с.

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

Збірник виходить українською, російською та англійською мовами.

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

Координаційна рада:

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

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

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

Редакційна колегія серії:

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

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

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

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

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

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ «ХПІ» Протокол № 5 від «02» червня 2017 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2017

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

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

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 23 (1245) 2017

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 23 (1245), 203 p.

State edition

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

The collection is published in Ukrainian, Russian and English.

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

Coordinating Board:

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

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

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

Recommended for publication by the Academic Council of NTU
"KhPI" Protocol number 5 of June, 02, 2017

© National Technical University "KhPI", 2017

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОГО ККД ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РОЗЧИНОНАСОСА ЗАЛЕЖНО ВІД КОНСТРУКЦІЇ КЛАПАННИХ ВУЗЛІВ

О. С. ВАСИЛЬЄВ*, Є. А. ВАСИЛЬЄВ, І. А. РОГОЗІН

Кафедра будівельних машин і обладнання, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава, УКРАЇНА

*email: a.s.vasiliev.76@gmail.com

АНОТАЦІЯ Дослідження направлене на покращення технічних характеристик розчинонасосів, а саме об'ємного ККД, який є одним з основних параметрів роботи цього обладнання. Доведено, що зміна клапанних вузлів з кулькових на тарілчасті позитивно впливає на роботу розчинонасоса. Також виділені основні конструктивні особливості нового усмоктувального тарілчастого клапана, а саме: діаметр сідла, висота підняття, вага. Наведені теоретичні залежності для визначення розмірів, що дозволяють визначити їх раціональні значення для розчинонасоса будь-якої продуктивності. Результати проведених експериментів представлені чисельно та графічно, що доводить вірність всіх запропонованих рішень.

Ключові слова: розчинонасос; клапан; об'ємний ККД; тарілчастий клапан.

RESEARCH VOLUMETRIC ENERGY CONVERSION EFFICIENCY DIFFERENTIAL PUMP DEPENDING ON THE DESIGN VALVE UNITS

A. VASYLIEV*, I. VASYLIEV, I. ROGOZIN

¹ Department of construction machine and equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, UKRAINE

ABSTRACT The relevance of mortar pump is confirmed widespread use at the construction site when working with solutions of different mobility. The aim of this study is to improve the technical characteristics of the differential mortar pump, such as volumetric energy conversion efficiency, due to the change of valve units. Establishing that the suction valve is in quite difficult conditions, therefore requires rational determination of the size of components. For rapid assessment of the values of the diameter of the seat, height and weight lifting valve proposed methods of their analytical assessment on the value of the average real solution filling mortar pump through the valve. Obtained dependences quite good agreement with the theoretical estimate parameters plate suction valve and allow them to determine rational values for any mortar pump performance. For research to determine the actual volumetric energy conversion efficiency versus time working with different mobility solution used differential mortar pump vertical plunger a flow RNP 2-4 (from the beginning of the ball valve, and then plate), which was part of the experimental setup. Because the values of volumetric energy conversion efficiency mortar pump, depending on the type of valve units, clearly presented as graphs. Depending on the valve mobility solution works with some delay, so the more stringent energy conversion efficiency solutions rather low. Based on a comparative analysis of performance of the mortar pump with ball valves and investigated, concluded some improvement process parameters latter, by the use plate valves. In particular, high suction ability reduced resistance to hydraulic flow of the pump and valve weight.

Keywords: mortar pump; valve; volumetric energy conversion efficiency; plate valves.

Вступ

У будівельній промисловості при спорудженні будівель як промислового, так і цивільного призначення до чверті загальної трудомісткості становлять роботи, пов'язані з використанням будівельних розчинів: штукатурні роботи, улаштування наливних підлог, замонолічування стиків будівельних елементів тощо. Ці роботи проводяться з використанням штукатурних станцій і агрегатів, головним вузлом яких є розчинонасос [1].

Найчастіше для транспортування розчинів трубопроводами застосовуються переважно розчинонасоси з самодіючими кульовими клапанами, які окрім відомих позитивних якостей мають і низку істотних недоліків. Робота кульових клапанів супроводжується значними зворотними втратами розчину, не виключаються випадки їх зависання у

густих розчинах, вони сильно стукають при посадці на сідло, що викликає підвищене спрацювання робочих поверхонь. До того ж, застосування кульових клапанів збільшує об'єм шкідливого простору робочої камери [1, 2, 3].

Мета роботи

Дане дослідження присвячене покращенню технічних характеристик диференціальних розчинонасосів, а саме об'ємного ККД, через зміну клапанних вузлів.

Тому висунута нами ідея використання у розчинонасосі, що пропонується, тарілчастих клапанів повинна значною мірою поліпшити як експлуатаційні так і техніко-економічні його показники. На наш погляд, тарілчасті клапани

повинні працювати з більшою ефективністю порівняно з кульовими.

Виклад основного матеріалу

Основним параметром, що характеризує ефективність роботи розчинонасоса є ККД. Загальний ККД визначають три складових [1, 4]:

$$\eta_{заг} = \eta_{об} \cdot \eta_z \cdot \eta_{мех}, \quad (1)$$

де $\eta_{об}$ – об’ємний ККД;

η_z – гідравлічний ККД;

$\eta_{мех}$ – механічний ККД.

Механічний ККД залежить від складу кінематичної схеми розчинонасоса та для конкретного механізму є величиною постійною. Тому не буде розглядатись.

Об’ємний та гідравлічний ККД залежать від багатьох факторів: частота руху робочого органа, параметрів клапанних вузлів, регулювання подачі насоса, конструкції насосної колонки [5, 6].

Підвищення гідравлічного опору клапанних вузлів розчинонасоса призведе до зниження гідравлічного ККД, а також до зменшення коефіцієнта наповнення робочої камери. Можливий розрив суцільного потоку, що спричинить до появи гідроударів та зниженню об’ємного ККД [7, 8].

Тобто, об’ємний і гідравлічний ККД розчинонасоса здебільшого залежать від конструктивних параметрів клапанних вузлів та частоти руху робочого органа, які безпосередньо впливають на стійку роботу насоса з мінімальною імпульсністю подачі на жорстких розчинах [1, 9].

Однак, так як об’ємний ККД враховує гідравлічний супротив проточної частини, то можна його рахувати основним в якості критерію роботи.

Адже для зменшення зворотних витоків необхідно зменшити до раціонального розмір щілини та сідла, висоти підняття та маси всмоктувального клапана [10].

Для оперативної оцінки рівня значень діаметра сідла d_c , висоти підняття h і маси клапана m_k нами запропонована методика їх аналітичної оцінки за значенням середньої дійсної подачі розчину крізь клапан розчинонасоса.

У цьому випадку рекомендується визначати діаметр отвору сідла клапана за такою залежністю:

$$d_c = \sqrt{\frac{8 \cdot Q_m \cdot \eta_{об}}{100 \cdot \pi \cdot v_{с.сеп.}}}, \quad (2)$$

де Q_m – теоретична подача розчинонасоса, м³;

$\eta_{об}$ – об’ємний ККД. насоса, % ;

$v_{с.сеп.}$ – середня раціональна швидкість потоку

у сідлі клапана, м/с.

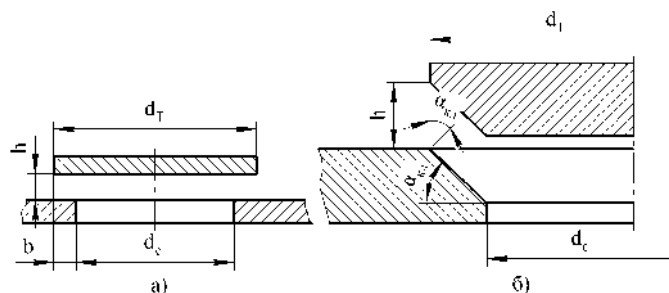


Рис. 1 – Схема тарілчастого клапана :
а – плоского, б – конічного

Раціональну висоту підняття клапана пропонується розраховувати за таким виразом:

$$h = \frac{a \cdot d_c^2}{4 \cdot (d_c + 2 \cdot b)}, \quad (3)$$

де b – ширина опорної поверхні тарілки клапана;

a – коефіцієнт, що враховує співвідношення площ щілини і отвору сідла клапана, значення якого встановлюється на основі наведених нижче експериментів.

Для конічного клапана залежність (3) набуде вигляду:

$$h = \frac{a \cdot d_c^2}{4 \cdot d_T \cdot \cos \alpha}, \quad (4)$$

де α – кут нахилу посадкової поверхні сідла клапана (рис. 1).

Вагу клапана пропонується оцінювати за рівнянням, кг:

$$G_k = \frac{\pi \cdot \rho_p \cdot d_c^2 \cdot v_{с.сеп.}^2}{8 \cdot k^2}, \quad (5)$$

де ρ_p – густина розчину, $\rho_p = 194 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

k – коефіцієнт зміни швидкості потоку $k = v_{с.сеп.} / v_{щ.сеп.}$, значення якого визначається на основі експериментів.

Залежності (2), (3), (4), (5) досить добре узгоджуються з теоретичною оцінкою параметрів усмоктувального тарілчастого клапана і дозволяють визначити їх раціональні значення для розчинонасоса будь-якої продуктивності [5, 6].

Отже, для підтвердження висунутого ствердження, що використання тарілчастих клапанів в розчинонасосі збільшить значення об’ємного ККД було проведено серію експериментів, в яких було використано два види клапанних вузлів (окремо кулькові та тарілчасті зі зменшенням шкідливого об’єму всмоктувальної камери).

Для проведення досліджень щодо визначення

дійсного об'ємного ККД в залежності від часу роботи при різних рухомостях розчину було використано диференціальний розчинонасос з вертикальним проточним плунжером РНП 2-4, який входив до складу експериментальної установки схема та зовнішній вигляд якої наведені на рис. 2.

В робочій камері та порожнині плунжера вмонтовані самодіючі тарілчасті клапани з гумовими ущільненнями (рис. 1). Вони, як показано нижче теоретичним аналізом, ефективно спрацьовують і щільно зачиняються, мають малу висоту над сідлом у закритому стані, зменшуючи цим об'єм шкідливого простору робочої камери, що забезпечує підвищений об'ємний ККД насоса і хорошу всмоктувальну здатність.

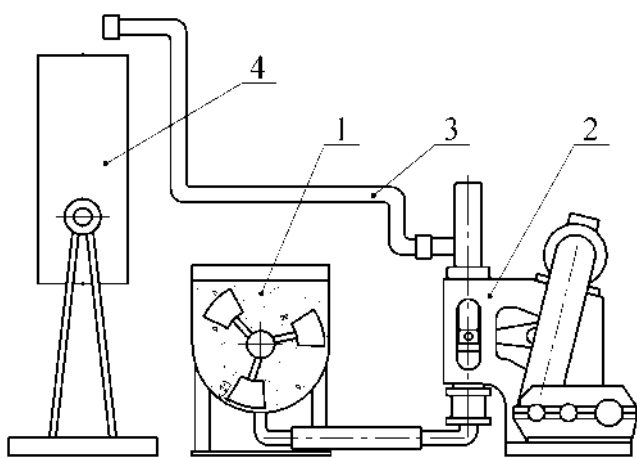


Рис. 2 – Схема експериментальної установки:
1 – механічна змішувальна установка шнекового типу; 2 – розчинонасос РНП 2-4, об'ємний ККД якого визначається; 3 – розчинопровід для транспортування розчину; 4 – мірна ємність.

До складу експериментальної установки входить розчинонасос, який необхідно досліджувати та випробувальний стенд. Випробувальний стенд складається зі змішувача шнекового типу з ємністю бункера 250 дм³. Більш активне перемішування розчину відбувається завдяки тому, що стрічкові витки шнекового змішувача мають різний напрям навивки від середини. Привод змішувача здійснюється від асинхронного електродвигуна через клинопасову передачу на черв'ячний редуктор та через муфту на шнековий вал. Готова розчинна суміш потрапляє до розчинонасоса через гнучкий патрубок, що з'єднує бункер змішувача з всмоктуючою камерою розчинонасоса. До нагнітального патрубку шляхом швидкоз'ємного з'єднання приєднано гумотканинний розчинопровід. При необхідності створення додаткового навантаження є можливість збільшення довжини магістралі за рахунок встановлення додаткових секцій. Розчинопровід закінчується патрубком, що подає розчин у мірний циліндр, який має місткість до контрольної мітки 60 дм³. Для збільшення точності проведення

експериментів мірна ємність виконана у вигляді високого циліндра, а її місткість до мітки встановлена шляхом заповнення ємності водою об'ємом 60 л та додатково перевірена ваговим методом шляхом заливання 60 кг води.

Визначення рухомості розчину необхідної консистенції проводилось за допомогою приладу для визначення рухливості будівельних розчинів за ГОСТ 5802-84, шкала приладу має межі 1...14 см. Очищення мірної ємності здійснювалось за допомогою спеціального шкребка, який має діаметр закругленої частини такий самий як і внутрішній діаметр мірного циліндра. Час заповнення контролювався за допомогою секундомір СД-800, ціна поділки 0,1 с.

Для проведення експерименту використовували вапняно-піщані будівельні розчини різної рухомості, які зазвичай використовуються для проведення опоряджувальних робіт. Розчини виготовлялися із піску та вапняного тіста у співвідношенні 1:3. Для недопущення ускладнень у роботі розчинонасосу пісок та вапняна суміш прощіджувалася крізь сито із розміром прохідного отвору 5 мм. Вихідні компоненти після зважування завантажувалися у бункер змішувача і після додавання води ретельно перемішувалися до утворення однорідної суміші. Необхідну рухомість розчину забезпечували шляхом додавання води із наступним перемішуванням. Оскільки в роботі були використані розчини різної рухомості, на першому етапі виготовлявся більш жорсткий розчин з рухомістю 8 см, а потім проводили необхідний експеримент з цим розчином, додаючи необхідну кількість води і підвищуючи його рухомість до 9 см і вище.

Для створення умов роботи насоса, які наближені до виробничих, до нагнітального патрубку розчинонасоса приєднували комплект гумотканинних рукавів необхідних довжини і діаметру, які дозволяють отримати необхідний тиск на виході із насоса. Застосовувалися рукава діаметром 50 і 32 мм. Довжина рукавів обиралася з таким розрахунком, щоб тиск розчину був не нижче 0,8 МПа. При цьому для розчинів з рухомістю 8 см довжина рукава становила 10 м, а для розчинів з рухомістю 10 і 12 см – відповідно 16 і 80 м. Додаткове регулювання тиску подачі здійснювали за допомогою спеціального затискного пристрою. Зауважимо, що регулювання тиску затискним пристроєм рукава для запобігання утворення в місці затискання піщаної пробки проводили лише у малих межах.

Наповнення мірної ємності відбувається до моменту досягнення рівня розчину до позначки, що відповідає об'єму 60 дм³. Як тільки рівень розчину досягне зазначеної позначки, секундомір вимикається, а патрубок рукава переводиться в бункер змішувача. Після зливу розчину в бункер змішувача мірна ємність ретельно очищується від залишків розчину за допомогою спеціального шкребка і далі проводиться

наступний замір часу заповнення мірної ємності. На кожний рухомості розчину проводилось не менше п'яти замірів, що є достатнім.

Величину об'ємного ККД розчинонасоса визначали з залежності дійсної подачі до теоретичної, %

$$\eta_{об} = \frac{Q_o}{Q_m} \cdot 100 \quad (6)$$

де Q_o – дійсна подача насоса, яку визначають за часом t заповнення розчином мірної ємності, м³/год.

$$Q_o = \frac{V_u}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \quad (7)$$

де Q_m – теоретична подача насоса, м³/год

$$Q_m = \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H \cdot \frac{n}{60}, \quad (8)$$

де D_n – діаметр поршня розчинонасоса, $D_n = 1$ дм;

H – величина ходу поршня, дм;

n – число подвійних ходів поршня в хвилину.

Для спрощення розрахунків підставимо значення параметрів розчинонасоса та стенда за допомогою, якого проводились дослідження, отже при $D_n = 1$ дм, $H = 0,6$ дм, $n = 152$ хв⁻¹, $V_u = 60$ дм³

$$Q_o = \frac{60 \cdot 3600}{t \cdot 1000} = \frac{216}{t},$$

$$Q_m = \frac{3,14}{4} \cdot 1^2 \cdot 0,6 \cdot \frac{152 \cdot 60}{1000} = 4,2955,$$

$$\eta_{об} = \frac{216}{t} \cdot \frac{100}{4,2955} = \frac{50,285}{t} \cdot 100.$$

Обговорення результатів

Проведені експериментальні дослідження за наведеною вище методикою дали такі результати, які наведені в табл. 1.

Адже отримані значення об'ємного ККД розчинонасоса, залежно від типу клапанних вузлів, наглядно представлені у вигляді графіків на рис. 3. В залежності від рухливості розчину клапан працює з певним запізненням, тому на більш жорстких розчинах ККД досить низький.

Таблиця 1 – Результати визначення об'ємного ККД диференціальний розчинонасос з вертикальним проточним плунжером РНП 2-4

Рухомість розчину, см		8	10	12
Розчино насос з кульковими клапанами	Час заповнення ємності, с	100,6;	62,0;	52,6;
		95,6;	61,6;	53,5;
		96,8;	61,8;	51,0;
		96,6;	62,6;	54,7;
ККД, %		50	80	95
Розчино насос з тарілчастими клапанами	Час заповнення ємності, с	79,0	59,6;	53,6;
		80,2;	60,9;	52,8;
		79,5;	58,1;	50,8;
		81,3;	59,2;	52,2;
ККД, %		63	85	95

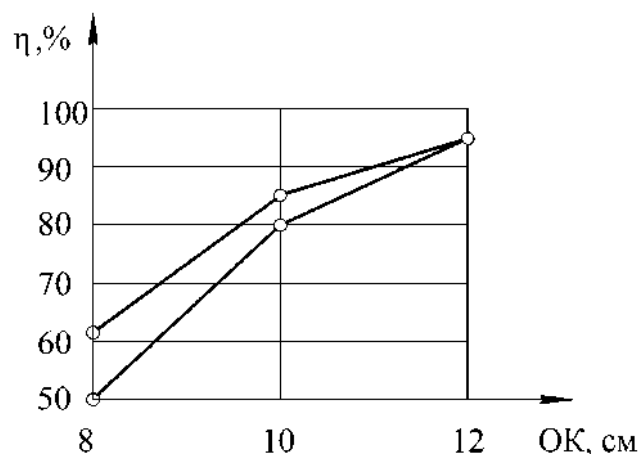


Рис. 3 – Графік залежності об'ємного ККД розчинонасоса від рухливості розчину:
1 – насос з тарілчастими клапанами;
2 – насос з кульовими клапанами

Висновки

На підставі порівняльного аналізу показників роботи розчинонасоса з кульовими клапанами і досліджуваного (табл. 1, рис. 3), нами зроблений висновок про певне поліпшення технологічних параметрів останнього, зумовлене застосуванням тарілчастих клапанів. Зокрема: підвищена всмоктувальна здатність, зменшені гідравлічний опір проточної частини насоса і маса клапана.

Список літератури

1. Васильєв, Є. А. Вплив значення кута закриття усмоктувального кульового клапана розчинонасоса на зворотні втрати розчинної суміші / Є. А. Васильєв // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2011. – №4. – С. 60 – 66.

2. **Korobko, B. O.** Investigation of energy consumption in the course of plastering machine's work / **B. O. Korobko** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Energy-saving technologies and equipment)* – Kharkiv, Ukraine, 2016. – Vol. 4, No. 8 (82). – P. 4 – 11. – doi:10.15587/1729-4061.2016.73336.
3. **Kravchenko, S.** The working pressure research of piston pump RN-3.8 / **S. Kravchenko, S. Popov, S. Gnitko** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – №5/1 (83). – P. 15 – 20. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.80626.
4. **Popov, S.** The designing of crank mechanism of piston pump / **S. Popov, A. Vasilyev, S. Rymar** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2013. – №1/7(61). – P. 30–32.
5. **Pei, J.** The valve motion characteristics of a reciprocating pump / **J. Pei, C. He, M. Lv, X. Huang, K. Shen, K. Bi** // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2016. – Vol. 66–67. – P. 657 – 664. – doi: 10.1016/j.ymssp.2015.06.013.
6. **Khashayar, B.** Methodology for design of a vibration operated valve for abrasive viscous fluids / **B. Khashayar, B. Khoshnevis** // *Mechatronics*. – 2013. – Vol. 23, No. 8. – P. 1025 – 1036. – doi: 10.1016/j.mechatronics.2013.07.003.
7. **Hsiao-Kang, M.** The improved performance of one-side actuating diaphragm micropump for a liquid cooling system / **M. Hsiao-Kang, H. Bo-Ren, L. Cheng-Yao, G. Jhong-Jhih** // *International Communications in Heat and Mass Transfer*. – 2008. – Vol. 35, No. 8. – P. 957 – 966. – doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.04.002.
8. **Koor, M.** Optimization of pump efficiencies with different pumps characteristics working in parallel mode / **M. Koor, A. Vassiljev, T. Koppel** // *Advances in Engineering Software*. – 2016. – Vol 101, part 2. – P. 69 – 76. – doi: 10.1016/j.advengsoft.2015.10.010.
9. **Feys, D.** Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete / **D. Feys, K. H. Khayat, A. Perez-Schellb, R. Khatib** // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. – Vol. 57. – P. 102–115. – doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.12.007.
10. **Hayashi, I.** Pressure pulsations in piping system excited by a centrifugal turbomachinery taking the damping characteristics into consideration / **I. Hayashi, S. Kaneko** // *Journal of Fluids and Structures*. – 2014. – Vol. 45. – P. 216 – 234. – doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.012.

Bibliography (transliterated)

1. **Vasilyev, I.A.** Vpliv znachennya kuta zakrittya usmoktuvalnogo kulovogo klapana rozchinonasosa na zvorotni vtrati rozchinnoj sumichi. *Visnik Sumського dergavnogo univarsitetu. Seriya Texnichni nauki*, 2011, **4**, 60-66.
2. **Korobko, B. O.** Investigation of energy consumption in the course of plastering machine's work. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Energy-saving technologies and equipment)*, 2016, **4/8** (82), 4-11, doi:10.15587/1729-4061.2016.73336.
3. **Kravchenko, S., Popov, S., Gnitko, S.** The working pressure research of piston pump RN-3.8. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016, **5/1** (83), 15-20, doi: 10.15587/1729-4061.2016.80626.
4. **Popov, S., Vasilyev, A., Rymar, S.** The designing of crank mechanism of piston pump. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, **1/7**(61), 30–32.
5. **Pei, J., He, C., Lv, M., Huang, X., Shen, K., Bi, K.** The valve motion characteristics of a reciprocating pump. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2016, **66** – **67**, 657-664, doi: 10.1016/j.ymssp.2015.06.013.
6. **Khashayar, B., Khoshnevis, B.** Methodology for design of a vibration operated valve for abrasive viscous fluids. *Mechatronics*, 2013, **23/8**, 1025-1036, doi: 10.1016/j.mechatronics.2013.07.003
7. **Hsiao-Kang, M., Bo-Ren, H., Cheng-Yao, L., Jhong-Jhih, G.** The improved performance of one-side actuating diaphragm micropump for a liquid cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2008, **35/8**, 957-966, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.04.002.
8. **Koor, M., Vassiljev, A., Koppel, T.** Optimization of pump efficiencies with different pumps characteristics working in parallel mode. *Advances in Engineering Software*, 2016, **101(2)**, 69-76, doi: 10.1016/j.advengsoft.2015.10.010.
9. **Feys, D., Khayat, K.H., Perez-Schellb, A., Khatib, R.** Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2015, **57**, 102–115, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.12.007.
10. **Hayashi, I., Kaneko, S.** Pressure pulsations in piping system excited by a centrifugal turbomachinery taking the damping characteristics into consideration. *Journal of Fluids and Structures*, 2014, **45**, 216-234, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.012.

Відомості про авторів (About authors)

Васильєв Олексій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри будівельних машин і обладнання; м. Полтава, Україна; e-mail: a.s.vasiliev.76@gmail.com.

Alexey Vasilyev – Ph.D., Associate Professor, Department of construction machine and equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: a.s.vasiliev.76@gmail.com.

Васильєв Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри будівельних машин і обладнання; м. Полтава, Україна; e-mail: vas.eugene@gmail.com.

Ievgen Vasilyev – Ph.D., Associate Professor, Department of construction machine and equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: vas.eugene@gmail.com.

Розозін Іван Анатолійович – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, старший викладач кафедри будівельних машин і обладнання; м. Полтава, Україна; e-mail: ria.workbox@gmail.com.

Ivan Rogozin – Senior Lecturer, Department of construction machine and equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: ria.workbox@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Васильєв, О. С. Дослідження об'ємного ККД диференціального розчинонасоса залежно від конструкції клапанних вузлів / **О. С. Васильєв, Є. А. Васильєв, І. А. Рогозін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.01.

Please cite this article as:

Vasyliiev, A., Vasyliiev, I., Rogozin, I. Research volumetric energy conversion efficiency differential pump depending on the design valve units. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 5–10, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.01.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Васильев, А. С. Исследование объемного КПД дифференциального растворонасоса в зависимости от конструкции клапаных узлов / **А. С. Васильев, Е. А. Васильев, И. А. Рогозин** / *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 5-10. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.01.

АННОТАЦИЯ Исследование направлено на улучшение технических характеристик растворонасосов, а именно объемного КПД, который является одним из основных параметров работы этого оборудования. Доказано, что замена клапаных узлов с шаровых на тарельчатые положительно влияет на работу растворонасоса. Также выделены основные конструктивные особенности нового всасывающего тарельчатого клапана, а именно: диаметр седла, высота поднятия, вес. Приведенные теоретические зависимости для определения размеров, позволяющих определить их рациональные значения для растворонасоса любой производительности. Результаты проведенных экспериментов представлены численно и графически, что доказывает правильность всех предложенных решений.

Ключевые слова: растворонасос; клапан; объемный КПД; тарельчатый клапан.

Надійшла (received) 29.05.2017

УДК 621.64/.69

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.02

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ НАПОВНЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО КОМПЕНСАТОРА ПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОНАСОСА

В. П. ВОВЧЕНКО¹, О. В. МАЛЮШИЦЬКИЙ², Є. А. ВАСИЛЬЄВ^{3*}, А. В. ВАСИЛЬЄВ⁴

¹ Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, УКРАЇНА

² Кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, УКРАЇНА

³ Кафедра будівельних машин і обладнання, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, УКРАЇНА

⁴ Кафедра технології машинобудування, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, УКРАЇНА

*email: vas.eugene@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуті умови забезпечення наповненості робочої камери гідрокомпенсатора розчинонасоса рідиною, яка одночасно є промивною для конструкції розчинонасоса з гідравлічним компенсатором пульсації тиску подачі розчинної суміші. Аналізуючи етапи роботи розчинонасоса, було встановлено, що на початку циклу нагнітання, у разі неповного заповнення робочої камери компенсатора рідиною, наприклад, через її витоки, в камері виникає розрядження. Це створює основу для пропозиції автоматичного наповнення і підтримки на необхідному рівні робочої рідини в камері компенсатора через зворотний клапан із завантажувальної місткості. Експериментальними дослідженнями підтверджена бездоганна працездатність запропонованої конструкції.

Ключові слова: диференціальний розчинонасос; гідравлічний компенсатор; промивна рідина; робоча камера; компенсатор.

DETERMINING THE CONDITIONS OF FILLING THE HYDRAULIC COMPENSATOR IN A PISTON MORTAR PUMP

V. VOVCHENKO¹, O. MALYUSHITSKIY², I. VASYLIEV³, A. VASYLIEV⁴

¹ Poltava Oil and Gas College of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, UKRAINE

² Architecture and Urban Construction Department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, UKRAINE

³ Department of Construction Machine and Equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, UKRAINE

⁴ Department of Manufacturing Engineering, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, UKRAINE

ABSTRACT The article examines the terms of providing saturation of the working chamber in the hydraulic compensator of the mortar pump with the liquid, which is simultaneously washing liquid for construction of the mortar pump with hydraulic compensator of pressure pulsations of solution feeding. The circumstance that in the construction of the mortar pump there is a primitive unit, which lubricates the friction couple – the piston plunger and its cup-type seal, allows to increase its operational life notably, as this pointed out friction couple is the most vulnerable part of a mortar pump. In addition, the washing liquid at the same time functions as power liquid for working efficiency of a hydraulic compensator of the mortar pump. Therefore, potential consumption of the mentioned liquid in case of carrying out flushing functions should not have an adverse effect on general working efficiency of the mortar pump. After we had analyzed operational stages of the mortar pump, we elucidated that at the start of injection period, in case of incomplete admission (filling of working chamber of the pump compensator with liquid), for example, because of liquid leaks, there can occur depression in the working chamber. This is due to the fact that the amount of the mortar mix, which is pumped in delivery steps, will be unequal – smaller, than the amount of liquid, which is displaced by the compensator with supplementary air, which is stipulated by fluid loss. However, depression will not occur if the compensator is filled with air. It lays the foundation for suggesting autoinflation and support of power liquid at desired level in the pressure compensator cavity through the back-flow prevention valve from the charging tank. Impeccable working efficiency of the offered construction has been confirmed by experimental investigation. Except filling the pressure compensator cavity, this construction also affords to check to see the liquid filling level and the wear rate of a cup-type seal in a mortar pump.

Keywords: differential mortar pump; hydraulic compensator; washing liquid; working chamber; compensator.

Вступ

Конструкція розчинонасоса з гідравлічним компенсатором пульсації тиску подачі розчинної суміші [1, 2] (рис. 1) передбачає наявність у штоковій порожнині, яка поєднана з робочою камерою компенсатора, рідини, через яку відбувається передача тиску на суміш в процесі роботи. Для забезпечення безперебійної роботи [3,4] кількість рідини повинна відповідати об'єму штокової

порожнини та робочої камери компенсатора в положенні, при якому поршень максимально наближений до клапанних вузлів розчинонасоса, тобто максимально можливий об'єм за цикл роботи.

Якщо кількість рідини з будь-яких причин – внаслідок витоків через ущільнення циліндро-поршневої групи або недостатнє початкове заповнення, буде меншою від цього об'єму, то кількість розчинної суміші, що подається в тактах усмоктування та нагнітання, буде нерівною. Це в

свою чергу призведе до нерівномірності подачі [5,6], яка негативно відіб'ється на якості проведення оздоблювальних робіт [7,8].

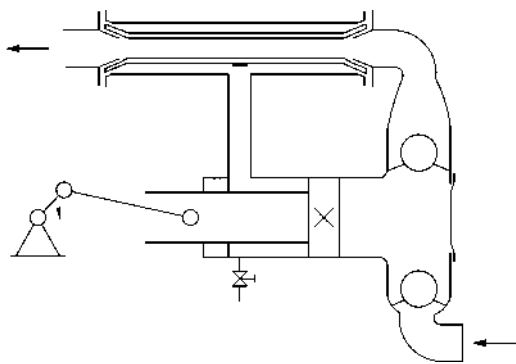


Рис. 1 – Схема поршневого розчинонасоса

У роботі [9] був запропонований пристрій для автоматичного поповнення робочої рідини гідравлічного компенсатора пульсації тиску. Описаний принцип його роботи, складові елементи конструкції. Поза увагою залишилася комплексна оцінка спрацьовування пристрою, умови, які цьому передують, та кількісне визначення ефективності його роботи.

Мета роботи

Для підтвердження можливості ефективної роботи пристрою необхідно визначити умови, при наявності яких можливе його застосування як для випадку нестачі рідини в робочій камері компенсатора внаслідок витоків в процесі роботи, так і через недостатнє початкове заповнення.

Виклад основного матеріалу

Для того щоб рідина з місткості 5 (рис. 2) мала змогу надійти до робочої камери гідравлічного компенсатора 8, тиск у ній повинен бути меншим за атмосферний. На рис. 3 наведений схематичний переріз робочої камери гідравлічного компенсатора та циліндро-поршневої групи розчинонасоса.

Під час такту всмоктування (рис. 3, а), у процесі переміщення від точки Б до точки А об'єм штокової порожнини розчинонасоса зменшується, тиск через рідину передається на трубчасту діафрагму і вона, стискаючись, діє на розчинну суміш, витискуючи її до нагнітального трубопроводу. Упродовж такту всмоктування тиск у камері компенсатора підвищується, досягаючи значення тиску нагнітання розчинної суміші [10,11] в трубопроводі. Наприкінці такту всмоктування трубчаста діафрагма компенсатора знаходиться у стисненому стані.

В такті нагнітання (рис. 3, б), під час руху від точки А до точки Б поршень витискує розчинну суміш, яка в попередньому такті надійшла до всмоктувальної робочої камери, в нагнітальну робочу камеру та далі у компенсатор.

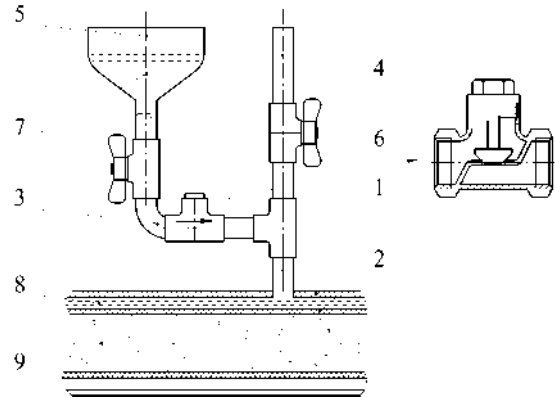


Рис. 2 – Пристрій для автоматичного поповнення робочої рідини: 1 – корпус гідравлічного компенсатора; 2 – трубчаста гумотканнна діафрагма; 3 – зворотний клапан; 4 – трубка для випуску повітря; 5 – місткість для робочої рідини; 6, 7 – шарові крани; 8 – робоча камера компенсатора; 9 – магістраль із розчинною сумішшю

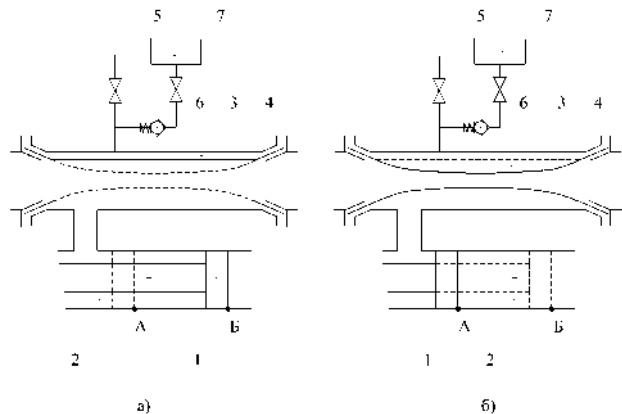


Рис. 3 – Схема взаємодії робочого органа розчинонасоса з трубчастою діафрагмою гідравлічного компенсатора: а) початок такту всмоктування; б) початок такту нагнітання. 1 – поршень; 2 – штокова порожнина розчинонасоса; 3 – робоча камера гідравлічного компенсатора; 4 – трубчаста діафрагма гідравлічного компенсатора; 5 – крани; 6 – зворотний клапан; 7 – місткість

За рахунок цього трубчаста діафрагма компенсатора розширюється, набуваючи своїх попередніх розмірів, а надлишок розчинної суміші [12, 13] надходить у трубопровід. Одночасно із цим відбувається збільшення об'єму штокової порожнини. Але, оскільки об'єм поршневої порожнини більший, ніж штокової, то тиск у компенсаторі знову зростає.

За умови, коли робоча камера компенсатора не повністю заповнена рідиною (рис. 4), відбувається наступне. У такті всмоктування (рис. 3, а) трубчаста діафрагма гідравлічного компенсатора 4 стискається на величину об'єму штокової порожнини за винятком витоків рідини, відповідно порція розчину за такт усмоктування подається в трубопровід менша на величину витоків.

У такті нагнітання (рис. 3, б) розчинна суміш надходить усередину діафрагми, розправляючи її повністю. Але поршень продовжує рухатися до точки Б, збільшуючи об'єм робочої камери компенсатора 3. Оскільки трубчаста діафрагма гідравлічного компенсатора виготовлена із частини гумотканинного напірного трубопроводу, то вона дуже незначно збільшується у діаметральних розмірах. Таким чином, збільшення об'єму робочої камери гідравлічного компенсатора при незмінному розмірі діафрагми призводить до виникнення в ній розрідження та зменшення величини тиску нижче атмосферного. Унаслідок цього рідина з місткості 7, яка знаходиться під дією атмосферного тиску, надходить до робочої камери компенсатора, компенсуючи величину витоків.

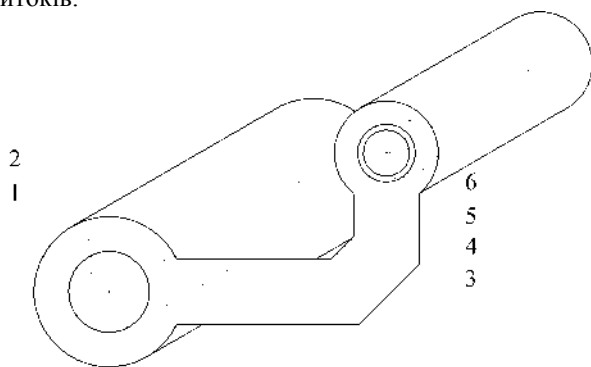


Рис. 4 – Схематичний переріз штокової порожнини розчинонасоса та гідравлічного компенсатора: 1 – шток; 2 – штокова порожнина; 3 – трубчаста діафрагма компенсатора; 4 – порожнина компенсатора, заповнена розчинною сумішшю; 5 – робоча камера компенсатора, заповнена рідиною; 6 – робоча камера компенсатора, заповнена повітрям внаслідок витоків рідини

Із метою дослідження характеру зміни тиску в порожнині гідравлічного компенсатора на його фланці встановлювалася мембрана 3 (рис. 5) із тензодатчиками [14] (тип: ПКБ; $R = 202,0 \pm 0,3 \text{ Ом}$). Значення тиску реєструвалося вимірювальним обладнанням.

Для виключення впливу повітря в камері гідравлічного компенсатора на результати вимірювання, мембрана 3 (рис. 5) встановлювалася у вертикальному положенні, щоб забезпечити постійний безпосередній контакт із рідиною.

Товщина мембран обиралася виходячи із номінальних показників тиску в камері компенсатора [15].

Для проведення дослідів нагнітальний патрубок розчинонасоса від'єднувався від напірної магістралі, а поршень переводився у положення, яке відповідає початку такту всмоктування (рис. 3, а, поршень в т. Б).

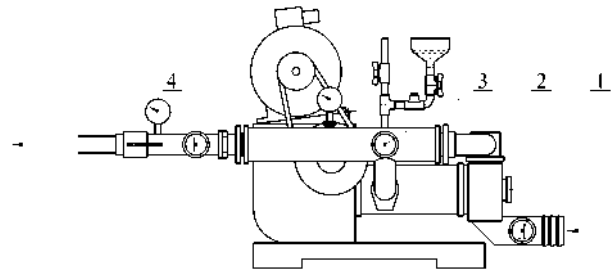


Рис. 5 – Схема встановлення тензометричних датчиків: 1 – усмоктувальний патрубок; 2 – усмоктувальна робоча камера; 3 – робоча камера компенсатора; 4 – нагнітальний патрубок

Це забезпечувало вирівнювання та приведення до атмосферного величини тиску в робочій камері гідравлічного компенсатора (рис. 2, поз. 8) та в порожнині трубчастої діафрагми (рис. 2, поз. 9), яка поєднується з напірною магістраллю. Частина рідини з робочої камери гідравлічного компенсатора видалялася, імітуючи її виток в процесі роботи (рис. 4). Вмикався розчинонасос та записувалися криві зміни тиску в робочій камері гідравлічного компенсатора.

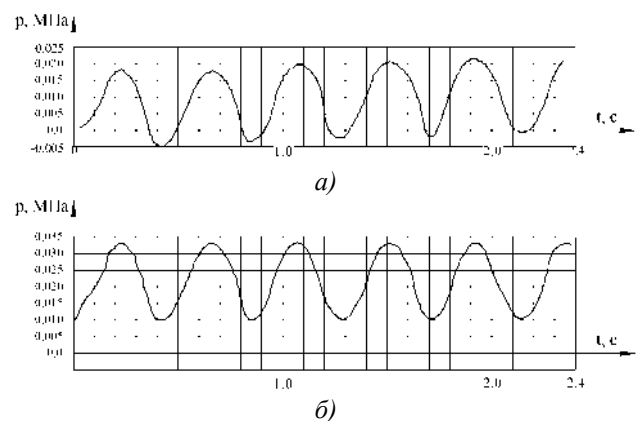


Рис. 6 – Діаграма зміни тиску в робочій камері гідравлічного компенсатора (за «0» прийняте значення атмосферного тиску): а) при неповній заповненості компенсатора; б) при заповненості компенсатора

Обговорення результатів

Як видно з рис. 6 а, якщо розчинонасос працює з неповністю заповненою робочою камерою гідравлічного компенсатора, то на початку його роботи наприкінці кожного такту нагнітання (при наближенні до точки Б, рис. 3), коли трубчаста діафрагма вже прийняла початковий розмір, а поршень продовжує рухатися, збільшуючи об'єм робочої камери гідравлічного компенсатора, тиск набуває значення, нижчого за атмосферний. Наявність негативного тиску створює передумови автоматичного наповнення компенсатора, і рідина з місткості 7 (рис. 3) через відкритий кран 5 та

зворотний клапан 6 надходить до робочої камери гідравлічного компенсатора 3. За декілька тактів об'єм рідини в ній досягає нормативного значення і діаграма тиску повністю переходить у додатні значення показників. Надходження рідини з місткості припиняється й розчинонасос починає працювати в звичайному режимі (рис. 6 б), подаючи в тактах усмоктування та нагнітання однакові порції розчинної суміші до напірної магістралі.

Як свідчать результати експериментальних досліджень, необхідна кількість рідини до камери компенсатора надходить не за один такт (рис. 6а), а за декілька, що є несуттєвим і відчутно не погіршує функціональність пристрою.

Висновки

В роботі теоретично досліджена та експериментально підтверджена ефективність роботи пристрою для поповнення рідини в робочій камері гідравлічного компенсатора пульсації тиску при різних умовах роботи розчинонасоса. Запропонований пристрій дозволяє контролювати процес зношування ущільнень циліндро-поршневої групи розчинонасоса та визначати його початок для виконання заміни ущільнюючих елементів.

Список літератури

1. **Гоц, В. І.** Бетони і будівельні розчини: [підручник] / **В. І. Гоц**. – К.: КНУБА, 2003. – 472 с.
2. Розчини будівельні. Загальні технічні умови: ДСТУ В.2.7-23-95. – Зам. ГОСТ 28013-89, ГОСТ 4.233-86. – [Чинний від 01.01.1996]. – К.: Держкоммістобудування, 1995. – 14 с. – Національний стандарт України.
3. **Онищенко, О. Г.** Вплив об'ємного розширення розчину на ефективність роботи розчинонасоса / **О. Г. Онищенко, А. В. Васильєв, Б. О. Коробко** // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПДТУ. – 1999. – №4. – С. 3-9.
4. **Koor, M.** Optimization of pump efficiencies with different pumps characteristics working in parallel mode / **M. Koor, A. Vassiljev, T. Koppel** // *Advances in Engineering Software*. – 2016. – Vol. 101, part 2. – P. 69–76. – doi: 10.1016/j.advengsoft.2015.10.010.
5. **Feys, D.** Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete / **D. Feys, K. H. Khayat, A. Perez-Schellb, R. Khatib** // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. – Vol. 57. – P. 102–115. – doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.12.007.
6. **Hayashi, I.** Pressure pulsations in piping system excited by a centrifugal turbomachinery taking the damping characteristics into consideration / **I. Hayashi, S. Kaneko** // *Journal of Fluids and Structures*. – 2014. – Vol. 45. – P. 216–234. – doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.012.
7. **Kosky, P.** Chapter 10 – Manufacturing Engineering / **P. Kosky, R. Balmer, W. Keat, G. Wise**. – *Exploring Engineering*. Third Edition, 2013. – P. 205–235. doi: 10.1016/b978-0-12-415891-7.00010-8.
8. **Aprianti, E.** Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials / **E. Aprianti, P. Shafiqh, R. Zawawi, Z. Fitri Abu Hassan** //

- Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 107. – P. 365–377. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.100.
9. **Онищенко, О. Г.** Пристрій для автоматичного заповнення гідравлічного компенсатора робочою рідиною / **О. Г. Онищенко, Є. А. Васильєв** // *Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)*. – Луцьк:ЛДТУ. – 2006. – Вип.18. – С.261-267.
 10. **Pedrajas, C.** Determination of characteristic rheological parameters in Portland cement pastes / **C. Pedrajas, V. Rahhal, R. Talero** // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 51. – P. 484–491. – doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.004.
 11. **Trapote-Barreira, A.** Degradation of mortar under advective flow: Column experiments and reactive transport modeling / **A. Trapote-Barreira, J. Cama, M. J. Soler, B. Lothenbach** // *Cement and Concrete Research*. – 2016. – V. 81. – P. 81–93. – doi: 10.1016/j.cemconres.2015.12.002.
 12. **Gonçalves, J. P.** Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars / **J. P. Gonçalves, L. M. Tavares, R. D. Toledo Filho, E. M. R. Fairbairn, E. R. Cunha** // *Cement and Concrete Research*. – 2007. – V. 37, 6. – P. 924–932. – doi: 10.1016/j.cemconres.2007.03.009.
 13. **Chen, X.** Experimental and modeling study of dynamic mechanical properties of cement paste, mortar and concrete / **X. Chen, S. Wu, J. Zhou** // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 47. – P. 419–430. – doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.063.
 14. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 21616-76. Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 16 с.
 15. **Вольмир, А. С.** Гибкие пластинки и оболочки / **Вольмир А. С.** – М.: Гостехиздат, 1956. – 419 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Hocz, V. I.** Betony i budivelni rozchyny: [pidruchnyk]. – K.: KNUBA, 2003, 472.
2. Rozchyny budivelni. Zahalni tehnikni umovy: DSTU V.2.7-23-95. – Zam. HOST 28013-89, HOST 4.233-86. – [Chynnyi vid 01.01.1996]. – K.: Derzhkommistobuduvannia, 1995. – 14 s. – Natsionalnyi standart Ukrainy.
3. **Onyshchenko, O. H., Vasyliiev, A. V., Korobko, B. O.** Vplyv obiemnoho rozshyrennia rozchynu na efektyvnist roboty rozchynonasosa. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo)*, 1999, 4, 3–9.
4. **Koor, M., Vassiljev, A., Koppel, T.** Optimization of pump efficiencies with different pumps characteristics working in parallel mode. *Advances in Engineering Software*, 2016, 101(2), 69–76, doi: 10.1016/j.advengsoft.2015.10.010.
5. **Feys, D., Khayat, K.H., Perez-Schellb, A., Khatib, R.** Prediction of pumping pressure by means of new tribometer for highly-workable concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2015, 57, 102–115, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.12.007.
6. **Hayashi, I., Kaneko, S.** Pressure pulsations in piping system excited by a centrifugal turbomachinery taking the damping characteristics into consideration. *Journal of Fluids and Structures*, 2014, 45, 216–234, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.012.
7. **Kosky, P., Balmer, R., Keat, W., Wise, G.** Chapter 10 – Manufacturing Engineering. *Exploring Engineering. Third Edition*, 2013, 205–235. doi: 10.1016/b978-0-12-415891-7.00010-8.

8. **Aprianti, E., Shafigh, P., Zawawi, R., Abu Hassan, Z. F.** Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 2016, **107**, 365–377. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.100.
9. **Onyshchenko, O. H., Vasyliiev, I. A.** Prystirii dlia avtomatychnoho zapovnennia hidravlichnoho kompensatora robochoiu ridynoiu. *Mizhvuzivskyi zbirnyk (za napriamom «Inzhenerna mekhanika»)*, 2006, **18**, 261–267.
10. **Pedrajas, C., Rahhal, V., Talero, R.** Determination of characteristic rheological parameters in Portland cement pastes. *Construction and Building Materials*, 2014, **51**, 484–491. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.004.
11. **Trapote-Barreira, A., Cama, J., Soler, J. M., Lothenbach, B.** Degradation of mortar under advective flow: Column experiments and reactive transport modeling. *Cement and Concrete Research*, 2016, **81**, 81–93. doi: 10.1016/j.cemconres.2015.12.002.
12. **Gonçalves, J. P., Tavares, L. M., Toledo Filho, R. D., Fairbairn, E. M. R., Cunha, E. R.** Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 2007, **37** (6), 924–932. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.03.009.
13. **Chen, X., Wu, S., Zhou, J.** Experimental and modeling study of dynamic mechanical properties of cement paste, mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, 2013, **47**, 419–430. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.063
14. GOST 21616-91. Tenzorezistory. Obshhie tehnicheckie uslovija. – Vzamen GOST 21616-76. Vved. 01.01.92. – M.: Izd-vo standartov, 1991, 16.
15. **Vol'mir A.S.** Gibkie plastinki i obolochki. – M.: Gostehizdat, 1956, 419.

Відомості про авторів (About authors)

Вовченко Володимир Петрович – Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, викладач загальнотехнічних дисциплін; м. Полтава, Україна; e-mail: bnasva79@gmail.com.

Volodymyr Vovchenko – Poltava Oil and Gas College of Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Lecturer, Poltava, Ukraine, e-mail: bnasva79@gmail.com.

Малюшицький Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, старший викладач кафедри архітектури та міського будівництва; м. Полтава, Україна; e-mail: malush.alexander@gmail.com.

Olexander Malyushitskiy – Architecture and Urban Construction Department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Senior Lecturer, Poltava, Ukraine, e-mail: malush.alexander@gmail.com.

Васильєв Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри будівельних машин і обладнання; м. Полтава, Україна; e-mail: vas.eugene@gmail.com.

Ievgen Vasyliiev – Ph. D., Associate Professor, Department of construction machine and equipment, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: vas.eugene@gmail.com.

Васильєв Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри технології машинобудування; м. Полтава, Україна; e-mail: vas.anatoly@gmail.com.

Anatoly Vasyliiev – Ph. D., Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: vas.anatoly@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вовченко, В. П. Визначення умов наповнення гідравлічного компенсатора поршневого розчинососа / **В. П. Вовченко, О. В. Малюшицький, Є. А. Васильєв, А. В. Васильєв** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 11-15. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.02.

Please cite this article as:

Vovchenko, V., Malyushitskiy, O., Vasyliiev, I., Vasyliiev, A. Determining the conditions of filling the hydraulic compensator in a piston mortar pump. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 11–15, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.02.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вовченко, В. П. Определение условий наполнения гидравлического компенсатора поршневого растворенососа / **В. П. Вовченко, А. В. Малюшицкий, Е. А. Васильев, А. В. Васильев** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 11-15. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.02.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены условия обеспечения наполненности рабочей камеры гидрокомпенсатора растворенососа жидкостью, которая одновременно является промывочной для конструкции растворенососа с гидравлическим компенсатором пульсации давления подачи растворной смеси. Анализируя этапы работы растворенососа, было установлено, что в начале цикла нагнетания, в случае неполного заполнения рабочей камеры компенсатора жидкостью, например, из-за ее утечек, в камере возникает разрежение. Это создает основу для предложения автоматического наполнения и поддержки на необходимом уровне рабочей жидкости в камере компенсатора через обратный клапан из загрузочной емкости. Экспериментальными исследованиями подтверждена безупречная работоспособность предложенной конструкции.

Ключевые слова: дифференциальный раствореносос; гидравлический компенсатор; промывочная жидкость; рабочая камера; компенсатор.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 519.68

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗКЛАДУ ПРОЕКТІВ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ СТАНДАРТИЗОВАНИХ ВИРОБІВ

В. В. ІВАНОВ^{1*}, Н. В. ЧУМАК²

¹ кафедра машинознавства і деталей машин, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

² відділ аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: vvict@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розроблено когнітивну модель управління проектом зворотного інжинірингу, що включає необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проекту, а також евристичні методи управління проектом. Розв'язано питання щодо визначення стандартів, за якими виготовлено виріб або його вузли та деталі за допомогою евристичних методів, базованих на застосуванні когнітивних карт та на базі моделей розпізнавання образів. Розглянута послідовність операцій та встановлено, що використання логічного зв'язку старт-старт для груп операцій, метрологів та інженерів дозволяє суттєво скоротити загальну кількість метрологічних операцій. Також встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформована цільова функція.

Ключові слова: зворотний інжиніринг; когнітивна модель управління; евристичні методи; моделі розпізнавання образів; послідовність процедур; цільова функція.

OPTIMIZATION OF CURRICULUM OF PROJECTS OF THE REVERSE ENGINEERING OF THE STANDARDIZED WARES

V. IVANOV^{1*}, N. CHUMAK²

¹ Department of Mechanical Engineering and Machine Parts, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

² Postgraduate and doctoral department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Projects on the recreation of the construction, technical characteristics and technical documentation using available samples of products are specificity of the portfolio of orders of engineering companies. Projects of reverse engineering have products with different degree of damage as an object, therefore these projects always have signs of uniqueness. Usually there is partial or complete absence of corresponding documentation. Information about standards, unified or standard units and assemblies, as well as standard parts and component parts, are concentrated in the CAD / CAM / CAE software complexes. A cognitive model of project management of reverse engineering, was developed, including the necessary metrological equipment, software, project team, and heuristic methods of project management. With the help of heuristic methods based on the use of cognitive maps and on the basis of pattern recognition models it was solved the question by what standards the product or its components and parts were manufactured. For this purpose the model of separating surfaces in the form of a hyperplane (R-model) was used. The interaction of the project team members was investigated and it was established that in the phase of reverse engineering identification the project team consisted of two groups that conditionally could be designated as metrologists and engineers. The sequence of operations was considered and it was established that the use of a start-start logical connection for operation groups, metrologists and engineers can significantly reduce the total number of metrological operations. It is also established that the optimization of the budget is completely determined by the optimization of the required man-hours of metrologists and engineers. To solve the optimization problem, an objective function is formed.

Keywords: reverse engineering; cognitive model of project management; heuristic methods; pattern recognition models; sequence of operations; objective function.

Вступ

Специфікою портфеля замовлень інжинірингових компаній є проекти із відтворення конструкції, технічних характеристик та технічної документації за наявними зразками виробів. Відтворення конструкції і технічних характеристик є передумовою розслідування аварій та визначення фінансової відповідальності фірми постачальника обладнання і фірми, яка його експлуатує [5]. Більш детальне дослідження технічних характеристик окремих агрегатів або вузлів потрібно при

необхідності їх заміни через пошук інших виробників. Найчастіше завданням інжинірингової компанії є повне відтворення технічної документації виробу з метою його подальшого виробництва в Україні, при цьому не йдеться лише про копіювання. Розроблена конструкція може мати обмежену функціональність для здешевлення або, навпаки, мати покращені характеристики через запровадження оригінальних конструктивних рішень. Проекти зворотного інжинірингу мають у якості об'єкту виробу з різним ступенем ушкоджень, внаслідок чого завжди мають ознаки унікальності. Зазвичай спостерігається

часткова або повна відсутність відповідної документації для виробів, виготовлених іноземними фірмами. Тому, спочатку потрібно встановити, за якими стандартами виготовлено виріб.

Розв'язанню питань зворотного інжинірингу присвячена велика кількість публікацій. Детально досліджено, як на основі вимірювання шорсткості деталей визначити стандарт, за яким були призначені норми шорсткості [6]. Розв'язано задачу щодо визначення точності, з якою деталь була виготовлена. Відтворено форму деталі з такими самими показниками точності, що і оригінальна деталь, за допомогою ливарної технології, поєданої з технологією оцифровки 3D-CAD поверхонь [9]. Інформація про стандарти, уніфіковані або стандартні агрегати і вузли, а також стандартні деталі і елементи деталей зосереджена в програмних комплексах CAD/CAM/CAE. Використання систем автоматизованого проектування для зворотного інжинірингу розглянуто в роботі [8]. При цьому розглядаються спеціальні методи для розв'язання задачі зворотного інжинірингу, а саме: еволюційні алгоритми, скелелазіння та випадковий пошук. Загалом питання метрологічного обладнання та програмного забезпечення для зворотного інжинірингу розроблені досить детально. Деякі аспекти пов'язані з організацією робіт, а саме впровадженню САПР, теж висвітлені [7]. Бракує, в першу чергу, досліджень, пов'язаних з командою проекту та інтегрованого погляду, який би враховував всі аспекти зворотного інжинірингу.

Постановка завдання

Метою дослідження є розробка когнітивних моделей та карт управління проектом зворотного інжинірингу, що включають необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проекту, а також евристичні методи управління проектом. Когнітивна модель є базою для розв'язання питань про склад команди проекту, оптимізації розкладу операцій та закладає основи для оптимізації бюджету проекту.

Виклад основного матеріалу

Фаза ідентифікації складається з наступних стадій: аналіз фактичного стану і розшифрування. Під розшифруванням мається на увазі відтворення конструкції, технічних характеристик і технічної документації за наявними зразками виробів. Поряд з метрологічними дослідженнями, розшифрування параметрів виробу спирається на програмні комплекси CAD/CAM/CAE, які містять модулі з бібліотеками уніфікованих вузлів, стандартних деталей та стандартних елементів деталей. Фаза проектування складається з наступних стадій:

технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, а також виготовлення. У фазі трансформації відбувається конкретизація мети на базі застосування евристичних методів. Залежно від складності завдання може бути одна стадія, яка побудована на використанні одного евристичного методу. Якщо послідовно використовується кілька евристичних методів, то кількість стадій збігається з кількістю застосовуваних методів [4].

В першу чергу потрібно виявити уніфіковані вузли в наявному виробі (рис. 1). На підставі інформації про технічні параметри вузлів отримаємо інформацію про межі швидкості обертання, діючого моменту, температур тощо. Також отримаємо інформацію про приєднувальні розміри, які є також розмірами корпусу виробу.

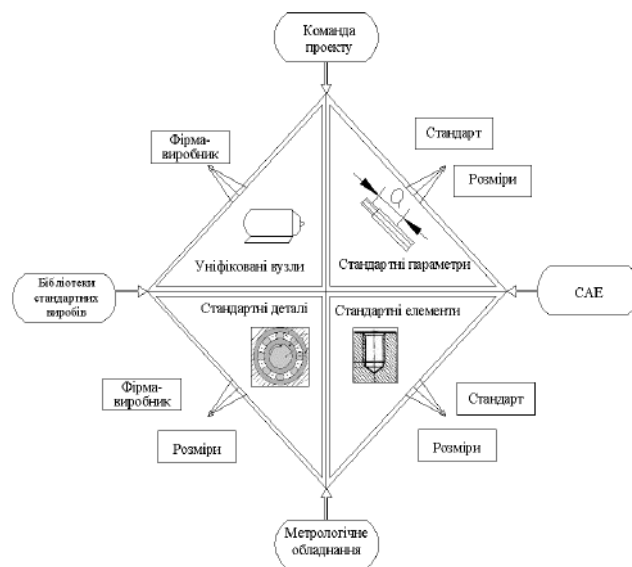


Рис. 1 – Когнітивна модель фази ідентифікації зворотного інжинірингу стандартизованих виробів

Далі вимірюємо розміри, які можуть бути стандартними, а саме: міжосьові відстані, діаметри вхідних та вихідних валів, приєднувальні розміри корпусу виробу і т.п. Співставляємо знайдені з невеликою точністю розміри з розмірами, які є стандартними за ISO, ANSI, DIN, ГОСТ тощо. Знаходимо співпадіння та приймаємо гіпотезу, що наявний виріб виготовлений за певним стандартом (див. рис. 1). Виходячи з цієї гіпотези, проводимо попередні розрахунки, використовуючи модулі CAE. Знаходимо моменти, сили, швидкості поступального руху та обертання, температуру, рекомендовані типи підшипників, ущільнень та мастил.

Перевіряємо гіпотезу, досліджуючи стандартні вузли: підшипники, муфти, зубчасті передачі, пас – пасової передачі, ланцюг – ланцюгової передачі і т.п. Остаточо встановлюємо стандарт (або стандарти), за яким виготовлено виріб. Проводимо остаточні

розрахунки, на підставі стандартних параметрів будують розрахункові схеми та, використовуючи стандартизовані методи розрахунку, остаточно знаходимо сили та моменти, що діють на елементи конструкції. Встановлюємо властивості матеріалів конструкції. При необхідності проводимо випробовування матеріалів і знаходимо твердість контактуючих поверхонь, міцність на розрив тощо. Знаходимо розміри деталей з умов міцності, жорсткості, довготривалості. Співставляємо з наявними розмірами і робимо висновок, щодо якості конструкції.

Для можливості відтворення наявного виробу, з урахуванням наявних технологічних можливостей та висновків щодо якості конструкції, необхідно знайти інші розміри. Для зменшення трудомісткості знаходимо елементи деталей, які є стандартними: різьблення, шпонкові пази, шліцові поверхні (див. рис. 1). Разом з інформацією, яка вже накопичена щодо приєднувальних та посадочних розмірів, отримуємо основні метрологічні відомості при наявній виріб. При необхідності проводимо додаткові вимірювання. Але зовсім не всі розміри потрібні для відтворення наявного виробу. Тому що мова не йде про копіювання, а про заміну іншим виробом з аналогічною функціональністю, або з погіршеною чи покращеною функціональністю. В залежності від рівня пошкоджень елементів наявного виробу, наявних технологічних можливостей та економічних міркувань.

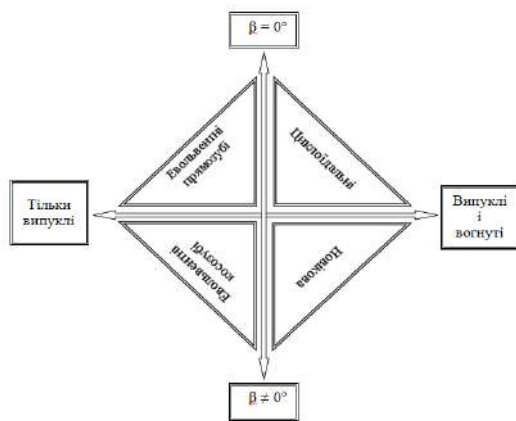


Рис. 2 – Приклад когнітивної карти зворотного інжинірингу

Для розв'язання задачі відповідності вузла певним стандартам не завжди потрібні вимірювання та розрахунки. Іноді до певного висновку дозволяє прийти евристичний аналіз ознак вузла. Для визначення за яким стандартом виготовлена передача може бути достатньо лише двох ознак. На рис. 2 наведено приклад когнітивної карти, яка в залежності від наявності кута нахилу та вогнутої ділянки

профілю зубу дає можливість зробити висновок, який тип зачеплення має зубчаста передача: циклоїдальний, Новікова, евольвентний косозубий або прямозубий. Набір когнітивних карт розроблений для первинного типу виробів значно спрощує розв'язання задачі відповідності вузла певним стандартам.

Задача співставлення знайдених розмірів зі стандартними та пошук співпадіння є відомою проблемою розпізнавання образів [11]. Розділяючи поверхні є однією з відомих моделей розпізнавання образів (R — моделі). Обрано найпростіший клас розділяючих поверхонь – гіперплощини, рівняння яких злипається наступним чином [2]:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i + a_{n+1} = 0.$$

Нехай множина допустимих розмірів розділена на два класи: $K_1, K_2, K_1 \cap K_2 = \emptyset$. Класом K_1 , може бути, наприклад, стандартний ряд метричних кроків різьблення, а класом K_2 – стандартний ряд дюймових кроків різьблення, перерахованих у міліметри. Нехай також відомо, що розміри S_1, \dots, S_m належать K_1 , розміри S_{m+1}, \dots, S_q – K_2 . Далі за R – моделлю маємо ввести числові характеристики $\beta(S_i) = \beta_i$ – вага розміру, але розміри вже є числами, тому коефіцієнти β_1, \dots, β_q приймають значення одиниця.

Ваги розмірів можуть використовуватись, якщо нам потрібно врахувати наявність першого переважного ряду розмірів та другого ряду.

Процес розпізнавання для $I(S) = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ відбувається наступним чином [3]:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + a_{n+1}$$

Розділимо об'єкти S_1, \dots, S_m на множини K_1^+, K_1^- : $S_i \in K_1^+$, якщо $f(I(S_i)) \geq 0$; $S_i \in K_1^-$, якщо $f(I(S_i)) < 0$. Аналогічно об'єкти S_{m+1}, \dots, S_q розділимо на множини K_2^+, K_2^- . Розглянемо величини

$$K_1^+ = \sum_{S_i \in K_1^+} (S_i), \quad K_1^- = \sum_{S_j \in K_1^-} (S_j)$$

та аналогічні їм величини K_2^+, K_2^- .

Вчислюємо $f(I(S))$. Співставимо S два числа: $D_1(S), D_2(S)$ – відповідно, – значення функції належності S класам K_1, K_2 .

Якщо $f(I(S)) \geq 0$, то

$$D_1(S) = \frac{K_1^- + K_2^-}{K_1^- + K_2^-}, D_2(S) = \frac{K_2^+ + K_1^+}{K_1^+ + K_2^+},$$

де K^- та K^+ є попереднім та наступним значенням з стандартного ряду розмірів.

При $f(I(S)) < 0$: $D_1(S) = \frac{K_1^- + K_2^+}{K_1^- + K_2^+}$ та

аналогічно $D_2(S)$.

По числам $D_1(S)$, $D_2(S)$ приймається рішення про зарахування S в K_1 чи K_2 . Ця процедура задає вирішальне правило [3]. Розміри S_i знайдені з певною похибкою $\delta \geq 0$. Величина можливої похибки знайденого вимірюванням розміру від фактичного має бути встановлена заздалегідь. Тоді вирішальні правила, мають вигляд:

якщо $D_1(S) - D_2(S) > \delta$, то $S \in K_1$;

якщо $D_2(S) - D_1(S) > \delta$, то $S \in K_2$;

якщо $|D_1(S) - D_2(S)| \leq \delta$, то рішення не приймається, алгоритм відмовляється від класифікації S .

Протягом фази ідентифікації проводяться необхідні метрологічні вимірювання та дослідження фактичного стану наявного виробу. Над цим працює частина персоналу команди, будемо називати їх метрологами, бо переважна більшість операцій, що вони виконують, є метрологічними. Та члени команди проекту, які виконують організаційно-технічні функції, конструктори та спеціалісти з розрахунків, будемо називати їх інженери. Не розв'язаним є питання щодо чисельності інженерів та метрологів. Для того, щоб мати повне уявлення про розміри та фактичний стан наявного виробу, треба провести n – метрологічних операцій за час t . Тривалість операції складає Δt , а кількість працівників N_M . Тоді, якщо планувати операції за логічним зв'язком фініш-старт, тобто у даному випадку, проведення всіх вимірювань перед початком аналізу метрологічних даних інженерами, то необхідна чисельність метрологів складе:

$$N_M = \frac{n\Delta t}{t}$$

Насправді, для зменшення часу виконання проекту та затрат на метрологів, можливо планувати операції за логічним зв'язком старт-старт [2]. При цьому інженерний аналіз на протязі виконання певної групи метрологічних операцій дозволяє зменшити кількість операцій, яку ще має бути виконано. Вважаємо, що за результатами виконання групи метрологічних операцій інженерний аналіз дозволяє зменшити загальну кількість операцій на k_i операцій. Таким чином, можна записати кількість операцій, що

залишаються після першого вимірювання A_1 , другого A_2 і так далі A_i .

$$A_1 = (A_0 - 1 - k)$$

$$A_2 = (A_1 - 1 - k)$$

$$A_i = (A_{i-1} - 1 - k)$$

$$A_n = (A_{n-1} - 1 - k)$$

Або

$$A_1 = (A_0 - 1 - k)$$

$$A_2 = (A_0 - 2 - 2k)$$

$$A_i = (A_0 - i - ik)$$

$$A_n = (A_0 - n - nk)$$

Операція A_n є останньою, процес вимірювань завершується коли $A_n = 1$, тому

$$1 = (A_0 - n - nk)$$

Звідки

$$n = \frac{A_0 - 1}{k + 1}$$

Тоді час виконання всіх вимірювань

$$t = \frac{(A_0 - 1)\Delta t}{(k + 1)N_M}$$

залежить від аналізу команди проекту, що визначає k . Звичайно k є вірогідною величиною, яка змінюється у межах від k_{min} до k_{max} .

Графік залежності кількості операцій, що залишилися A_i від кількості опрацьованих операцій n має вигляд (рис. 3). Через те, що кількість операцій на кожному кроці є вірогідною величиною, фактична залежність $A = f(n)$ лежить в області між прямими, що виходять з точки A_0 на осі ординат до точок n_{min} та n_{max} на осі абсцис відповідно.

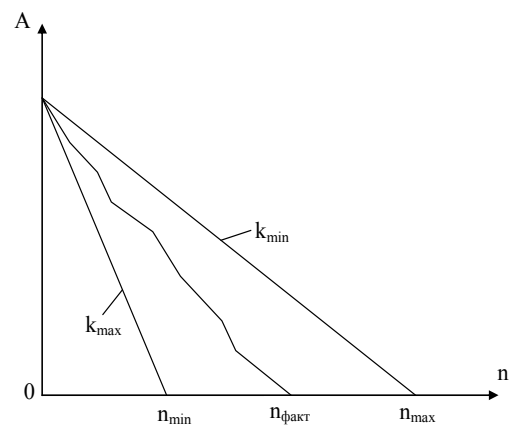


Рис. 3 – Залежність кількості чоловіко-годин від дати контрольної події

Відповідно до стандарту з кошторису метрологічних вимірювань [1] витрати, що необхідні для метрологічних вимірювань, а саме: амортизація обладнання, утримання приміщень, оренда обладнання та приміщень, тощо відносять до частки зарплати метрологів. Аналогічним чином, вважаємо, що затрати на оренду чи придбання комп'ютерів, програмного забезпечення, тощо включені в фонд зарплати інженерів. Фонд зарплати метрологів та інженерів визначається кількістю чоловіко-годин V_M та V_E , відповідно.

Спочатку основна робота припадає на метрологів, кількість їх чоловіко-годин показані стовпчиком білого кольору. Кількість чоловіко-годин інженерів (показані стовпчиком чорного кольору) можна вважати постійним ($V_E - \text{const}$) для кожної групи операцій. Кількість потрібних чоловіко-годин метрологів стрімко зменшується. Після завершення всіх метрологічних операцій потрібна ще одна група операцій інженерного аналізу для остаточних розрахунків та висновків. Тому загальна кількість чоловіко-годин інженерів по всім групам операцій $V_E (n+1)$.

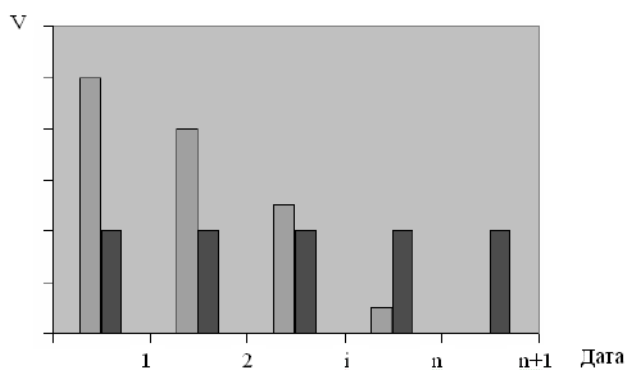


Рис. 4 – Залежність кількості чоловіко-годин від дати контрольної події

Оптимізація кошторису фази ідентифікації безпосередньо пов'язана з оптимізацією кількості потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Збільшення кількості інженерів дозволяє зменшити загальну кількість операцій та чоловіко-годин метрологів, а можливо, звільнення частини метрологів має плануватись заздалегідь. Сумарна кількість потрібних чоловіко-годин метрологів по всім групам операцій - $\sum_{i=1}^n V_{M_i}$. Водночас збільшення кількості інженерів може бути не виправдане, через їх більшу заробітну платню – бюджет може бути збільшено, а не зменшено. Завдання оптимізації може бути розв'язано на базі цільової функції

$$f(N_E) = \sum_{i=1}^n V_{M_i} + V_E(n+1)$$

Висновки

Встановлено, що у фазі ідентифікації зворотного інжинірингу команда проекту складається з двох груп, які умовно можна позначити як метрологи та інженери.

Встановлено, що використання логічного зв'язку старт-старт для груп операцій, метрологів та інженерів дозволяє суттєво скоротити загальну кількість метрологічних операцій.

Встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформована цільова функція.

Список літератури

1. МЕТОДИКА визначення вартості метрологічних робіт (ПМУ 23-2001).
2. **Siqueira, A.** Abnormal Functional Resting-State Networks in ADHD: Graph Theory and Pattern Recognition Analysis of fMRI Data / **A. Siqueira** // *BioMed Research International*. – 2014. – № 4. – 10 p. – doi: 10.1155/2014/380531.
3. **Дюкова, Е. В.** Дискретный анализ признаков описаний в задачах распознавания большой размерности / **Е. В. Дюкова, Ю. И. Журавлев** // *Журнал вычислительная математика и математическая физика*. – 2000. – Т. 40, № 8. – С. 1264 – 1278.
4. **Иванов, В. В.** Эвристические модели в машиностроении. Монография / **В. В. Иванов** // Одесса: АО Бахва. – 2012. – 268 с.
5. **Иванов, В. В.** Модели проекту зворотного інжинірингу / **В. В. Иванов** // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ": Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. – 2017. – № 2. – С. 52–57.
6. **Seewig, J.** Design and verification of geometric roughness standards by reverse engineering / **J. Seewig, M. Eifler, F. Schneider, J. C. Aurich** // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 45. – P. 259–262. – doi: 10.1016/j.procir.2016.02.157.
7. **Brandyberry, A.** Determinants of adoption for organizational innovations approaching saturation / **A. Brandyberry** // *European journal of innovation management*. – 2003. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 150–158. – doi: 10.1108/14601060310486226.
8. **Lopez-Herrejon, R. E.** An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models / **R. E. Lopez-Herrejon, L. Linsbauer, J. A. Galindo, J. A. Parejo, D. Benavides, S. Segura, A. Egyed** // *Journal of systems and software*. – 2015. – № 103. – P. 353–369. – doi: 710.1016/j.jss.2014.10.037.
9. **Ferreira, J. C.** Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology / **J. C. Ferreira, N. F. Alves** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – № 142(2). – P. 374–382. – doi:10.1016/S0924-0136(03)00601-0.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) [Електронний ресурс]. Project Management Institute. – Режим доступу: <http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-andStandards/pmbok-guide.aspx>. – 2008.
11. **Lazo-Cortesa, M. S.** On the relation between rough set reducts and typical testors / **M. S. Lazo-Cortesa, J. F. Martínez-Trinidad, J. A. Carrasco-Ochoa, G. Sanchez-Diaz** // *Information Sciences*. – 2015. – Vol. 294. – P. 152–163. – doi: 10.1016/j.ins.2014.09.045.
6. **Seewig, J., Eifler, M., Schneider, F., Aurich, J. C.** Design and verification of geometric roughness standards by reverse engineering. *Procedia CIRP*, 2016, **45**, 259–262, doi: 10.1016/j.procir.2016.02.157.
7. **Brandyberry, A.** Determinants of adoption for organizational innovations approaching saturation. *European journal of innovation management*, 2003, **6(3)**, 150–158, doi: 10.1108/14601060310486226.
8. **Lopez-Herrejon, R. E., Linsbauer, L., Galindo J.A., Parejo J.A., Benavides, D., Segura, S., Eged, A.** An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models. *Journal of systems and software*, 2015, **103**, 353–369, doi: 10.1016/j.jss.2014.10.037.
9. **Ferreira, J. C., Alves, N.F.** Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, **142(2)**, 374–382, doi:10.1016/S0924-0136(03)00601-0.
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) [Електронний ресурс]. Project Management Institute. – Available: <http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-andStandards/pmbok-guide.aspx>, 2008.
11. **Lazo-Cortesa, M. S., Martínez-Trinidad, J. F., Carrasco-Ochoa, J.A., Sanchez-Diaz, G.** On the relation between rough set reducts and typical testors. *Information Sciences*, 2015, **294**, 152–163. doi: 10.1016/j.ins.2014.09.045.

Bibliography (transliterated)

1. МЕТОДИКА визначення вартості метрологічних робіт (PMU 23-2001).
2. **Siqueira, A.** Abnormal Functional Resting-State Networks in ADHD: Graph Theory and Pattern Recognition Analysis of fMRI Data. *BioMed Research International*, 2014, **4**, 10, doi: 10.1155/2014/380531
3. **Djukova, E. V., Zhuravlev, Ju. I.** Diskretnyj analiz priznakovyh opisaniy v zadachah raspoznavaniya bol'shoj razmernosti. *Zhurnal vychislitel'naja matematika i matematicheskaja fizika*, 2000, **40(8)**, 1264 – 1278.
4. **Ivanov, V. V.** Jevristicheskie modeli v mashinostroenii. Monografija. Odessa: AO Bahva, 2012, 268.
5. **Ivanov, V. V.** Modeli proektu zvorotnoho inzhynirynu. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI": Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy*, 2017, **2**, 52–57.

Відомості про авторів (About authors)

Іванов Віктор Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри машинознавства і деталей машин, м. Одеса, Україна; e-mail: vvict@ukr.net.

Victor Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Professor of Mechanical Engineering and Machine Parts Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; vvict@ukr.net.

Чумак Наталія Володимирівна – старший інспектор відділу аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна; e-mail: n_chumak25@ukr.net.

Nataliia Chumak – inspector of Postgraduate and doctoral department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: n_chumak25@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Іванов, В. В. Оптимізація розкладу проєктів зворотного інжинірингу стандартизованих виробів / **В. В. Іванов, Н. В. Чумак** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

Please cite this article as:

Ivanov, V., Chumak, N. Optimization of curriculum of projects of the reverse engineering of the standardized wares. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 16–21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Іванов, В. В. Оптимізація розписання проєктів зворотного інжинірингу стандартизованих виробів / **В. В. Іванов, Н. В. Чумак** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

АННОТАЦІЯ Розроблена когнітивна модель управління проєктом зворотного інжинірингу, яка включає необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проєкту, а також евристичні методи управління проєктом. Розв'язано питання, по яким стандартам виготовлено вироби або їхні вузли і деталі з допомогою евристичних методів, базованих на використанні когнітивних карт і на базі моделей розпізнавання образів. Розглянуто послідовність операцій і встановлено, що використання логічної зв'язки старт-старт для груп операцій метрологів і інженерів дозволяє суттєво скоротити загальне число метрологічних операцій. Також встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією необхідних чоловіко-годин метрологів і інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформульована цільова функція.

Ключові слова: зворотний інжиніринг; когнітивна модель управління; евристичні методи; моделі розпізнавання образів; послідовність процедур; цільова функція.

Надійшла (received): 31.05.2017

УДК 691.168

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.04

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Я. В. ИЛЬИН

Кафедра технологии дорожно-строительных материалов и химии им. М.И. Волкова, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, УКРАИНА
email: yailin12011993@gmail.com

АННОТАЦИЯ Приведены результаты определения влияния воды, солевого раствора и циклического замораживания-оттаивания образцов на показатели прочности, времени жизни и средоустойчивости асфальтобетона. В ходе экспериментов было определено, что циклическое замораживание-оттаивание без дополнительных факторов оказывает незначительное влияние на прочность при изгибе, однако сказывается на прочности при сжатии; использование чистой воды вносит ощутимый вклад в потерю прочности асфальтобетона. Наибольшее негативное влияние на прогноз качества асфальтобетона оказывает циклическое замораживание-оттаивание с 5 % раствором соли.

Ключевые слова: асфальтобетон; вода; прочность при изгибе; солевой раствор; циклическое замораживание-оттаивание.

INFLUENCE OF THE MEDIA OF FREEZING AT THE LIFE LENGTH OF ASPHALT CONCRETE

YA. ILIYN

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

ABSTRACT According to the Kharkov hydro meteorological center there are about 50 freeze-thawing cycles per one winter in the Eastern Ukraine. Purpose of this investigation was definition of influence of water, saline solution and cyclic freeze-thaw of samples on the strength indicators, life length and resistance to media of asphalt concrete. Type "G" asphalt concrete with 6.5 % of bitumen with penetration grades 60/90 was investigated. It has been chosen because it is more homogeneous, which reduces the manifestation and influence of structural defects. In a result it was determined that cyclic freeze-thawing without additional factors slightly affects at flexible strength but strongly affects at compressive strength. It have been chosen two kinds of samples beam-samples (4*4*16 sm) and cylindrical samples (71.2 mm in diameter). The results of investigation are as follows: cyclic freeze-thawing with pure water makes perceptible contribution at strength loose of asphalt concrete in all investigated conditions. It was clarified that cyclic freeze-thawing renders the most negative affect at prediction of quality of asphalt concrete when it with 5 % saline solution. Separated influence of water without cyclic freeze-thawing has less destructive influence at the flexible strength and life length whereas influence of 5 % saline solution is much more aggressive for the asphalt concrete. To determine the stress state scheme, the degree of reduction in strength after the cyclic freeze-thawing, the compressive strength parameters along the generator in the condition of different rates of deformation of the initial samples and samples after residence in the air and water medium were made. This article also gives a summary, based on the experimental data of flexible strength, that the static load has its great negative influence on the asphalt concrete then dynamic one.

Keywords: asphalt concrete; bending strength; cyclic freeze-thaw; saline solution; water.

Введение

За одну зиму в Восточной Украине по данным Харьковского гидрометцентра в период с 1.10.16 г. до 31.03.17 г. произошло более 50 переходов через 0 °С. Асфальтобетон подвергается воздействию влаги, которая поступает в него в осенний период, а также на протяжении зимы, так как асфальтобетон может нагреваться от постоянных проходов транспортных средств и периодических оттепелей. Вследствие этого на поверхности дороги образуется ледяной «панцирь», с которым борются путём распределения по поверхности дороги песчано-соляной смеси (наиболее распространённой является смесь, содержащая около 20 % соли). Для этого используют техническую соль (NaCl). Соль, попадая на лед,

начинает образовывать солевой раствор, температура замерзания которого значительно (на 12-17 градусов) ниже температуры замерзания чистой воды. Благодаря этому, лёд начинает таять. Этот фактор лежит в основе химической составляющей борьбы с зимней скользкостью. Песок, тем временем, повышает степень сцепления с дорогой до тех пор, пока соль не растопит лёд. Солевой раствор проникает в асфальтобетон и циклическое замораживание-оттаивание (ЦЗО) проходит уже в солевом растворе.

Цель работы

Определение влияния различных сред на показатели времени жизни – долговечность

асфальтобетона. В данной работе рассмотрено влияние воды и солевого раствора на асфальтобетон, выдержанный при температуре плюс 20 °С и подвергнутый ЦЗО. Эта проблема широко исследуется в мире разными авторами в Китае, США, Канаде, Словакии, Турции и других странах [1-5].

В работах [1-4] рассмотрено влияние ЦЗО в воде и солевом растворе на асфальтобетон. Однако авторами использованы условия воздействия низких температур, специальный состав, продолжительность и количество циклов, не характерные для Украины. В частности в Украине, согласно требованиям нормативных документов [6], концентрация соли в воде должна достигать 5 %. Это согласуется с данными [4], согласно которым при содержании соли менее 3 % показатели прочности асфальтобетона изменяются незначительно.

Изложение основного материала

Исследован асфальтобетон типа «Г» (табл. 1) с содержанием битума (БНД 60/90) 6,5 %. Выбор этого типа асфальтобетона обусловлен большей, чем у

других асфальтобетонов, степенью однородности, что уменьшает проявление и влияние структурных дефектов.

Принятый для приготовления битум марки БНД 60/90 характеризуется: пенетрацией при температуре 25 °С – 81*0,1мм; температурой размягчения – 50,5 °С; дуктильностью при температуре 25 °С – 94 см; температурой хрупкости – минус 16 °С.

Асфальтобетон подвергался ЦЗО с продолжительностью цикла 8 часов (4 часа замораживания и 4 часа оттаивания). Температура замораживания составляла минус 25 °С ± 1 °С; температура оттаивания – плюс 20 °С ± 1 °С. Эти температуры отвечают требованиям [6], а также использованы другими исследователями [7]. Выдерживание образцов на воздухе или в среде без воздействия мороза соответствовало времени, затраченному на проведение ЦЗО, и составляло 30 суток. Образцы-цилиндры подвергали ЦЗО в воде и на воздухе а затем испытывали на прочность при сжатии и на раскол при разных скоростях.

Таблица 1 – Зерновой состав асфальтобетонной смеси типа Г

Исходные материалы	Долевое содержание материалов Д0	Содержание (%) зёрен крупнее приведённого размера, мм (полные остатки)							
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,07	мельче 0,075
Песок искусственный гранитный	0,60	-	24,0	43,9	60	60	60	60	60
Песок природный кварцевый	0,25	-	0,01	0,05	0,89	8,38	22,24	24,81	25
Минеральный порошок известняковый	0,15	-	0,05	0,05	0,12	0,41	2,21	5,97	15
Полные остатки на ситах	1,00	-	24,06	44,00	61,01	68,79	84,45	90,78	100
Нормативные пределы полных остатков для смеси типа Г по ДСТУ Б.В.2.7-119		0-5	17-32	33-55	50-72	62-82	76-89	84-92	100

Для испытаний брали образцы-балки (размерами 4x4x16см) и цилиндры (диаметр 71,2 мм). Балки испытывали на прочность при изгибе и на ползучесть (время «жизни», долговечность) балок под нагрузкой, равной 20 % от исходной разрушающей (табл. 2.).

Испытания по определению времени жизни образцов (долговечности), осуществляли с помощью рычажного пресса, на воздухе при постоянной температуре +21 °С. В качестве схемы испытания использовался четырёхточечный изгиб [8]. Образцы предварительно термостатировали на протяжении 2 часов при температуре +21 °С до начала испытания. Термостатированные образцы устанавливали на нижние опорные рифли, затем прикладывали нагрузку, через загрузочные рифли, отвечающую 20 % от разрушающей при скорости изгиба 3 мм/мин.

Таблица 2 – Показатели прочности и времени жизни образцов-балок до и после воздействия негативных факторов

Условия испытаний	Прочность при изгибе, МПа	Время жизни, с	Коэффициент устойчивости	
			по прочности при изгибе	по времени жизни
Исходные значения	3,24	15176	-	-
После 50 ЦЗО на воздухе	3,12	15128	0,96	1,00
После 50 ЦЗО в воде	2,05	5454	0,63	0,36
После 50 ЦЗО в солёной воде	0,96	280	0,30	0,02
После 30 дней в солёной воде	2,66	12501	0,82	0,82

Таблица 3 – Показатели прочности на сжатие и раскол образцов-цилиндров до и после ЦЗО на воздухе и в воде

Условия испытаний	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на раскол при скорости 3 мм/мин, МПа	Прочность на раскол при скорости 50 мм/мин, МПа	Коэффициент устойчивости		
				по прочности на сжатие	по прочности на раскол при скорости 3 мм/мин	по прочности на раскол при скорости 50 мм/мин
Исходные значения	5,15	0,98	2,01	-	-	-
После 50 ЦЗО на воздухе	4,05	0,62	1,58	0,79	0,63	0,79
После 50 ЦЗО в воде	3,85	0,46	1,05	0,75	0,47	0,52

В результате испытаний было установлено, что наибольший урон асфальтобетону наносят ЦЗО асфальтобетона, насыщенного 5 % раствором соли. Результаты испытаний образцов цилиндрической формы приведены в табл. 3.

Для установления схемы напряженного состояния, степени уменьшения прочности после ЦЗО были определены показатели прочности при сжатии по образующей в условии разных скоростей деформирования исходных образцов и образцов после пребывания в воздушной и водной среде (Табл. 3.)

Обсуждение результатов

Результаты исследования, представленные в таблицах 2 и 3, показали, что самое ощутимое воздействие оказывает именно ЦЗО в 5 % солевом растворе. При таком воздействии прочность при изгибе падает на 70 %, по сравнению с исходными значениями, а время «жизни» (долговечность) – на катастрофические 98 %. Отдельное воздействие воды сказывается меньше и; за такой же промежуток времени, равный 30 суткам, прочность при изгибе снизилась лишь на 4 %. Солевой раствор является

более агрессивным и снижает прочность при изгибе и время «жизни» на 18 %.

В то же время, результаты исследования ЦЗО на воздухе согласуются с данными [7, 9], где установлено, что при попеременном воздействии отрицательных и положительных температур, снижается его прочность. При этом, прочность на сжатие снизилась на 21 %. Одновременное воздействие низких температур и воды оказывает более сильное влияние на показатели прочности, что подтверждают данные [10], и усугубляет негативную динамику в отношении прочности при изгибе и при сжатии, а также время «жизни» образцов под воздействием 20 % от разрушающей нагрузки. Прочность при изгибе снизилась на 37 %, прочность при сжатии – на 25 %, что лишь на 4 % ниже, чем при ЦЗО на воздухе, без воздействия каких-либо растворов или жидкостей, время «жизни» снизилось на 64 %. В связи с этим можно сделать вывод, что воздействие статической нагрузки после ЦЗО негативно сказывается на прочности асфальтобетона.

Согласно этим данным, для большей наглядности, была построена столбчатая диаграмма (см. рис. 1).

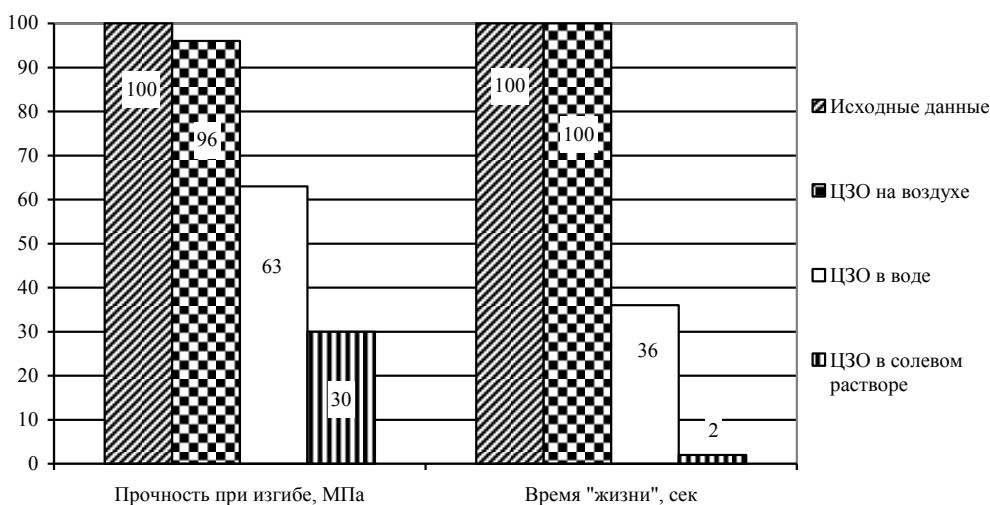


Рис. 1 – Потеря прочностных свойств асфальтобетона (в %) под влиянием ЦЗО (Исходное значение принято за 100 %)

Из рисунка видно, что ЦЗО на воздухе не сказалось на времени «жизни» и слабо (на 4 %) повлияло на прочность при изгибе. Однако другие компоненты, неотъемлемо следующие за ЦЗО в реальных условиях зимой, такие как вода и соль, на 70 % снижают показатели прочности при изгибе и оставляют лишь 2 % от исходного времени «жизни» образцов.

Выводы

В результате выполненного исследования было определено, что ЦЗО в воздушной среде оказывает незначительное влияние на прочность при изгибе, однако сказывается на прочности при сжатии (потеря прочности на 22 %).

ЦЗО в воде приводит к значительной потере прочности асфальтобетона и его времени жизни.

Наибольшее негативное влияние на качество асфальтобетона оказывает ЦЗО в 5 % солевом растворе, который может проникать в асфальтобетон в период оттепелей зимой.

Список литературы

1. **Tang, N.** Damage and corrosion of conductive asphalt concrete subjected to freeze-thaw cycles and salt / **N. Tang, C. J. Sun, S. X. Huang, S. P. Wu** // *Journal Materials Research Innovations*. – 2013. – Vol. 17. – P. 240–245. – doi: 10.1179/1432891713Z.000000000223.
2. **Mohab, El-Hakim.** Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes / **Mohab El-Hakim** // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2014. – Vol. 2444. – P. 20–27. – doi: 10.3141/2444-03.
3. **Decheng, F.** Impact of salt and freeze-thaw cycles on performance of asphalt mixtures in coastal frozen region of China / **F. Decheng, Y. Junyan, W. Dongsheng, C. Liangliang** // *Cold Regions Science and Technology*. – 2010. – Vol. 62, Issue 1. – P. 34–41. – doi: 10.1016/j.coldregions.2010.02.002.
4. **Wei, S.** Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions / **S. Wei, L. Ning, M. Biao, R. Junping, W. Hainian, H. Jian** // *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* – 2015. – Vol. 30. – Issue 4. – P. 703–709. – doi: 10.1007/s11595-015-1215-5.
5. **Özgan, E.** Investigation of certain engineering characteristics of asphalt concrete exposed to freeze-thaw cycles / **E. Özgan, S. Serin** // *Cold Regions Science and Technology*. – 2013. – Vol. 85. – P. 131–136. – doi: 10.1016/j.coldregions.2012.09.003.
6. СОУ 42.1-37641918-110:2014 Метод визначення показника морозостійкості. Київ, 2014.
7. **Чуракина, О. Е.** Влияние отрицательных температур на устойчивость структуры асфальтобетона // **О. Е. Чуракина** // *канд. Диссертация*. – М. – 1990. – 154 с.
8. **Хамад, Р. А.** Оценка устойчивости асфальто- и асфальтополимербетонных к жидким агрессивным средам / **Р. А. Хамад** // *канд. диссертация*. – Х. – 2015. – 187 с.
9. **Головко, В. А.** Исследование водо- и морозостойкости горячих и тёплых асфальтобетонных / **В. А. Головко** // *канд. диссертация*. – Х. – 1978. – 248 с.
10. **Wei, S.** Reliability-based assessment of deteriorating performance to asphalt pavement under freeze-thaw cycles in cold regions / **S. Wei, M. Biao, L. Ning, J. Ren, H. Wang** // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 68. – P. 572-579. – doi: 10.1016/j.conbuildmat. 2014.07.004.

Bibliography (transliterated)

1. **Tang, N., Sun, C. J., Huang, S. X., Wu, S. P.** Damage and corrosion of conductive asphalt concrete subjected to freeze-thaw cycles and salt. *Journal Materials Research Innovations*, 2013, 17, 240-245, doi: 10.1179/1432891713Z.000000000223.
2. **Mohab, El-Hakim.** Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2014, 2444, 20-27, doi: 10.3141/2444-03.
3. **Decheng, F. Junyan, Y., Dongsheng, W., Liangliang, C.** Impact of salt and freeze-thaw cycles on performance of asphalt mixtures in coastal frozen region of China. *Cold Regions Science and Technology*, 2010, 62, 1, 34-41, doi: 10.1016/j.coldregions.2010.02.002.
4. **Wei, S., Ning, L., Biao, M., Junping, R., Hainian, W., Jian, H.** Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 2015, 30, 4, 703-709, doi: 10.1007/s11595-015-1215-5.
5. **Özgan, E., Serin, S.** Investigation of certain engineering characteristics of asphalt concrete exposed to freeze-thaw cycles. *Cold Regions Science and Technology*, 2013, 85, 131-136, doi: 10.1016/j.coldregions.2012.09.003.
6. СОУ 42.1-37641918-110:2014 Метод визначення показника морозостійкості. Kyiv, 2014.
7. **Churakina, O. E.** Vliyanie otricatel'nyh temperatur na ustojchivost' struktury asfal'tobetona. *kand. dissertacija*, M, 1990, 154.
8. **Hamad, R. A.** Ocenka ustojchivosti asfal'to- i asfal'topolimerbetonov k zhidkim aggressivnym sredam. *kand. dissertacija*, Kh, 2015, 187.
9. **Golovko, V. A.** Issledovanie vodo- i morozostojkosti gorjachih i tjoplyh asfal'tobetonov. *kand. dissertacija*, Kh, 1978, 248.
10. **Wei, S., Biao, M., Ning, L., Ren, J., Wang, H.** Reliability-based assessment of deteriorating performance to asphalt pavement under freeze-thaw cycles in cold regions, *Construction and Building Materials*, 2014, 68, 572-579, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.004.

Сведения об авторах (About the Authors)

Ильин Ярослав Викторович – аспирант, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра технологии дорожно-строительных материалов и химии им. М. И. Волкова, г. Харьков, Украина; e-mail: yailin12011993@gmail.com.

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

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ильин, Я. В. Влияние среды замораживания на показатели времени жизни асфальтобетона / **Я. В. Ильин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23(1245). – С. 22-26. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.04.

Please cite this article as:

Piyn, Ya. V. Influence of the media of freezing at the life length of asphalt concrete. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 22–26, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.04.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю таким чином:

Ільїн, Я. В. Вплив середовища заморожування на показники часу життя асфальтобетону / **Я. В. Ільїн** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях.* – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 23(1245). – С. 22-26. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.23.04.

АНОТАЦІЯ Наведено результати визначення впливу води, циклічного заморожування-відтавання на показники міцності, часу життя та у середо стійкості асфальтобетону. В результаті було визначено, що циклічне заморожування-відтавання без додаткових факторів незначно впливає на міцність при вигині, але відображається на міцності при стиску, використання чистої води дає вагомий внесок до втрати міцності асфальтобетону. Найбільш негативно впливає на прогноз якості асфальтобетону використання 5 % розчину солі при циклічному заморожуванні-відтаванні.

Ключові слова: асфальтобетон; вода; міцність при вигині; сольовий розчин; циклічне заморожування-відтавання.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 621.9.048.7:621.9.048.6

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.05

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ КОМБІНОВАНОГО ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ТА ОЗДОБЛЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ X12MФ

Д. А. ЛЕСИК^{1*}, В. В. ДЖЕМЕЛІНСЬКИЙ¹, Б. М. МОРДЮК², Г. І. ПРОКОПЕНКО², О. О. ДАНИЛЕЙКО¹

¹ кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА

² відділ фізичних основ інженерії поверхні, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ, Київ, УКРАЇНА

*email: lesyk_d@ukr.net

АНОТАЦІЯ В даній роботі, для підвищення фізико-механічних властивостей робочих поверхонь виробів запропоновано спосіб комбінованого лазерно-ультразвукового поверхневого зміцнення з використанням сканувального лазерного променя та ультразвукового багатобойкового наконечника. Для реалізації комбінованого термодформаційного зміцнення та оздоблювання визначено вплив режимів лазерної термообробки та ультразвукової ударної обробки на властивості поверхневого шару сталі X12MФ з використанням багатofакторного експерименту із елементами аналізу дисперсії та рівнянь регресії. Встановлено, що процес лазерного термозміцнення сталі необхідно реалізовувати при температурі нагрівання 1250...1300 °C та швидкості обробки 80...100 мм/хв., а процес ультразвукового деформаційного зміцнення – при амплітуді ультразвукових коливань 18 мкм та тривалості обробки 100...120 с.

Ключові слова: лазерна термообробка; ультразвукова ударна обробка; сталь X12MФ; поверхневий шар; твердість; шорсткість.

DETERMINATION OF OPTIMUM REGIMES OF COMBINED LASER-ULTRASONIC HARDENING AND FINISHING OF TOOL STEEL AISI D2

D. LESYK^{1*}, V. DZHEMELINSKYI¹, B. MORDYUK², G. PROKOPENKO², O. DANYLEIKO¹

¹ Department of Laser Systems and Applied Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

² Department of Physical Fundamentals of Surface Engineering, Kurdyumov Institute for Metal Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT To improve the physical and mechanical properties of working surfaces of products, a new method combined laser-ultrasonic surface hardening and finishing using a scanning laser beam ultrasonic multiple impact head was suggested. The surface layers of cold worked tool steel AISI D2 were hardened by laser heat treatment and by ultrasonic impact treatment. The laser transformation hardening process was implemented using a 1 kW solid state fiber-laser with scanning optics and PID closed loop temperature control. The ultrasonic deformation hardening process was carried out by means of a 0.3 kW ultrasonic generator and ultrasonic oscillatory system, which contained a piezoceramic transducer, step-like horn and the impact head with seven cylindrical pins. The single-path processes were studied. This paper is focused on experimental analysis of the effects of heating temperature (1200...1340 °C) and specimen feed rate (40...140 mm/min) used at the laser transformation hardening process on the hardening depth and surface hardness/microhardness of subsurface layer, as well as the effects of the vibration amplitude of ultrasonic horn (15...18 μm) and treatment duration (60...240 s) at ultrasonic impact peening on the surface roughness/waviness and hardness using response surface methods. The experimental plan is based on a miscellaneous design matrix method. The quadratic regression equations for predicting the studied output parameters were developed. The optimum regimes of the laser transformation hardening and ultrasonic impact peening processes were determined based on the highest surface hardness and minimum roughness/waviness. It was established that the process of laser transformation hardening should realize at heating temperature 1250...1300 °C and specimen feed rate 80...100 mm/min, and the ultrasonic impact peening process – at vibration amplitude of ultrasonic horn 18 mm and treatment duration 100...120 s.

Keywords: laser heat treatment; ultrasonic impact treatment; AISI D2 steel; surface layer; hardness; roughness.

Вступ

Надійність та стійкість деталей машин/виробів в великій мірі визначається шорсткістю поверхні та формою мікрорельєфу поверхні, а також мікроструктурою, мікротвердістю та величиною залишкових макронапружень поверхневих шарів, які

зазнають найбільш значні навантаження в процесі експлуатації.

Незважаючи на значну зносостійкість легованих інструментальних сталей, багато досліджень проводиться для підвищення їх експлуатаційних властивостей за рахунок зміни структури приповерхневих шарів [1,2].

Підвищення зносостійкості робочих поверхонь відповідальних деталей сучасними методами лазерного поверхневого зміцнення представляє особливий інтерес для дослідників з огляду істотного впливу модифікованої структури з дрібнодисперсними карбідами [3].

Крім того, використання високоміцних та зносостійких матеріалів, в тому числі і високолегованих сталей, для підвищення ресурсу роботи штампового інструменту не завжди задовольняє експлуатаційні властивості та економічно не вигідні. Перспективними є розробка та реалізація новітніх виробничих технологій.

Лазерна термообробка (ЛТО) є один із поширених методів для підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей, які працюють в екстремальних умовах [4]. В літературі досить широко представлені результати дослідження впливу лазерного випромінювання на структурно-фазові перетворення та мікротвердість інструментальних сталей [5-7]. Технологія поверхневого лазерного термічного зміцнення полягає в передачі та поглинанні енергії високої концентрації тонкому поверхневому шарі виробу.

Крім того, для зменшення механічного зношування металевих виробів все частіше розробляються та застосовуються на виробництві комбіновані (гібридні) процеси лазерного термомодеформаційного зміцнення [8,9] з використанням як статичних, так і динамічних методів поверхнево-пластичної деформації.

Ефективним методом зміцнення та оздоблювання поверхонь металевих матеріалів серед методів поверхнево-пластичної деформації є безабразивна ультразвукова фінішна обробка або ультразвукова ударна обробка (УЗУО) за рахунок інтенсивного поверхневого деформаційного подрібнення структурних складових поверхневого шару [10].

Таким чином, розвиток нових промислових технологій відбувається в напрямку комплексування відомих технологій в гібридні та комбіновані процеси. Одним з ефективних комбінованих методів поверхневого зміцнення робочих поверхонь виробів є використання лазерного термічного зміцнення та наступного ультразвукового деформаційного зміцнення (ЛТО+УЗУО).

Мета роботи

Метою даної роботи є встановлення оптимальних режимів лазерного термічного зміцнення сканувальним лазерним променем та ультразвукового деформаційного зміцнення багатобойковим наконечником з огляду на покращення глибини зміцнення і твердості поверхні (мікротвердості) при ЛТО, а також шорсткості, хвилястості та твердості поверхні при УЗУО інструментальної сталі Х12МФ.

Виклад основного матеріалу

Матеріалом для проведення експериментальних досліджень було використано інструментальну сталь Х12МФ в початковому відпалювальному стані, виходячи із широкого використання в машинобудуванні та необхідності підвищення якості поверхневого шару деталей, які працюють в екстремальних умовах.

В даній роботі експериментальне дослідження процесів формування поверхневого шару проводили при постановці багатофакторного експерименту окремо як для ЛТО, так і для УЗУО, на основі яких визначали оптимальні режими для проведення комбінованої обробки. При цьому в якості факторів використовували наступні технологічні режими: температура нагрівання (T) і швидкість переміщення зразка (S) при ЛО (табл. 1), а також амплітуда ультразвукових коливань концентратора ($A_{узк}$) та тривалість обробки ($t_{узк}$) при УЗУО (табл. 2).

Таблиця 1 – Межі варіювання факторів при ЛТО сталі Х12МФ

Фактори	Рівні факторів			
	$x_{\min} (-1)$	$x_{\max} (+1)$	$x_0 (0)$	Δx
$A(x_1)$ – температура нагрівання T ($^{\circ}C$)	1200	1340	1270	70
$B(x_2)$ – швидкість переміщення зразка S (мм/хв)	40	140	90	50

Таблиця 2 – Межі варіювання факторів при УЗУО сталі Х12МФ

Фактори	Рівні факторів			
	$x_{\min} (-1)$	$x_{\max} (+1)$	$x_0 (0)$	Δx
$A(x_1)$ – амплітуда ультразвукових коливань $A_{узк}$ (мкм)	15	18	16.5	1.5
$B(x_2)$ – тривалість обробки $t_{узк}$ (с)	60	240	150	90

Значення інших технологічних параметрів режимів обробки – ширина і швидкість сканування лазерного променя, статичне навантаження ультразвукового інструменту, частота ультразвукових коливань концентратора, діаметр деформуючого бойка встановлювали постійними, які були визначені на основі попередніх досліджень та рекомендацій.

Досліджуваними вихідними параметрами були глибина зміцнення (h_3), мікротвердість приповерхневого шару ($H\mu$) та поверхнева твердість (HRC) при ЛТО, а також середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості (Ra), середнє арифметичне відхилення профілю хвилястості (Wa) та поверхнева твердість (HRC) при УЗУО.

Лазерну термообробку (ЛТО) зразків проводили за допомогою лазерного технологічного комплексу, який містить волоконний лазер Rofin Sinar FL010 з максимальною вихідною потужністю 1 кВт, установку з числовим програмним керуванням (ЧПК), 2D оптичну систему Scanlab Hurryscan25, лазерний двоколірний пірометр Impac Igar 12LO та спеціальне програмне забезпечення для контролю температури нагрівання та параметрів сканування лазерного променя [8,11].

ЛТО зразків здійснювали в діапазоні температури нагрівання 1200...1340 °С та швидкості переміщення зразка 40...140 мм/хв (табл. 1) при постійних величинах швидкості сканування 1000 мм/с та ширині сканування 10 мм лазерного променя.

Наступну ультразвукову ударну обробку (УЗУО) здійснювали на технологічній установці з ЧПК, що включала ультразвуковий генератор УЗГ250 (частотою 21.6 кГц і потужністю 0.3 кВт) та ультразвукову коливальну систему з п'єзокерамічним перетворювачем, ступінчастим концентратором та багатобойковим наконечником із сімома циліндричними бойками [10,11].

УЗУО зразків здійснювали в діапазоні амплітуди ультразвукових коливань концентратора 15...18 мкм та тривалості обробки 60...240 с при постійних величинах статичного навантаження деформаційного інструменту 50 Н та частоти обертання наконечника 76 об⁻¹.

Експериментальні дані оцінювали згідно квадратичної регресійної моделі:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (1)$$

де y – цільова функція (досліджувані вихідні параметри), яка розраховується моделлю, b_0 – сталий коефіцієнт регресії, b_1 , b_2 , b_{12} , b_{11} , b_{22} – коефіцієнти регресії, x_1 , x_2 – змінні, які відповідають факторам експерименту (вхідні режими ЛТО та УЗУО).

У відповідності з вибраним планом (3²) було проведено 9 експериментів як для ЛТО, так і для УЗУО. План експерименту ЛТО та УЗУО сталі Х12МФ приведено відповідно у таблицях 3 та 4.

Таблиця 3 – Матриця планування експерименту при ЛТО сталі Х12МФ

№	№ экс.	x_1 (Т)	x_2 (S)	x_1 (Т)	x_2 (S)	y_1 (h_3) мкм	y_2 (H_{μ}) ГПа	y_3 (HRC)
1	5	0	0	1270	90	310	6.75	52.1
2	9	+	+	1340	140	240	7.2	52.7
3	6	+	0	1340	90	270	6.85	52.4
4	1	-	-	1200	40	170	6.7	47
5	7	-	+	1200	140	80	5.6	33.8
6	3	+	-	1340	40	290	6.7	51.5
7	4	-	0	1200	90	140	5.7	45.2
8	8	0	+	1270	140	230	6.9	54.8
9	2	0	-	1270	40	380	5.7	51.2

Таблиця 4 – Матриця планування експерименту при УЗУО сталі Х12МФ

№	№ экс.	x_1 (A_{y3k})	x_2 (t_{y3})	x_1 (A_{y3k})	x_2 (t_{y3})	y_4 (R_a) мкм	y_5 (W_a) мкм	y_6 (HRC)
1	7	-	+	15	240	0.27	0.23	28.4
2	4	-	0	15	150	0.31	0.33	28.6
3	5	0	0	16.5	150	0.32	0.38	29
4	9	+	+	18	240	0.29	0.55	29.3
5	3	+	-	18	60	0.16	0.4	27.7
6	1	-	-	15	60	0.13	0.14	27.1
7	6	+	0	18	150	0.34	0.6	29.6
8	2	0	-	16.5	60	0.15	0.23	27.5
9	8	0	+	16.5	240	0.28	0.4	28.6

Планування експерименту, статистичну обробку отриманих результатів, побудову та аналіз рівнянь регресії проводили за допомогою статистичного програмного пакету «Design-Expert V7», зокрема модулю «Response Surface Method». Дисперсійний аналіз результатів експериментальних досліджень проводили за допомогою модулю «ANOVA».

Дослідження мікрорельєфу поверхні зразків, а також зони термічного та деформаційного впливу проводили на оптичному профілометрі Leica DCM3D за допомогою конфокального об'єктиву 10XLD. Параметри профілю мікрорельєфу поверхні визначали на базовій довжині 0.8 мм у відповідності з міжнародним стандартом ISO4287, а параметри топографії мікрорельєфу поверхні – ISO25178. Мікротвердість зміцнених шарів в поперечному перерізі та поверхневу твердість оцінювали з використанням відповідно цифрового мікротвердоміра FM800 та цифрового твердоміра Computest SC.

Обговорення результатів

Діапазон оптимальних технологічних режимів ЛТО та УЗУО досліджуваної сталі здійснювали на основі аналізу результатів проведеного багатофакторного експерименту. Зокрема, адекватність розроблених моделей оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу шляхом аналізу основних коефіцієнтів моделі (табл. 5).

Дисперсійний аналіз (табл. 5) показує, що розроблені квадратичні регресійні моделі відгуку глибини зміцнення (h_3) та мікротвердості (H_{μ})/твердості (HRC) поверхні при ЛТО, а також шорсткості (R_a), хвилястості (W_a) та твердості (HRC) поверхні при УЗУО є адекватними тому, що величини значимості моделі є меншими, чим 0.05. Крім того, коефіцієнти детермінації знаходяться в діапазоні $0 \leq R^2 \leq 1$, а значення точності є більшим за 4 та значення коефіцієнтів варіювання моделі є порівняно

низькими, що дозволяє стверджувати про високу точність та надійність отриманих результатів.

Таблиця 5 – Дисперсійний аналіз досліджуваних параметрів при ЛТО та УЗУО сталі Х12МФ

Коефіцієнти моделі	ЛТО			УЗУО		
	$y_1 (h_s)$	$y_2 (H\mu)$	$y_3 (HRC)$	$y_4 (Ra)$	$y_5 (Wa)$	$y_6 (HRC)$
Значення критерію Фішера	18,20	9,62	36,61	748,2	33,81	54,37
Значення адекватності	0,018	0,045	0,006	0,0001	0,007	0,003
Коефіцієнт детермінації (R^2)	0,96	0,94	0,98	0,99	0,98	0,98
Скоригований коефіцієнт детермінації (R^2)	0,91	0,84	0,95	0,99	0,95	0,97
Передбачений коефіцієнт детермінації (R^2)	0,61	0,37	0,80	0,99	0,84	0,86
Точність відгуку	12,8	9,2	16,8	67,6	16,9	20,3

Таким чином, виявлено, що основний вплив на величину глибини зміцнення та мікротвердості (твердості) поверхні має температура нагрівання. При УЗУО значніший вплив на величину шорсткості, хвилястості та твердості поверхні відіграє тривалість обробки.

Квадратичні рівняння регресії (математичні моделі) для функції відгуку глибина зміцнення та мікротвердості/твердості поверхні при ЛТО (рівняння 2-4), а також шорсткості, хвилястості та твердості поверхні при УЗУО (рівняння 5-7) сталі Х12МФ, згідно проведеного багатофакторного експерименту для кодованих значень, має вигляд:

$$h_s = 312.2 + 68.3A - 48.3B + 10AB - 108.3A^2 - 8.3B^2, (2)$$

$$H\mu = 6.6 + 0.5A + 0.3B + 0.05AB - 0.1A^2 - 0.1B^2, (3)$$

$$HRC = 51.9 + 2.4A + 1.1B + 0.37AB - 1.5A^2 + 0.1B^2, (4)$$

$$Ra = 0.4 + 0.04A - 0.01B - 0.02AB + \dots - 0.1B^2, (5)$$

$$Wa = 1.08 + 0.26A + 0.03B - 0.09AB + \dots - 0.17B^2, (6)$$

$$HRC = 26.11 + 0.43A - 0.78B + 0.20AB + \dots + 0.68B^2, (7)$$

Відповідно, для дійсних значень факторів квадратичні рівняння регресії (експериментальні моделі) для функції відгуку глибина зміцнення та мікротвердості/твердості поверхні при ЛТО (рівняння 8-10), а також шорсткості, хвилястості та твердості поверхні при УЗУО (рівняння 11-13) має вигляд:

$$h_s = -36200.32 + 56.87T - 3.99S + \dots - 3.33 \cdot 10^{-3} S^2, (8)$$

$$H\mu = -54.18 + 0.08T - 6.47S + \dots - 3.33 \cdot 10^{-5} S^2, (9)$$

$$HRC = -492.12 + 0.82T - 0.12S + \dots + 4.0 \cdot 10^{-5} S^2, (10)$$

$$Ra = -0.28 + 0.01A + 0.6t - 2.5 \cdot 10^{-3} At + \dots - 0.11t^2, (11)$$

$$Wa = 3.3 - 0.48A + 3 \cdot 10^{-3} t + \dots - 1.37 \cdot 10^{-5} t^2, (12)$$

$$HRC = 32 - 1A + 0.03t + 5.5 \cdot 10^{-4} At + \dots - 1.2t^2, (13)$$

Отримані вище математичні моделі (рівняння 2-7) для кодованих факторів (змінних) пов'язані з кодованими режимами лазерного термозміцнення та ультразвукового деформаційного зміцнення, а експериментальні моделі (рівняння 8-13) за умовами дійсних факторів (змінних) пов'язані з дійсними (експериментальними) значеннями режимів ЛТО та УЗУО.

Таким чином, на основі вище приведеного дисперсійного аналізу, отримані квадратичні регресійні моделі характеризується високою точністю та можуть бути використані для керування глибиною зміцнення та мікротвердістю/твердістю поверхні в залежності від температури нагрівання та швидкості ЛТО, а також шорсткості, хвилястості та твердістю поверхні в залежності від амплітуди ультразвукових коливань концентратора та тривалості УЗУО сталі Х12МФ. Зокрема, взаємозв'язок між дійсними і передбаченими значеннями поверхневої твердості як при ЛТО, так і при УЗУО приведено на рис. 1, що підтверджує адекватність розроблених моделей.

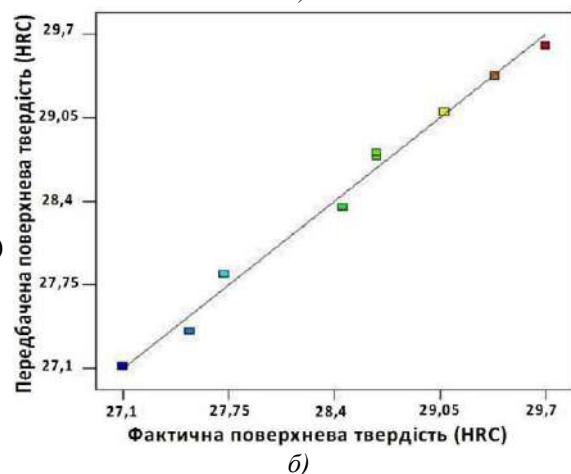
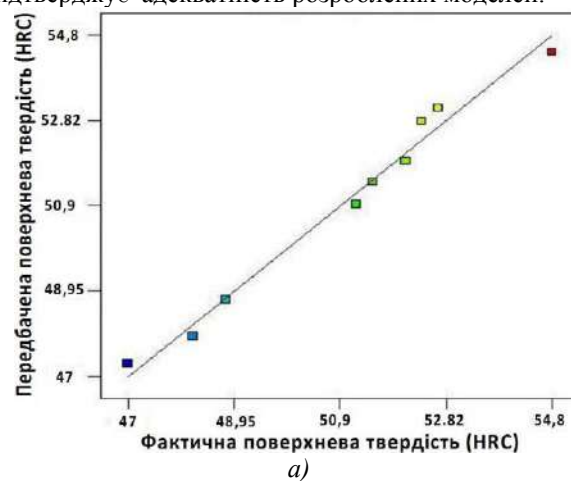


Рис. 1 – Взаємозв'язок між дійсними та передбачуваними величинами поверхневої твердості при ЛТО (а) та УЗУО (б)

Поверхні відгуків цільової функції – глибина зміцнення, а також мікротвердість приповерхневого шару та твердість поверхні в площинах параметрів впливу температури нагрівання та швидкості ЛТО приведено на рис. 2,3.

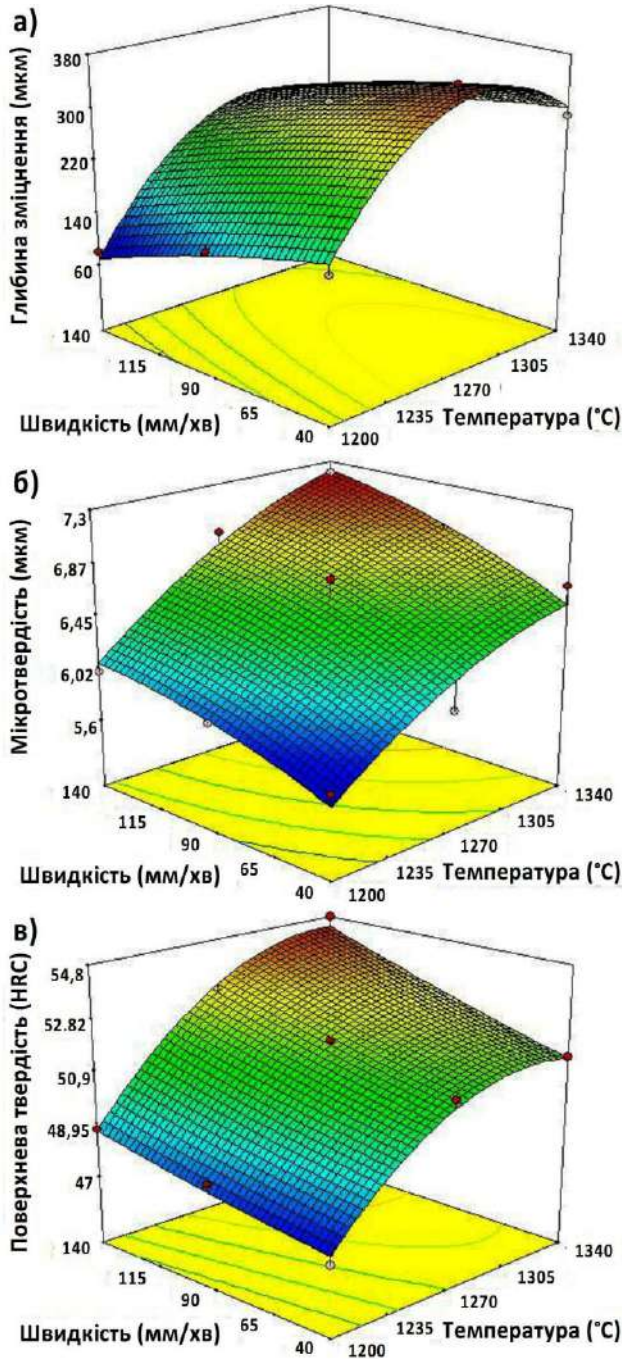


Рис. 2 – Вплив температури нагрівання та швидкості ЛТО на глибину зміцнення (а), мікротвердість поверхневого шару (б) та поверхневу твердість (в) сталі X12MФ у 3D площині

Попередні експериментальні дослідження показали, що при температурі нагрівання нижче 1200 °C та швидкості обробки 40...140 мм/хв

не було виявлено зони термічного впливу. При температурі нагрівання 1200 °C глибина зміцнення поверхневого шару складає ~130 мкм (твердість поверхні ~HRC 45), що є недостатнім при експлуатації виробів в екстремальних умовах. Подальше збільшення температури нагрівання до 1270 °C привело до збільшення як величини зони зміцнення, так і твердості поверхні (рис. 2а-в). При цьому мікротвердість приповерхневого шару складає 6,75 МПа (швидкість ЛТО 90 мм/хв).

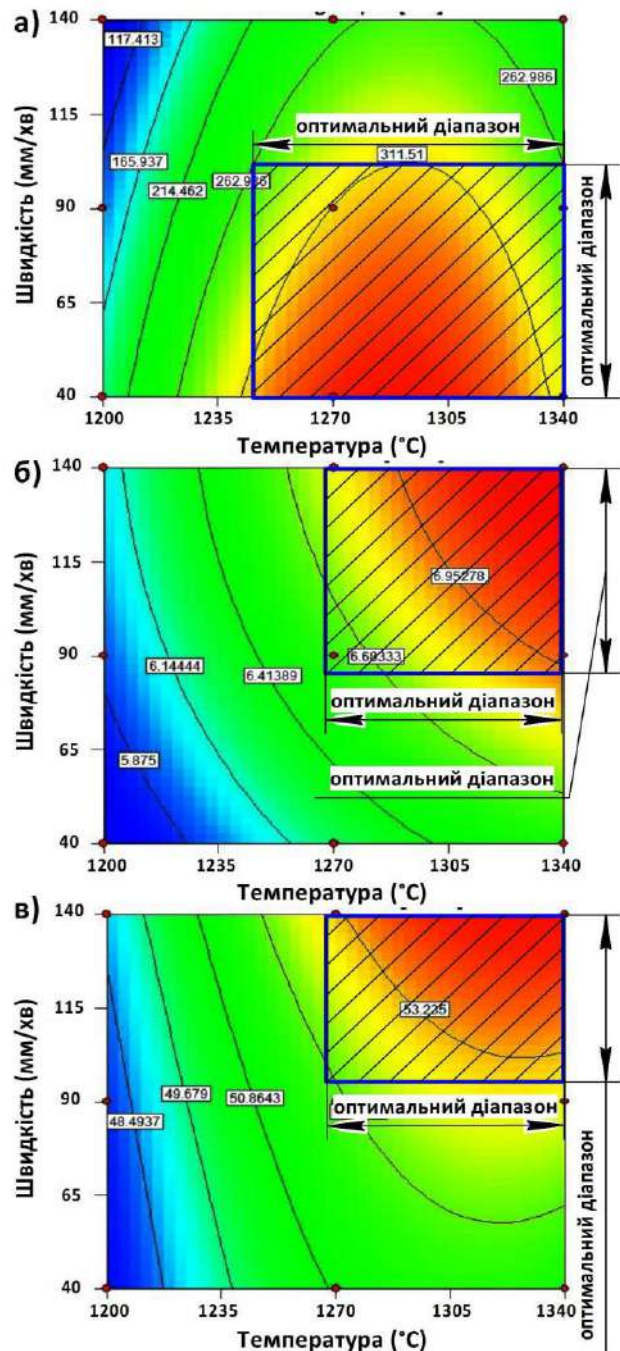


Рис. 3 – Вплив температури нагрівання та швидкості ЛТО на глибину зміцнення (а), мікротвердість поверхневого шару (б) та поверхневу твердість (в) сталі X12MФ у 2D площині

При температурі нагрівання 1340 °С спостерігається незначне зменшення глибини зміцнення в порівнянні з температурою нагрівання 1270 °С. При цьому твердість поверхні (~HRC 52) практично не змінюється. Це може бути пов'язано, що при даних режимах ЛТО досліджуваної сталі відбувається надмірне нагрівання.

зміцненого шару. Незважаючи на кращу твердість поверхні, зміцнена зона при максимальній швидкості обробки має недостатню глибину зміцнення (~240 мкм). Найбільші значення твердості поверхні спостерігається при максимальній температурі нагрівання та швидкості переміщення оброблюваної поверхні (рис. 3б,в).

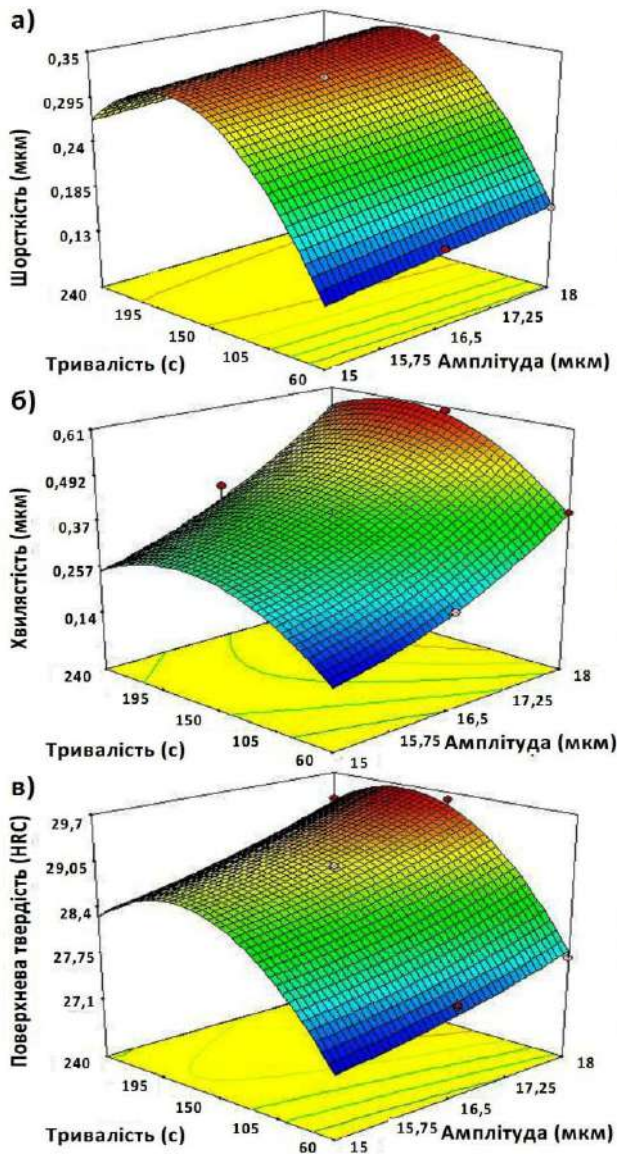


Рис. 4 – Вплив амплітуди ультразвукових коливань концентратора та тривалості УЗУО на шорсткість (а), хвилястість (б) та поверхневу твердість (в) сталі X12MФ у 3D площині

Крім того, виявлено, що при ЛТО спостерігається зменшення параметрів профілю зони зміцнення та збільшення твердості поверхні зі збільшенням швидкості ЛТО ($S = 140$ мм/хв) внаслідок зменшення швидкості охолодження приповерхневих шарів (рис. 3а). Це сприяє формуванню більш однорідної мікроструктури

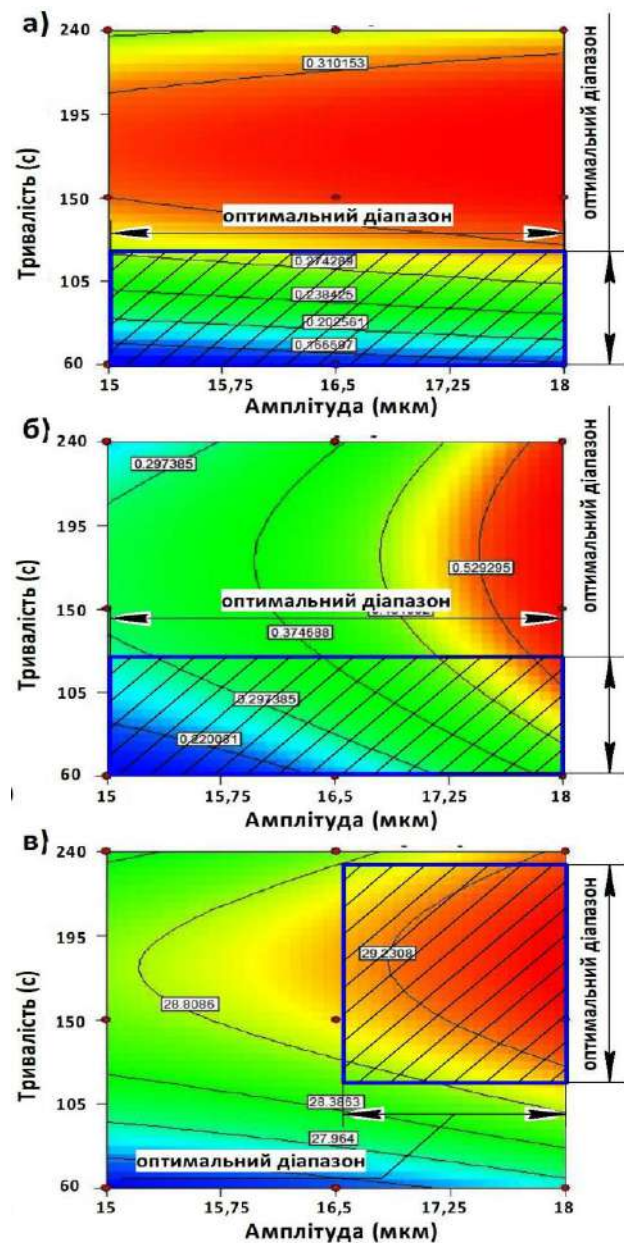


Рис. 5 – Вплив амплітуди ультразвукових коливань концентратора та тривалості УЗУО на шорсткість (а), хвилястість (б) та поверхневу твердість (в) сталі X12MФ у 2D площині

Таким чином, процес лазерного термозміцнення інструментальної сталі X12MФ, з використанням волоконного лазера та сканатора, доцільно реалізовувати при температурах нагрівання не більше 1300 °С, а для забезпечення повної

аустенізації прогрітих приповерхневих шарів, швидкість переміщення оброблюваної поверхні повинна складати приблизно 90 мм/хв.

На відміну від незначної зміни параметрів шорсткості/хвилястості оброблюваної поверхні з використанням волоконного лазера, поверхнево-пластична деформація інтенсифікована УЗУО досліджуваних зразків сприяє значному зменшенню параметрів шорсткості та формуванню регулярного мікрорельєфу на обробленій поверхні.

У порівнянні з вихідним станом ($R_a = 2,6$ мкм, $W_a = 1,66$ мкм) використання УЗУО дозволило зменшити параметр шорсткості R_a в 6 разів, а параметр хвилястості W_a в 2 рази в залежності від амплітуди ультразвукових коливань концентратора та тривалості УЗУО (рис. 4а,б). Найбільш помітне зниження параметру шорсткості ($R_a = 0.13$ мкм) зафіксовано після УЗУО на протязі 60 с та амплітуді ультразвукових коливань концентратора 15 мкм. При збільшенні амплітуди ультразвукових коливань концентратора параметри мікрорельєфу поверхні підвищуються (рис. 5а,б).

Крім того, УЗУО досліджуваної сталі також сприяє зміцненню поверхневого шару. Зокрема, найбільші значення твердості поверхні було отримано після УЗУО протягом 180 с та амплітуді ультразвукових коливань концентратора 18 мкм (рис. 4в). Однак подальше збільшення тривалості УЗУО (>180 с) при використаних амплітудах ультразвукових коливань викликало деяке зменшення твердості поверхні за рахунок індукованого знеміцнення (перенаклепу), що ініціює формування деформованого шару з утворенням різних дефектів (виривів, локальних пор, відшарувань). Підвищення амплітуди ультразвукових коливань концентратора сприяє збільшенню поверхневої твердості (рис. 5в). Таким чином, на основі вище приведених досліджень, найбільш ефективними є наступні технологічні режими УЗУО: амплітуда ультразвукових коливань концентратора 18 мкм, а тривалість УЗУО не більше 120 с при постійних величинах частоти обертання наконечника (~80 об/хв) та статичного навантаження інструменту (50 Н).

Висновки

Визначено діапазони оптимальних режимів ЛТО та УЗУО сталі Х12МФ з огляду на максимальні величини глибини зміцнення і твердості зміцненого шару при ЛТО та мінімальних параметрів мікрорельєфу та твердості поверхні при УЗУО.

Показано, що розроблені квадратичні регресійні моделі характеризуються високою точністю та можуть бути використані для керування глибини зміцнення та твердості поверхні в залежності від температури нагрівання та швидкості ЛТО, а також параметрів мікрорельєфу та твердості поверхні в залежності від амплітуди ультразвукових коливань концентратора та тривалості УЗУО сталі Х12МФ.

Встановлено, що лазерну термообробку інструментальної сталі Х12МФ, з використанням волоконного Nd:YAG лазера та сканатора, доцільно реалізовувати при температурі нагрівання 1250...1300 °С та швидкості ЛТО 80...100 мм/хв, а наступну ультразвукову деформаційну обробку багатобойковим наконечником – при амплітуді ультразвукових коливань концентратора 18 мкм та тривалості УЗУО 100...120 с.

Робота фінансово підтримувалася проектом EWENT в рамках програми Erasmus Mundus Action 2 Lot 8. Автори статті вдячні проф. Ламікізу А. та наук. спів. Мартінез С. (Університет Країни Басків, м. Більбао, Іспанія) за надану можливість в проведенні експериментальних досліджень.

Список літератури

1. **Kovalenko, V. S.** Laser hardening of chrome steels / **V. S. Kovalenko, L. F. Golovko** // *The industrial laser handbook*, Springer-Verlag New York Inc. – 1992. – P. 121-122.
2. **Aqida, S. N.** An overview of laser surface modification of die steels / **S. N. Aqida, S. Naher, M. Maurel, D. Brabazon** // *Proc. Materials of 25th Int. Manuf. Conf., Dublin, Ireland 3-5 September*. – 2008. – P. 102-128.
3. **Babic, M.** Optimal fractal dimension on grain structure robot laser-hardened tool steel / **M. Babic, J. Babic, P. Kokol** // *Advances in Production Engineering & Management*. – 2014. – № 9. – P. 119-127. – doi:10.14743/apem2014.3.181.
4. **Головко, Л. Ф.** Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / **Л. Ф. Головко, С. О. Лук'яненко** // *Вісник, Київ*. – 2009. – 296 р.
5. **Lee, J. H.** Laser surface hardening of AISI H13 tool steel / **J. M. Lee, J. H. Jang, B. D. Joo, Y. H. Moon** // *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. – 2009. – № 19. – P. 917-920. – doi:10.1016/S1003-6326(08)60377-5.
6. **Amine, T.** Microstructural and hardness investigation of tool steel D2 processed by laser surface melting and alloying / **T. Amine, J. W. Newkirk, H. El-Din, F. El-Sheikh, F. Liou** // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2014. – № 73. – P. 1427-1435. – doi:10.1007/s00170-014-5882-8.
7. **Goia, F. A.** Surface hardening of an AISI D6 cold work steel using a fiber laser / **F. A. Goia, M. S. Fernandes de Lima, B. D. Joo, Y. H. Moon** // *Journal of ASTM International*. – 2011. – № 8. – P. 1-9. – ID JAI103210.
8. **Lesyk, D. A.** An overview of laser surface modification of die steels / **D. A. Lesyk, S. Martinez, V. V. Dzhemelinskyi, B. N. Mordiyuk, A. Lamikiz, G. I. Prokopenko** // *Proc. Materials of Seventh Int. Conf.: Laser Technologies in Welding and Materials Processing, Odessa, Ukraine 14-18 September*. – 2015. – P. 31-32.
9. **Wang, Z.** Influence of shot peening on the fatigue life of laser hardened 17-4PH steel / **Z. Wang, C. Jiang, X. Gan, Y. Chen, V. Ji** // *International Journal of Fatigue*. – 2011. – № 33. – P. 549-556. – doi:10.1016/j.ijfatigue.2010.10.010.
10. **Mordiyuk, B. N.** Ultrasonic impact treatment – an effective method for nanostructuring the surface layers in metallic materials / **B. N. Mordiyuk, G. I. Prokopenko** // *In. M. Aliofkhaezai (Ed.), Handbook of mechanical nanostructuring, Wiley-VCH, Weinheim*. – 2015. – P. 417-434 – doi:10.1002/9783527674947.ch17.
11. **Lesyk, D. A.** Surface microrelief and hardness of laser hardened and ultrasonically peened AISI D2 tool steel / **D. A. Lesyk, S. Martinez, V. V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz,**

B. N. Mordyuk, G. I. Prokopenko // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – № 278. – P. 108-120. – doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.07.049.

Bibliography (transliterated)

1. **Kovalenko, V. S., Golovko, L. F.** Laser hardening of chrome steels. *The industrial laser handbook*, Springer-Verlag New York Inc, 1992, 121-122.
2. **Aqida, S. N., Naher, S., Maurel, M., Brabazon, D.** An overview of laser surface modification of die steels, *Proc. Materials of 25th Int. Manuf. Conf., Dublin, Ireland 3-5 September*, 2008, 102-128.
3. **Babic, M., Babic, J., Kokol, P.** Optimal fractal dimension on grain structure robot laser-hardened tool steel, *Advances in Production Engineering & Management*, 2014, **9**, 119-127, doi.org/10.14743/apem2014.3.181.
4. **Golovko, L. F., Luk"yanenko, S. O.** Lazerni tehnologii' ta komp'yuterne modeljuvannja [Laser technology and computer modeling]. Kyev: Vistka, 2009, 296.
5. **Lee, J. H., Jang, J. H., Joo, B. D., Moon, Y. H.** Laser surface hardening of AISI H13 tool steel, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2009, **19**, 917-920, doi:10.1016/S1003-6326(08)60377-5.
6. **Amine, T., Newkirk, J. W., El-Din, H., El-Sheikh, F., Liou, F.** Microstructural and hardness investigation of tool steel D2 processed by laser surface melting and alloying, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, **73**, 1427-1435, doi:10.1007/s00170-014-5882-8.
7. **Goia, F. A., Fernandes de Lima, M. S., Joo, B. D., Moon, Y. H.** Surface hardening of an AISI D6 cold work steel using a fiber laser, *Journal of ASTM International*, 2011, **8**, 1-9, ID JAI103210.
8. **Lesyk, D. A., Martinez, S., Dzhemelinskyi, V. V., B. N. Mordyuk, Lamikiz, A., Prokopenko, G. I.** An overview of laser surface modification of die steels, *Proc. Materials of Seventh Int. Conf.: Laser Technologies in Welding and Materials Processing, Odessa, Ukraine 14-18 September*, 2015, 31-32.
9. **Wang, Z., Jiang, C., Gan, X., Chen, Y., Ji, V.** Influence of shot peening on the fatigue life of laser hardened 17-4PH steel, *International Journal of Fatigue*, 2011, **33**, 549-556, doi:10.1016/j.ijfatigue.2010.10.010.
10. **Mordyuk, B. N., Prokopenko, G. I.** Ultrasonic impact treatment – an effective method for nanostructuring the surface layers in metallic materials, *In. M.Aliofkhaezai (Ed.), Handbook of mechanical nanostructuring*, Wiley-VCH, Weinheim, 2015, 417-434, doi:10.1002/9783527674947.ch17.
11. **Lesyk, D. A., Martinez, S., Dzhemelinskyi, V. V., Lamikiz, A., Mordyuk, B. N., Prokopenko, G. I.** Surface microrelief and hardness of laser hardened and ultrasonically peened AISI D2 tool steel, *Surface and Coatings Technology*, 2015, **278**, 108-120, doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.07.049.

Відомості про авторів (About authors)

Лесик Дмитро Анатолійович – кандидат технічних наук, асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», асистент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій; м. Київ, Україна; e-mail: lesyk_d@ukr.net.

Dmytro Lesyk – Scientific Degree (Ph. D.), assistant, Department of Laser Systems and Applied Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: lesyk_d@ukr.net.

Джемелінський Віталій Васильович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», професор кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій; м. Київ, Україна; e-mail: vitaly.dzhemelinsky@gmail.com.

Vitaliy Dzhemelinskyi – Scientific Degree (Ph. D.), Professor, Department of Laser Systems and Applied Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: vitaly.dzhemelinsky@gmail.com.

Мордюк Богдан Миколайович – доктор технічних наук, завідувач відділу, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ, завідувач відділу фізичних основ інженерії поверхні; м. Київ, Україна; e-mail: mordyuk@imp.kiev.ua.

Bogdan Mordyuk – Scientific Degree (Ph. D.), DSc, Head of department for "Physical fundamentals of surface engineering", Kurdyumov Institute for Metal Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: mordyuk@imp.kiev.ua.

Прокопенко Георгій Іванович – доктор технічних наук, провідник науковий співробітник, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ, провідний науковий співробітник відділу фізичних основ інженерії поверхні; м. Київ, Україна; e-mail: prokop@imp.kiev.ua.

Georgiy Prokopenko – Scientific Degree (Ph. D.), DSc, Researcher of department for "Physical fundamentals of surface engineering", Kurdyumov Institute for Metal Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: prokop@imp.kiev.ua.

Данилейко Олександр Олександрович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», аспірант кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій; м. Київ, Україна; e-mail: danyleiko.oleksandr@gmail.com.

Oleksandr Danyleiko – PhD student, Department of Laser Systems and Applied Technologies, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: danyleiko.oleksandr@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лесик, Д. А. Визначення оптимальних режимів комбінованого лазерно-ультразвукового зміцнення інструментальної сталі X12MФ / **Д. А. Лесик, В. В. Джемелінський, Б. М. Мордюк, Г. І. Прокопенко, О. О. Данилейко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 27-35. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.05.

Please cite this article as:

Lesyk, D. A., Dzhemelinskyi, V. V., Mordyuk, B. N., Prokopenko, G. I., Danyleiko, O. O. Determination of optimum regimes of combined laser-ultrasonic hardening and finishing of tool steel AISI D2. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 27–35. - doi:10.20998/2413-4295.2017.23.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лесик, Д. А. Определение оптимальных режимов комбинированного лазерно-ультразвукового упрочнения инструментальной стали X12MФ / **Д. А. Лесик, В. В. Джемелинский, Б. Н. Мордюк, Г. І. Прокопенко, А. А. Данилейко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 27-35. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.05.

АННОТАЦИЯ В данной работе для повышения физико-механических свойств рабочих поверхностей изделий предложен способ комбинированного лазерно-ультразвукового поверхностного упрочнения с использованием сканирующего лазерного луча и ультразвукового багатобойкового наконечника. Для реализации комбинированного термомеханического упрочнения и отделки определено влияние режимов лазерной термообработки и ультразвуковой ударной обработки на свойства поверхностного слоя стали X12MФ с использованием многофакторного эксперимента с элементами анализа дисперсии и уравнений регрессии. Установлено, что процесс лазерного термоупрочнения стали необходимо реализовывать при температуре нагрева 1250...1300 °С и скорости обработки 80...100 мм/мин., а процесс ультразвукового деформационного упрочнения – при амплитуде ультразвуковых колебаний 18 мкм и продолжительности обработки 100...120 с.

Ключевые слова: лазерная термообработка; ультразвуковая ударная обработка; сталь X12MФ; поверхностный слой; твердость; шероховатость.

Надійшла (received) 30.05.2017

УДК 622/794:621-1

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.06

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ ОТ РАЗМЕРОВ КУСКОВ

В. П. НАДУТЫЙ¹, В. И. ЕЛИСЕЕВ², В. И. ЛУЦЕНКО², С. В. КОСТЫРЯ¹

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), отдел механики машин и процессов переработки минерального сырья, г. Днепр, УКРАИНА

²Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), отдел проблем шахтных энергетических комплексов, г. Днепр, УКРАИНА
e-mail: nadutyvp@gmail

АННОТАЦИЯ С целью определения зависимостей водонасыщения измельченных горных пород от времени пропитки и массы кусков проведены экспериментальные работы с образцами базальта, туфа и угля. Выполнена аппроксимационная обработка результатов экспериментов с использованием экспоненциальных функций. Показано, что выбранный класс функций с хорошей точностью описывает эмпирические данные. Выявлено, что предельное водонасыщение зависит от массы образцов, что указывает на фрактальный характер пористой структуры пород. Определены минимальные массы образцов, для которых пористую структуру можно считать однородной. Полученные зависимости позволяют проводить предварительные оценки водонасыщения в зависимости от времени пропитки и массы образцов.

Ключевые слова: пропитка; водонасыщение; пористая структура; базальт; уголь; туф.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE WATER SATURATION OF THE MILLED MOUNT MASS FROM THE SIZES OF PIECES

V.P. NADUTYY¹, V.I. YELISEEV², V.I. LUTSENKO³, S.V. KOSTYRYA⁴

¹ Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), department of mechanics of machines and processing of mineral raw materials, Dnepr, UKRAINE

² Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), department of problems of mine energy complexes, Dnepr, UKRAINE

ABSTRACT In order to determine the dependence of the water saturation of crushed rock on the time of impregnation and the mass of the pieces, experimental work was carried out with samples of basalt, tuff and coal. Approximate processing of experimental results using exponential functions is performed. It is shown that the chosen class of functions describes empirical data with good accuracy. It was found that the limiting water saturation depends on the mass of the samples, which indicates the fractal nature of the porous structure of the rocks. The minimum masses of samples for which the porous structure can be considered homogeneous are determined. The obtained dependences make it possible to carry out preliminary estimates of the water saturation as a function of the impregnation time and the mass of the samples. The performed complex of studies allows to determine the water saturation time of the rock under study taking into account the mass of the pieces and the characteristics of the porosity of these materials. The obtained data serve as the initial information when preparing products from the material under study, as well as the technology of their dehydration. The obtained analytical dependencies make it possible to predict the water saturation of the crushed rock mass in preparation for use or further processing.

Keywords: impregnation; water saturation; porous structure; basalt; coal; tuff.

Введение

Капиллярные свойства пористых тел играют важную роль в различных технологических процессах, например, пропитка и обезвоживание, которые являются часто необходимыми звеньями общих технологий обработки и дальнейшего использования продуктов горнодобывающей промышленности. При разработке и усовершенствовании соответствующего оборудования и технологических приемов необходимо с достаточно хорошей точностью определять величины капиллярных сил и

рассчитывать процессы, связанные с движением жидкости в пористых телах с учетом действия этих сил. Для насыпных сред с достаточно узким распределением частиц по диаметру и со сравнительно однородной структурой в настоящее время хорошо разработан математический аппарат, который по необходимости дополняется экспериментально получаемыми параметрами. В других случаях, особенно для природных материалов данные о структуре чрезвычайно малы, вследствие чего экспериментальные методы составляют в настоящее время основу получения необходимых данных для дальнейших работ.

Цель работы

В данной статье излагаются результаты экспериментальных исследований по пропитке образцов базальта и туфа с Рафаловского карьера (Ровенская область) и антрацитового угля (Донецкая область). В нашем случае эти материалы, различны по химическому составу, по генезису своего образования и структуре [1, 2]. Объединяет их то, что они имеют широкое применение, доступны для исследования с целью усовершенствования технологических операций и имеют сложную поровую систему, представляющую значительный интерес для изучения.

Изложение основного материала

Методология эксперимента хорошо известна и изложена в многочисленных учебных пособиях, величины водопоглощения и водонасыщения также содержатся в научной и учебной литературе. Однако, для определенных работ с этими материалами необходимы конкретные знания, раскрывающие динамические особенности пропитки и обезвоживания.

В результате вышесказанного был проведен ряд экспериментов на определения степени водонасыщения горной массой различной крупности. Эксперимент проходил следующим образом: исследуемый материал с нулевой влажностью и различной крупностью был помещен в емкость с водой и через определенный отрезок времени производился контрольный замер влажности и материал обратно помещался в водную среду до полного насыщения. После полного насыщения порового пространства в материале влажность стала постоянной.

Результаты экспериментальных исследований показаны на рис. 1 – 3 (маркеры, соединенные тонкими линиями, соответствуют значениям, полученным экспериментально).

Из рассмотрения этих кривых следует два важных вывода. Первый состоит в том, что, за время эксперимента наступает предельное или, по крайней мере, очень близкое к предельному влагонасыщение поровой системы испытываемых образцов. По характеру кривых видно, что для всех кусков влагопоглощение растет монотонно и приближается к некоторой предельной величине. Другим важным выводом является то, что кускам разных размеров соответствуют различные величины предельного водонасыщения. Известно, что дисперсные материалы обладают фрактальными свойствами [3], о чем в нашем случае свидетельствует зависимость предельного насыщения образцов от размеров куска. Это указывает на то, что, например, с уменьшением его размеров изменяется и перколяционная система порового пространства. Это естественно, т.к. поровая

система содержит как относительно широкие каналы, так и очень узкие и тупиковые, а то и полностью закрытые поры, не участвующие в водопоглощении. Принимая во внимание, что вся поровая структура связана с образованием материала, условиями его пребывания в месторождении, а также с методами добычи, то ясно, что даже некоторые осредненные параметры будут иметь большие разбежки, о чем свидетельствуют литературные данные о пористости, удельной массе и водонасыщении этих материалов [4-9]. Не имея статистических распределений каналов по размерам и объемам ясно, что наиболее широкие, влагонепроводящие поровые каналы или трещины имеют некоторое размещение в объеме образцов, при этом, чем образец больше, тем с большим основанием такое распределение можно принять однородным. Чем меньше размер куска, тем меньше вероятность попадания в него хорошо влагонепроницаемого участка и, соответственно разброс в значениях водопоглощения будет большим. Таким образом, неоднородность распределения проводящих каналов может быть определена при анализе экспериментальных данных, относящихся к насыщенному состоянию. Используя значения влагонасыщения, относящиеся к окончанию эксперимента, получим следующие кривые, показанные на рис. 4 – 6

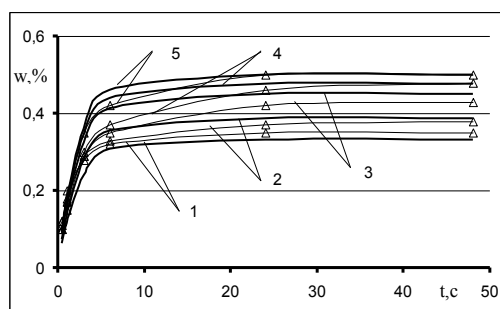


Рис. 1 – Зависимость насыщения кусков базальта разной массы влагой от времени:
1 - $M = 438$ г; 2 - 590г; 3 - 913г; 4 - 1240г; 5 - 2800г

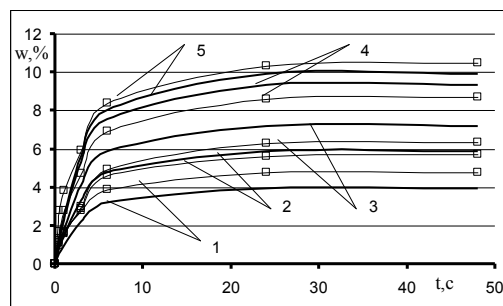


Рис. 2 – Зависимость насыщения кусков туфа разной массы влагой от времени:
1 - $M = 315$ г; 2 - 535г; 3 - 735г; 4 - 1220г; 5 - 1430г

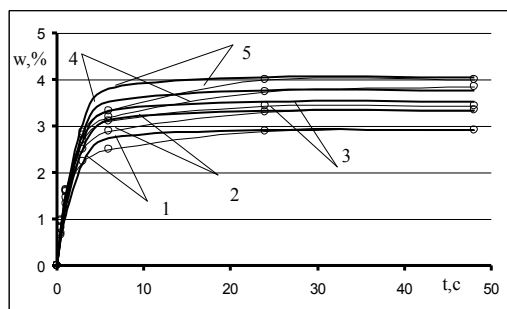


Рис. 3 – Зависимость насыщения кусков угля разной массы влагой от времени:

1 - $M = 300$ г; 2 - 387г; 3 - 445г; 4 - 527г; 5 - 685г

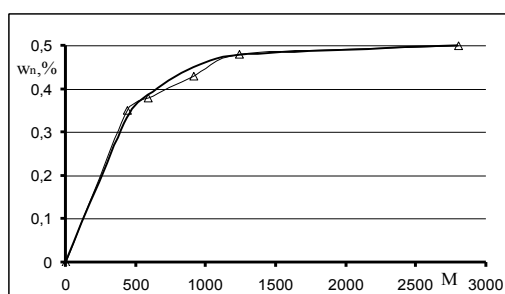


Рис. 4 – Зависимость предельного насыщения кусков базальта от их масс

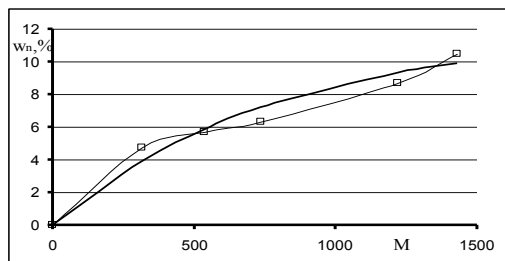


Рис. 5 – Зависимость предельного насыщения кусков туфа от их масс

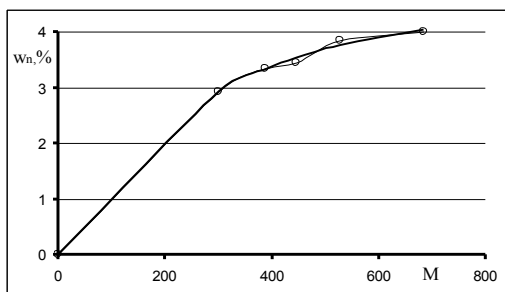


Рис. 6 – Зависимость предельного насыщения кусков угля от их масс

Из рис. 4 видно, что для базальта кривая W_n по своему характеру близка к экспоненциальной

(асимптотически приближающейся к некоторой величине) и практически достигает своего однородного значения, соответствующего большому куску. Для угля кривая еще не достигает своей однородной величины, а в случае с туфом она совсем далека от такого значения. С целью получения простых математических зависимостей, необходимых в дальнейших исследованиях, по всем полученным экспериментальным данным была проведена аппроксимация кривых. В основу базовых зависимостей, принимая во внимание экспоненциальный характер кривых, показанных на рис.1 - 6, была положена формула вида $w = w_n [1 - \exp(-\lambda t)]$, где $w_n = W [1 - \exp(-\gamma M)]$, при этом коэффициенты W, γ, λ определяются методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных точек. При выборе вида функциональной зависимости водонасыщения от времени важно подчеркнуть, что, как это можно заметить из рис. 1 - 3, время достижения насыщения во всех кусках одной и той же породы примерно одинаково, т.е. не видно каких-то больших различий в выходе кривых на свою полочку. Это дает возможность принять коэффициент λ независимым от размеров куска и принять его для каждой породы соответственно постоянным. В результате вычисления этих коэффициентов были найдены следующие простые формулы для определения водонасыщения измельченной горной породы, в зависимости от времени и массы кусков:

для базальта

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0.425t)], \\ w_n &= 0.5 [1 - \exp(-M / 400)]; \quad (1) \\ \sigma_n &= 0.0118, \quad \sigma = 0.0328; \end{aligned}$$

для туфа

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0.278t)], \\ w_n &= 11.8 [1 - \exp(-M / 780)]; \quad (2) \\ \sigma_n &= 0.665, \quad \sigma = 0.696; \end{aligned}$$

для угля

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0.469t)], \\ w_n &= 4.4 [1 - \exp(-M / 275)]; \quad (3) \\ \sigma_n &= 0.0612, \quad \sigma = 0.202; \end{aligned}$$

где $\sigma_n = \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 (w_n^k - w_n(M_k))^2 \right]^{0.5}$ и

$$\sigma = \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 \left[\frac{1}{6} \sum_{m=1}^6 (w_n^{m,k} - w(M_k, t_m))^2 \right] \right]^{0.5}$$

соответственно средние квадратичные ошибки для кривых W_n и W .

На приведенных выше рисунках показаны кривые (сплошные линии без маркеров),

рассчитанные по формулам (1 – 3). По величине средней квадратичной ошибки, да и по рис. 5 видно, что для туфа результат оказался наихудшим, но вполне удовлетворительным для оценок необходимых параметров. Сами величины σ_n и σ оказались небольшими, особенно для базальта, что говорит о вполне удачном выборе базовых функций, отражающих физические особенности процесса пропитки. Постоянство коэффициента λ в пределах интервала используемых в экспериментах объемов, возможно, свидетельствует о том, что в кусках сохраняется некоторое самоподобие поровой структуры. Еще одна деталь, проявляющаяся в формулах (1 – 3) указывает на то, что для туфа λ представляет наименьшее значение среди других величин. Известно, что туф является высокопористым материалом, который должен быстро впитывать влагу, однако, видимо, большинство пор являются глухими, а влагопоглощающие связаны друг с другом узкими каналами с большими сопротивлениями. Если положить экспоненту в квадратных скобках в выражении для w_n равной 0.01, то можно с хорошей точностью определить массу куска, для которого структуру поровой системы в его объеме можно считать вполне однородной: для угля это - 1266г и более, для базальта – 1842г, для туфа – 3592г.

Выводы

Выполненный комплекс исследований позволяет определить время водонасыщения исследуемой горной породы с учетом массы кусков и характеристик пористости этих материалов. Полученные данные служат исходной информацией при подготовке изделий из исследуемого материала, а также технологии их обезвоживания. Полученные аналитические зависимости позволяют прогнозировать водонасыщение измельченной горной массы при подготовке ее к использованию или дальнейшей переработке.

Список литературы

1. Тюменцева, О. В. Минералы и горные породы / О. В. Тюменцева. – Омск. Изд. СибАДИ. – 2000. – 62с.
2. Гюльмалиев, А. М. Теоретические основы химии угля / А. М. Гюльмалиев, Г. С. Головин, Т. Г. Гладун. М.: Изд-во Московского государственного горного университета. 2003. – 556с.
3. Ролдугин, В. И. Фрактальные структуры в дисперсных системах / В. И. Ролдугин // Успехи химии. – 2003. – Т. 72, вып. 10. – С. 931 – 960.
4. Патент на корисну модель № 92897 UA, МПК В02D 61/56 (2006.1). Пристрій для зневоднення / В. П. Надутый, В. В. Сухарев, С. В. Костыря; заявник і патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – у 2014 03 312; заявл. 01.04.2014, опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17. – 4 с.

5. Гришкин, Н. Н. Классификация по крупности для обогащения минеральных частиц / Н. Н. Гришкин, В. Б. Кусков, Я. В. Кускова // Обогащение руд. – 2008. – № 2. – С. 24-26.
6. Jamil Sami Haddad. Complex Dehydration of Rock Mass: / Jamil Sami Haddad, Sukharev V. V., Kostyrya S. V. // International Journal of Engineering and Science. – 2015. – Vol.5, Issue 9. – P. 7-10.
7. Надутый, В. П. Теоретические оценки влияния некоторых параметров процесса комплексного обезвоживания горной массы / В. П. Надутый, В. И. Елисеев, В. И. Луценко, С. В. Костыря // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. – 2016. – Вип. 126. – С. 36-42.
8. Стариков, А. П. Прогрессивные технологии обогащения – основа эксплуатационной надежности и эффективности угольного производства / А. П. Стариков, Н. И. Канев, Л. В. Байсаров, А. Н. Редька // Уголь. – 2010. - №2. – С. 52-55.
9. Skott, B. The screen Vor-Siv for dewatering and classification / B. Skott // Oystermen Coal Mining. – 1982. – № 8. – P. 158-161.
10. Rutherford, L. J Mining and preparation considerations to combat problems of boiler slogging and fouling: XIV international cool preparation congress and exhibition / L. J. Rutherford. Sandton: Sandton Convention Centre. – 2002. – P. 97-106.

Bibliography (transliterated)

1. Tyumentseva, O. V. Mineraly i gornye porody – Omsk. Izd. Si-bADI. – 2000. – 62s.
2. Gulymaliev, A. M., Golovin G. S., Gladun T. G. Teoreticheskie osno-vyi himii uglya. M.: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo uni-versiteta. 2003. – 556s.
3. Roldugin, V. I. Fraktalnye strukturyi v dispersnyih sistemah, Uspehi himii, 2003, 72, 10, 931 – 960.
4. Patent na korisnu model № 92897 UA, MPK V02D 61/56 (2006.1). Pristriy dlya znevodnennya / V.P. Nadutyi, V.V. Suharev, S.V. Kostyrya; zayavnik i patentovlasnik IGTM M.S. Polyakova NAN Ukrayini. – u 2014 03 312; zayavl. 01.04.2014, opubl. 10.09.2014, Byul. # 17. – 4 s.
5. Grishkin, N. N., Kuskov, V. B., Kuskova, Ya. V. Klassifikatsiya po krupnosti dlya obogascheniya mineralnyih chastits, Obogaschenie rud, 2008, 2, 24-26.
6. Jamil Sami Haddad, Suharev, V. V., Kostyrya, S. V. Complex Dehydration of Rock Mass, International Journal of Engineering and Science, 2015, 5, 9, 7-10.
7. Nadutyiy, V. P., Eliseev, V. I., Lutsenko, V. I., Kostyrya, S. V. Teoreticheskie otsenki vliyaniya nekotoryih parametrov protsessa kompleksnogo obezvozhvaniya gornoy massyi, Geotekhnichna mehanika: Mizhvid. zb. nauk. pratsi IGTM NAN Ukrayini, 2016, 126, 36-42.
8. Starikov, A. P., Kanev, N. I., Baysarov, L. V., Redka, A. N. Progressivnyie tehnologii obogascheniya – osnova ekspluatatsionnoy nadezhnosti i effektivnosti ugolnogo proizvodstva, Ugol, 2010, 2, 52-55.
9. Skott, B. The screen Vor-Siv for dewatering and classification, Oystermen Coal Mining, 1982, 8, 158-161.
10. Rutherford, L. J. Mining and preparation considerations to combat problems of boiler slogging and fouling: XIV international cool preparation congress and exhibition. Sandton: Sandton Convention Centre, 2002, 97-106.

Сведения об авторах (About authors)

Надутьий Владимир Петрович - доктор технических наук, профессор, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Украина, г. Днепр, e-mail: nadutyvp@gmail.com.

Vladimir Nadutyu - Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), head of the department of mechanics of machines and processing of mineral raw materials, Ukraine, Dnepr, e-mail: nadutyvp@gmail.com.

Елисеев Владимир Иванович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), отдел проблем шахтных энергетических комплексов, Украина, г. Днепр, e-mail: helgasobakagnivik@ukr.net.

Vladimir Eliseev - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), department of problems of mine energy complexes, Ukraine, Dnepr, e-mail: helgasobakagnivik@ukr.net.

Луценко Василий Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), отдел проблем шахтных энергетических комплексов, Украина, г. Днепр, e-mail: lvi151156@gmail.com.

Vasily Lutsenko - candidate of technical sciences, Senior Researcher, Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), department of problems of mine energy complexes, Ukraine, Dnepr, e-mail: lvi151156@gmail.com.

Костыря Сергей Владимирович – аспирант, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), отдел механики машин и процессов переработки минерального сырья, Украина, г. Днепр, e-mail: kostyrya81@gmail.com.

Sergey Kostyrya - post-graduate student, Institute of Geotechnical Mechanics N.S. Polyakova NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Department of Mechanics of Machines and Processes of Mineral Processing, Ukraine, Dnepr, e-mail: kostyrya81@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Надутьий, В. П. Экспериментальное определение зависимости водонасыщения измельченной горной массы от размеров кусков / **В. П. Надутьий, В. И. Елисеев, В. И. Луценко, С. В. Костыря** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. - № 23 (1245). – С. 36-40. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.06.

Please cite this article as:

Nadutyu, V. P., Eliseev, V. I., Lutsenko, V. I., Kostyrya, S. V. Experimental determination of the dependence of the water sediment of the milled mount mass from the sizes of pieces. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2017, **23** (1245), 36-40. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.06.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Надутьий, В. П. Експериментальне визначення залежності водонасичення подрібненої гірської маси від розмірів шматків / **В. П. Надутьий, В. І. Єлісєєв, В. І. Луценко, С. В. Костиря** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. - № 23 (1245). – С. 36-40. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.06.

АНОТАЦІЯ З метою визначення залежностей водонасичення подрібнених гірських порід від часу просочення і маси шматків проведені експериментальні роботи зі зразками базальту, туфу і вугілля. Виконана апроксимаційна обробка результатів експериментів з використанням експоненціальних функцій. Показано, що обраний клас функцій з хорошою точністю описує емпіричні дані. Виявлено, що граничне водонасичення залежить від маси зразків, що вказує на фрактальний характер пористої структури порід. Визначено мінімальні маси зразків, для яких пористу структуру можна вважати однорідною. Отримані залежності дозволяють проводити попередні оцінки водонасичення в залежності від часу просочення і маси зразків.

Ключові слова: просочення, водонасичення, пориста структура, базальт, вугілля, туф.

Поступила (received) 31.05.2017

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСТОТНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

О. Є. РУБАНЕНКО^{1*}, М. П. ЛАБЗУН², М. О. ГРИЩУК¹

¹ кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, УКРАЇНА

² Південно-західна електроенергетична система, Вінниця, УКРАЇНА

*email: rubanenkae@ukr.net

АНОТАЦІЯ Метою статті є дослідження пошкоджуваності силових трансформаторів, методів і засобів визначення їх технічного стану. Представлені результати досліджень пошкоджуваності силових трансформаторів, які показують, що значна частина таких пошкоджень є дефекти магнітопроводу та обмоток, відносно інших вузлів силового трансформатора. У статті звернено увагу на використання FRAnalyzer і на відсутність вітчизняної нормативної документації, що дозволяє аргументовано інтерпретувати результати діагностування таким обладнанням. Стаття дозволяє оцінити ефективність методів та засобів діагностування силового обладнання енергосистем.

Ключові слова: силовий трансформатор; діагностування; пошкоджуваність; частотний аналіз; магнітопровід; обмотки.

DEFINITION DEFECTS OF TRANSFORMER EQUIPMENT USING FREQUENCY DIAGNOSTIC PARAMETERS

A. RUBANENKO¹, M. LABZUN², M. HRYSHCHUK¹

¹ Department of the Electric Stations and Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, UKRAINE

² Diagnostic department insulation and lightning protection, South-Western Electric Energy Supply System, Vinnitsa, UKRAINE

ANNOTATION The purpose of the article is to investigate the damageability of power equipment of electric power systems, methods and means of their diagnostics.

The article presents the results of studies of the damageability of power transformers, which indicate that a considerable part of such damages are defects in magnetic circuits and windings. Also, studies Defects power equipment of power systems in most cases is from 1 to 3 years of operation and one after 25 years. These are such damages as radial and axial deformations of windings, sliding of coils of windings, results of "fire in steel", etc. It is also shown that among the most frequently damaged nodes and parts of a transformer, there are windings and magnets. This indicates that monitoring of the current and the idling power of the transformer, the active insulation resistance of the windings, the short-circuit resistance and other diagnostic parameters stipulated in the regulatory and passport documentation, using diagnostic tools available for enterprises operating transformers. Some defects of these parts and assemblies, especially at an early stage of their development. Determined that the defects associated with defects in the windings and magnetic deterioration best detected by comparing the frequency characteristics. Attention is also drawn to the fact that sometimes effective use of modern diagnostic equipment is limited by the absence of domestic normative documentation that allows to interpret the results of diagnosing transformers with new methods reasonably, to assess the actual technical condition that is necessary for its account during operation, repair planning, replacement and disposal.

Keywords: power transformer; diagnostics; defect; frequency analysis; magnetic core; windings.

Вступ

Важливим завданням для електроенергетики є забезпечення надійної та безаварійної експлуатації обладнання. Аналіз літературних джерел свідчить про те що в наш час мають місце пошкодження силових трансформаторів і не лише в Україні [1], а і в інших країнах світу [2,3].

Одним з напрямків зменшення аварійних ситуацій, викликаних пошкодженнями основного та високовартісного обладнання електроенергетичних систем такого, як, наприклад, трансформаторне устаткування, є врахування результатів оцінювання його технічного стану в умовах експлуатації.

Результати аналізу пошкоджуваності трансформаторного обладнання [1-5] свідчать про необхідність вдосконалення існуючих, розробки та впровадження нових методів та засобів діагностування трансформаторного обладнання (ТО).

Для обґрунтування доцільності розробки та впровадження нових методів та засобів діагностування ТО необхідно провести аналіз статистики відмов, існуючих методів та засобів діагностування силових трансформаторів (СТ).

Мета роботи

Метою роботи є дослідити найбільш поширені дефекти силового обладнання електроенергетичних

систем. Проаналізувати, на яких термінах експлуатації, найбільш часто проявляються дефекти силового обладнання. Визначити кращі методи та засоби діагностування дефектів цього обладнання. Оцінити доцільність розробки та впровадження нових методів та засобів діагностування силового обладнання. Дослідити доцільність та можливість використання приладу FRAnalyzer в Україні.

Аналіз пошкоджуваності трансформаторного обладнання

Силовий трансформатор складається з багатьох вузлів та деталей. Їх відмови в процесі експлуатації, впливають на його роботоздатність, а тому і на надійність та якість функціонування електроенергетичної системи.

Результати досліджень пошкоджень вузлів та деталей СТ свідчать про те, що, як в Україні, так за кордоном (табл. 1), чимало з них припадає на пошкодження обмоток та магнітопроводів.

Це доводить необхідність врахування стану цих елементів трансформатора під час його експлуатації.

Таблиця 1 – Розподіл вузлів трансформатора за їх пошкодженнями

Пошкодження	В Україні	В Німеччині
Бак	7,6 %	3,6 %
РПН	9,5 %	33,9 %
Обмотка	9,7 %	32,1 %
Магнітопровід	5,4 %	7,1 %
Система охолодження	23,1 %	0,9 %
Вводи	15,6 %	11,6 %
Ізоляція	29,1 %	9,8 %

Основні та часті пошкодження силових трансформаторів можна поділити на:

- а) пошкодження ізоляції:
 - погіршення якості оливи;
 - різке зниження рівня оливи;
 - ненормальне підвищення температури оливи і місцеві перегріву;
 - дефекти міжлистової (паперової) ізоляції.
- б) пошкодження вводитів:
 - пробій на корпус;
 - замикання вводитів різних фаз між собою;
 - негерметичність корпусу;
 - неякісне армування;
 - нагрів фарфору;

- нагрів сталюого фланця.
- с) пошкодження обмотки:
 - виткове замикання;
 - обрив обмоток;
 - пробій на корпус;
 - міжфазне коротке замикання;
 - замикання паралельних проводів в витках гвинтовий обмотки в місці транспозиції;
 - обрив одного або декількох паралельних проводів у витку обмотки;
 - радіальна деформація витків.
- д) пошкодження магнітопроводу:
 - місцеве замикання пластин шихтованої сталі, і «пожар в сталі»;
 - місцеве пошкодження ізоляції пластин стали, що викликає замикання пластин стали;
 - підвищена вібрація;
 - обрив заземлення.
- е) пошкодження РПН:
 - оплавлення або вигорання контактних поверхонь;
 - перекриття між фазами або окремими відгалуженнями (дефект подібний міжфазному короткому замикання обмоток).
- ф) пошкодження системи охолодження:
 - механічна деформація радіатора;
 - вихід з ладу циркуляційного насосу;
 - вихід з ладу системи примусового дуття.
- г) пошкодження баку:
 - підтікання баку трансформатора (негерметичність);
 - підтікання оливи в місцях з'єднань;
 - механічне пошкодження.

На сьогодні існує багато методів та засобів діагностування силових трансформаторів, так, наприклад, використовуючи тепловізійний контроль, хроматографічний аналіз розчинених газів в трансформаторній оливі, методи онлайн контролю комплексної провідності та тангенса діелектричних втрат ізоляції та інші – визначають технічний стан СТ.

Проведені дослідження свідчать про старіння парку трансформаторів, що пояснюється відсутністю коштів на заміну трансформаторів, які відпрацювали свій ресурс, знаходяться в експлуатації понад 25 років. Відома крива пошкоджуваності обладнання [6] справедлива і для трансформаторного обладнання.

Тому, не дивлячись на велику кількість існуючих методів та засобів діагностування силового обладнання, потрібно розробляти нові та вдосконалювати відомі методи діагностування, методи аналізу статистичних даних про зміну діагностичних параметрів як в процесі експлуатації, так і під час транспортування, зберігання, ремонту, та введення в експлуатацію.

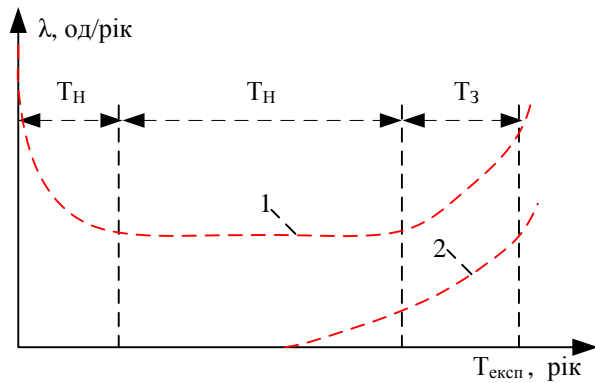


Рис. 1 – Залежність частоти відмов обладнання від часу експлуатації

1 – інтенсивність відмов; 2 – крива старіння;
 T_p – період приробітку; T_n – період нормальної роботи; T_z – період зносу; $T_{експ}$ – паспортний термін експлуатації.

Результати досліджень літературних джерел свідчать про те що найбільш широко мають місце наступні пошкодження основних вузлів СТ: ізоляція 29,1 %, система охолодження 23,1 %, високовольні вводи 15,6 %, обмотки 9,7 %, РПН 9,5 %, бак 7,6 % та магнітопровід 5,4 %. Отже, часто ТО виводиться з експлуатації внаслідок пошкодження обмоток та магнітопроводу, тому під час експлуатації, потрібно враховувати технічний стан та зміну діагностичних параметрів цих вузлів.

Методи діагностування технічного стану обмоток та магнітопроводу

Методи діагностування ґрунтуються на результатах контролю діагностичних параметрів і передбачають визначення технічного стану, причин та місця пошкодження. Для визначення стану порівнюють виміряне значення діагностичного параметра з нормованим значенням цього показника, або з нормованим його відхиленням від результатів попередніх вимірів. Так, наприклад, опір обмоток постійному струму, в процесі експлуатації, не повинний істотно змінюватися. Виміряне значення опору не повинно відрізнитися більш ніж на 2% від даних заводських і попередніх випробувань [7,8].

Вимірювання проводяться на всіх відгалуженнях кожної фази. Значення опору на одних і тих же відгалуженнях різних фаз також не повинні відрізнитися один від іншого, якщо немає особливих застережень у паспорті трансформатора.

Опори обмоток силових трансформаторів малі. Вони вимірюються вимірювальними мостами [7], або методом падіння напруги (його називають також методом вольтметра-амперметра).

Контроль параметрів холостого ходу дозволяє визначити деякі дефекти обмотки і магнітопроводу. На заводі-виробнику, а також, за [7], під час

проведення капітального ремонту, пов'язаного з необхідністю перешихтування осердя, або його верхнього ярма, використовують параметри холостого ходу при номінальній і зниженій напрузі.

Згідно [6] практика випробувань на стійкість, під час КЗ, показала високу ефективність вимірювання напруги короткого замикання ($U_k, \%$) для діагностування стану трансформатора.

При протіканні струмів КЗ, на обмотки трансформатора діють електродинамічні сили. Під їх впливом можуть виникнути деформації обмоток.

Під час таких деформацій, особливо радіальних, змінюється розміщення та відстань витків, між собою, а також відносно магнітопроводу. Як наслідок, відбувається зміна напрямків магнітних потоків розсіювання, що призводить до зміни індуктивного опору короткого замикання (X_k), а отже, Z_k , причому в потужних трансформаторах $Z_k \approx X_k$.

У деяких випадках, під час діагностування механічного стану обмоток успішно поєднують вимірювання Z_k з методом низьковольтних імпульсів. Цей метод чутливий до виникнення дефектів обмоток на ранній стадії їх розвитку.

Однак, аналіз пошкоджуваності СТ свідчить про те, що контролюючи тільки один параметр, важко виявити дефекти, особливо на ранній стадії їх розвитку [8÷10].

Тому потрібно використовувати додаткові діагностичні параметри, наприклад: передатна функція тестового сигналу; залежність залишкового опору тестового сигналу від частоти; відхилення початкового графіку залежності фазного тестового сигналу, від частоти для поточних та передостанніх вимірювань.

Результати діагностування методом частотного аналізу

Статистика пошкоджуваності силового обладнання спонукає підприємства енергетичної галузі використовувати сучасні прилади та діагностичні системи, такі, наприклад, як FRAnalyzer. Однак, ефективне використання таких приладів, як наприклад, FRAnalyzer, часто обмежене відсутністю бази дефектів для вітчизняних трансформаторів та їх зв'язку із значенням діагностичного параметру.

Тому, потрібно проводити дослідження діагностичних частотних параметрів для різних типів вітчизняних трансформаторів. З метою накопичення інформації про частотні характеристики авторами обстежено ряд трансформаторів на такі класи напруг 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ таких типів, як ТДТН, ТМ, ТОМА.

В результаті діагностичного дослідження, за допомогою приладу FRAnalyzer, отримані залежності, одна з яких представлена на рисунку 2. Також в таблиці 2 представлений фрагмент даних протоколу трансформатора вимірювань діагностичних параметрів трансформатора ТМ – 6300/110, перед

виконанням частотного діагностування. Як видно у досліджуваного трансформатора такий діагностичний параметр, як потужність холостого ходу (P_{XX}) під час експлуатації змінилась на 9,8 % (порівняно з

результатами заводський випробовувань), що свідчить про те, що значення цього діагностичного параметра наближається до критичного [6].

Таблиця 2 – Фрагмент протоколу вимірювань і випробувань параметрів трансформатора ТМ – 6300/110

Тип	Рік випуску	Потужність S, кВА	Номінальна напруга ВН/НН	Виміряні втрати ХХ під час діагностування	Паспортна величина втрат ХХ
ТМ – 6300/110	1966	6300	110/35	9,02	10

Тому такий трансформатор потребує подальших поглиблених обстежень з метою обґрунтування умов подальшої експлуатації та обслуговування.



Рис. 2 – Графіки залежності діагностичних частотних параметрів трансформатора ТМ – 6300/110 від частоти (отримані шляхом використання приладу FRAnalyzer)

Як видно, з рисунку 2 в діапазоні частоти від 0,1 кГц до 2 кГц, має місце відхилення графіку залежності передатної функції тестового синусоїдального сигналу від частоти фази А від подібного графіку, але фази С [9,11]. Що і підтверджено подальшими вимірюваннями значень такого діагностичного параметру, як потужність холостого ходу, які показали, що відхилення P_{XX} від паспортного значення для цього трансформатора складає 9,8 %.

Отже, відхилення графіку залежності передатної функції від частоти фази А від подібного графіку, але фази С не менше ніж на 2% (в діапазоні частоти тестового сигналу від 0,1 кГц до 2 кГц) свідчить про дефекти в магнітопроводі [10 - 12].

Висновки

Досліджено пошкоджуваність силового обладнання електроенергетичних систем, які показали, що більшість пошкоджень виявляється з 1-го по 3-тій роки експлуатації та після 25 років. Результати досліджень пошкоджуваності силових трансформаторів, які свідчать про те, що чимала частина таких ушкоджень - це дефекти магнітопроводів і обмоток.

Потрібно вдосконалювати, методи та засоби діагностування новими більш інформативними, які дозволяють виявляти дефекти силового обладнання на ранній стадії їх розвитку, оскільки контроль струму і потужності холостого ходу трансформатора, активного опору ізоляції обмоток, опору короткого замикання та інших, обумовлених в нормативної та в паспортної документації діагностичних параметрів при використанні наявних у підприємств, що експлуатують трансформатори, діагностичних засобів, не завжди дозволяє виявляти деякі дефекти цих деталей і вузлів, особливо на ранній стадії їх розвитку.

Дефекти пов'язані з дефектами обмоток та погіршенням стану магнітопроводу краще виявляються шляхом порівняння частотних характеристик.

Для ефективного використання приладів контролю частотних характеристик бажано розробити вітчизняну нормативну базу, яка б дозволила експлуатаційним організаціям обґрунтовано враховувати погіршення стану обмоток та магнітопроводу під час подальшої експлуатації або виведення з експлуатації.

Список літератури

1. Матусевич, О. О. Удосконалення системи діагностування силових трансформаторів тягових підстанцій електрифікованих залізниць: [препринт] / О. О. Матусевич // Гірничі електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 92. – С. 31-36.

2. **Tenbohlen, S.** Zuverlässigkeitsbewertung von Leistungs transformatoren" (em inglês) / **S. Tenbohlen, F. Vahidi, P. Müller, J. Gebauer, M. Krüger** // *Proc. Stuttgarter Hochspannungs symposium*. – 2012. – P. 61-70.
3. **Tenbohlen, S.** Diagnostic measurements for power transformers / **S. Tenbohlen**, et al. // *Energies*. – 2016. – 9. – №. 5. – P. 347. – doi:10.3390/en9050347.
4. **Coenen, S.** Location of PD sources in power transformers by UHF and acoustic measurements / **S. Coenen, S. Tenbohlen** // *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* – 2012. – 19. – P. 1934–1940. – doi: 10.1109/TDEI.2012.6396950.
5. **Лежнюк, П. Д.** Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН / **П. Д. Лежнюк, О. С. Рубаненко, О. І. Казьмірук** // *Наукові праці ВНТУ*. – 2012. – №4. – 9 с.
6. **Матусевич, О. О.** Удосконалення методології системи технічного обслуговування і ремонту тягових підстанцій: монографія / **О. О. Матусевич**; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. В. Лазаряна. - 2015. - 295. - с. 278-293.
7. Галузевий керівний документ. Норми випробовування електрообладнання: затверджено і введено в дію наказом Міністерства палива та енергетики України № 13 від 15 січня 2007 р. / ДП «ДонОРГРЕС», ВАТ «ЛьвівОРГРЕС»; розробники : Г. Шкуринський, В. Боcharов, В. Сприса – К.: Державний стандарт України, 2007. – 262 с.
8. IEC 60076-7. Power Transformers—Part 7: Loading Guide for Oil Immersed Power Transformers; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland. – 2005.
9. **Wang, S.** Cumulative Deformation Analysis for Transformer Winding Under Short-Circuit Fault Using Magnetic-Structural Coupling Model / **S. Wang** et al. // *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. – 2016. – Т. 26. – №. 7. – С.1-5. – doi: 10.1109/TASC.2016.2584984.
10. **Jalal, M. A.** Using the frequency response analysis (FRA) in transformers internal faults detection / **M. A. Jalal** // *WSEAS transaction on Power systems*. – 2009. – 9. – 4. – P. 297-306.
11. **Reykerdt, A. A.** Case studies of factors influencing frequency response analysis measurements and power transformer diagnostics / **A. A. Reykerdt, V. Davydov** // *IEEE Electr. Insul. Mag.* – 2011. – 27. – P. 22–30. – doi: 10.1109/MEI.2011.5699444.
12. **Zhang, Z. W.** Experimental investigation of localized axial winding displacement in a high frequency range for power transformers / **Z. W. Zhang** et al. // *Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), International Conference on IEEE*. – 2016. – P. 388-391. – doi: 10.1109/CMD.2016.7757841.
1. **Matusevich, A.** Improvement of diagnostics of power transformers traction substations of electrified railways. *Mining electrical engineering and automation, nauk. Tech. Coll. - Dnepropetrovsk*, 2014, **92**, 31-36.
2. **Tenbohlen, S., Vahidi, F., Müller, P., Gebauer, J., Krüger, M.** Zuverlässigkeitsbewertung von Leistungs transformatoren" (em inglês), *Proc. Stuttgarter Hochspannungs symposium*, 2012, 61-70.
3. **Tenbohlen, S.** et al. Diagnostic measurements for power transformers. *Energies*, 2016, **9**, 5, 347, doi: 10.3390 / en9050347.
4. **Coenen, S., Tenbohlen, S.** Location of PD sources in power transformers by UHF and acoustic measurements. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 2012, **19**, 1934-1940, doi: 10.1109 / TDEI.2012.6396950.
5. **Lezhniuk, P. D., Rubanenko, O. Ye., Kazmiruk, O. I.** Optimal control normal modes of EPS based technical condition of transformers from RPN, *Proceedings NTB*, 2012, **4**, 9 p.
6. **Matusevich, A.** Improving the System of maintenance of traction substations: Monograph; Dniepropetrovsk. nat. University of Railway. transp. them. V. Lazaryan, 2015, 295, P. 278-293.
7. Industry guidance document. Norms Electrical test approved and commissioned by the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine № 13 dated January 15, 2007 / SE "DONORGRES", JSC "Lviv ORGRES"; developers G. Shkurinskaya, V. Bocharov, VA Sprysa - K. : State Standard of Ukraine, 2007, 262 p.
8. IEC 60076-7. Power Transformers-Part 7: Loading Guide for Oil Immersed Power Transformers; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2005.
9. **Wang, S.** et al. Cumulative Deformation Analysis for Transformer Winding Under Short-Circuit Fault Using Magnetic-Structural Coupling Model, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2016, **26**, 7, 1-5, doi: 10.1109 / TASC.2016.2584984.
10. **Jalal, M. A.** Using the frequency response analysis (FRA) in transformers internal faults detection, *WSEAS transaction on Power systems*, 2009, **9**, 4, 297-306.
11. **Reykerdt, A., Davydov, V.** Case studies of factors influencing frequency response analysis measurements and power transformer diagnostics, *IEEE Electr. Insul. Mag.* 2011, **27**, 22-30, doi: 10.1109 / MEI.2011.5699444.
12. **Zhang Z. W.** et al. Experimental investigation of localized axial winding displacement in a high frequency range for power transformers, *Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2016 International Conference on IEEE*, 2016, 388-391, doi: 10.1109 / CMD.2016.7757841.

Bibliography (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Рубаненко Олександр Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри електричних станцій та підстанцій, м. Вінниця, Україна; e-mail: rubanenkoae@ukr.net.

Alexander Rubanenko - Candidate of Science (Engineering), Assistant Professor of the Chair of Electric Stations and Systems, Chair of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine; e-mail: rubanenkoae@ukr.net.

Лабзун Михайло Павлович – кандидат технічних наук, Південно-західна електроенергетична система, начальник відділу діагностики, м. Вінниця, Україна; e-mail: labzun.mp@rdcm.sw.energy.gov.ua.

Mikhail Labzun – Candidate of Science (Engineering), Southwest Power System, Head diagnosis of Vinnitsa, e-mail: labzun.mp@rdcm.sw.energy.gov.ua.

Гришук Максим Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, аспірант кафедри електричних станцій та підстанцій, м. Вінниця, Україна; e-mail grishuk.maksim.93@ukr.net.

Maksim Hryshchuk - postgraduate, postgraduate of the Chair of Electric Stations and Systems, Chair of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Рубаненко, О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / **О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Гришук** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.

Please cite this article as:

Rubanenko, A., Labzun, M., Hryshchuk, M. Definition defects of transformer equipment using frequency diagnostic parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 41–46, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Рубаненко, А. Е. Определение дефектов трансформаторного оборудования с использованием частотных диагностических параметров / **А. Е. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. А. Гришук** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07

АННОТАЦИЯ Целью статьи является исследование повреждаемости силовых трансформаторов, методов и средств определения их технического состояния. Представлены результаты исследований повреждаемости силовых трансформаторов, которые показывают, что значительную часть таких повреждений занимают дефекты магнитопровода и обмоток, относительно других узлов силового трансформатора. В статье обращено внимание на использование FRAnalyzer и отсутствия отечественной нормативной документации, которая позволяет аргументированно интерпретировать результаты диагностирования таким оборудованием. Статья позволяет оценить эффективность методов и средств диагностирования силового оборудования энергосистем.

Ключевые слова: силовой трансформатор; диагностирования; повреждаемость; частотный анализ; магнитопровод; обмотки.

Надійшла (received) 30.05.2017

УДК 629.4: 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.08

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

А. Д. ЧЕПУРНОЙ¹, Р. И. ШЕЙЧЕНКО², Р. В. ГРАБОРОВ², Н. А. ТКАЧУК³,
М. А. БОНДАРЕНКО^{3*}, А. В. ГРАБОВСКИЙ³, Е. А. ЛУНЕВ³

¹ ООО «Управляющая Компания РэйлТрансХолдинг», г. Москва, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

² ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, УКРАИНА

³ Кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

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

АННОТАЦИЯ В данной работе проведен статический прочностной расчет кузова и рамы вагона крытого модели 11-9962 силой тяжести брутто 0,922 МН. Расчетная схема вагона учитывает силы, действующие на него в условиях эксплуатации. Рассмотрены режимы нагружения: I, III основные режимы, режим соударения и рывка, ремонтные режимы, режим загрузки вагона, проверка прочности крыши. Из результатов расчета следует, что напряжения во всех элементах кузова и рамы вагона крытого модели 11-9962 при всех расчетных режимах не превышают допустимые. Расчет показал хорошее соответствие с результатами испытания на прочность опытного образца вагона.

Ключевые слова: вагон крытый; статический прочностной расчет; режимы нагружения; допустимые напряжения; метод конечных элементов.

NUMERICAL STUDIES OF FREIGHT RAILCAR

A. CHEPURNOY¹, R. SHEYCHENKO², R. GRABOROV², M. TKACHUK³,
M. BONDARENKO^{3*}, A. GRABOVSKIY³, E. LUNYOV³

³ JSC "Management Company "RailTransHolding", Moscow, RUSSIAN FEDERATION

⁴ JSC "Science Engineering Center MC "RailTransHolding", Mariupol, UKRAINE

⁵ Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In this paper static strength analysis of body and frame of the covered railcar model 11-9962 with the weight of 0.922 MN is carried out. Numerical study of freight railcar is carried out by the finite element method. Calculation model consists of plates and beams linked together at the nodal points simulating the elements of the railcar body. The main objective of the static strength analysis was to evaluate strength and bearing capacity of railcar structure and to evaluate the conformity of freight railcar structure to regulatory requirements. Typical for the static loading mode is a single and continuous application of an external load, gradually increasing from zero to the maximum value. The calculation scheme of railcar takes into account forces acting on it in operating conditions. Load modes considered are: I, III basic modes, collision and jerk mode, repair modes (when jacking up a railcar by jacks), railcar loading mode (on possibility of using electric and autoloader for loading), roof strength test. From the analysis results it follows that stresses in all body elements and frame of the covered railcar model 11-9962, for all design modes, do not exceed the permissible values, and railcar structure conforms to the current regulations. Analysis showed good agreement with the test results for strength of the prototype railcar.

Keywords: covered railcar; static strength analysis; modes of loading; allowed stresses; finite element method.

Введение

В последнее время в мировом вагоностроении наблюдается тенденция активной работы по созданию инновационных грузовых вагонов, отвечающих современным требованиям. Поставленную важную задачу вагоностроительные заводы решают при сотрудничестве проектных и научно-исследовательских организаций.

Дело в том, что большая часть времени, отведенного на разработку проекта инновационного вагона, отводится расчетным работам. При этом особое внимание уделяется вопросам оптимизации. Создаваемая конструкция вагона должна отвечать условиям эксплуатации, включая требования к прочности и надежности, и обладать высокими

техническими характеристиками, обеспечивающими приемлемую стоимость перевозок. В то же время расходы на изготовление и дальнейшую эксплуатацию должны быть не слишком высокими. Это составляет главную цель проектирования.

Проведение расчетов необходимо также для оценки соответствия конструкции грузовых вагонов нормативным требованиям и обеспечения безопасности движения [1–3].

В данной работе проведен статический прочностной расчет кузова и рамы вагона крытого модели 11-9962 силой тяжести брутто 0,922 МН.

Характерным для статического режима нагружения является однократное и длительное приложение внешней нагрузки, постепенно возрастающей от нуля до максимального значения.

Статический прочностной расчет позволяет:

- подробно исследовать характеристики прочности и устойчивость проектируемой конструкции вагона или его конструктивных элементов;
- обосновать правильность и рациональность конструктивных решений еще на стадии проектирования;
- является основой для подготовки статических испытаний вагона. В частности, в ходе статических прочностных испытаний важно правильно выбрать места расположения тензодатчиков на опытном образце. Они должны наклеиваться в местах, где ожидаются наибольшие напряжения, и в местах, где предполагаются излишние затраты металла с целью дальнейшей оптимизации.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1. Материал элементов кузова и рамы вагона и допускаемые напряжения приведены в табл. 2 [4].

Расчетная схема вагона учитывает силы, действующие на него в условиях эксплуатации. Расчетные режимы нагружения регламентируются [5].

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Значение
Длина вагона по осям сцепления автосцепок $2L_c$, м	18,325
Длина вагона по концевым балкам L_k , м	17,165
Длина вагона между упорными плитами автосцепок $2L$, м	16,325
База вагона $2l$, м	12,625
Ширина кузова B_k , м	2,794
Максимальная сила тяжести (вес) вагона брутто (с учетом максимального допуска на тару) $Q_{бр}$, МН, (тс)	0,922 (94)
Сила тяжести (вес) груза $Q_{гр}$, МН, (тс)	0,659(67,2)

Таблица 2 – Механические характеристики используемых материалов

Наименование узлов и элементов, материал	Предел текучести σ_T , МПа	Допускаемые напряжения $[\sigma]$, МПа	
		I расчетный режим	III расчетный режим
Хребтовая балка — сталь марки 09Г2С	345	310,5 (0,9 σ_T)	210
Шкворневая балка — сталь марки 09Г2С	325	292,5 (0,9 σ_T)	195
Передняя балка рамы, элементы поперечных диафрагм рамы — сталь марки 09Г2С	345	327,7 (0,95 σ_T)	220
Элементы верхней обвязки и другие элементы кузова толщиной менее 10 мм — сталь марки 09Г2С-14	345	327,7 (0,95 σ_T)	220
Стойка боковой стены — сталь марки 09Г2С	305	289,8 (0,95 σ_T)	198
Боковые и продольные балки рамы из швеллера — сталь марки 09Г2С	325	308,7 (0,95 σ_T)	205
Нижние средние и верхние листы обшивки боковых стен, листы обшивки торцевой стены — сталь марки 09Г2С	345	327,7 (0,95 σ_T)	220
Настил пола толщиной 9 мм — сталь марки 09Г2С	345	327,7 (0,95 σ_T)	220
Обшивка крыши толщиной 1,5 мм – сталь марки 09Г2С	305	289,8 (0,95 σ_T)	198
Дуги крыши – сталь марки 09Г2Д	325	308,7 (0,95 σ_T)	205

I расчетный режим. При I расчетном режиме предусматривается следующее сочетание расчетных нагрузок:

1. Вертикальная статическая нагрузка от веса кузова с грузом $P_{в.с.}=0,659$ МН.

2. Продольные квазистатические силы растяжения $N_p=2,0$ МН, прикладывается к передним упорам, или сжатия $N_{сж}=2,5$ МН, прикладывается к задним упорам.

3. Нагрузка, вызванная разностью высот осей автосцепок 0,1 м, P_l , МН. Сцепление вагонов с разностью высот осей автосцепок приводит к взаимодействию их в поезде не только в продольном, но и в вертикальном направлении. Дополнительная вертикальная нагрузка, обусловленная эксплуатационным эксцентриситетом, вызывает изгиб консольной части рамы.

Расчетная схема для определения величины дополнительной вертикальной нагрузки от

эксплуатационного эксцентриситета при растяжении приведена на рис. 1, а при сжатии – на рис. 2.

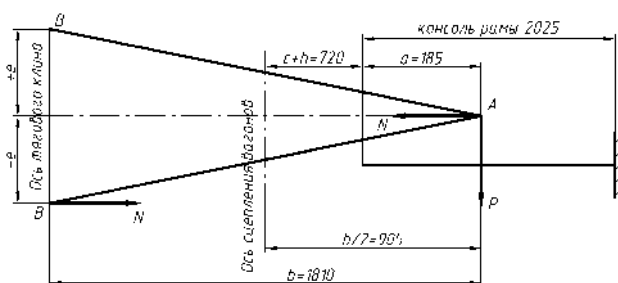


Рис.1 — Схема нагружения консоли рамы при нецентральной взаимодействии автосцепок двух вагонов при растяжении

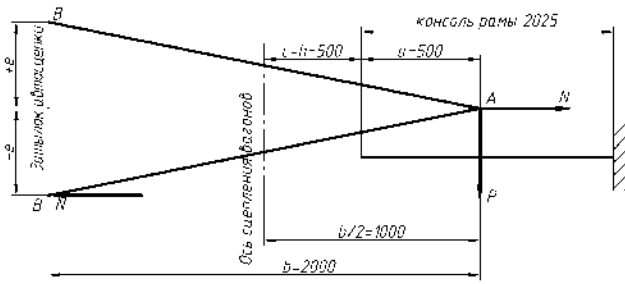


Рис. 2 — Схема нагружения консоли рамы при нецентральной взаимоделиствии автосцепок двух вагонов при сжатии

Дополнительная вертикальная нагрузка P , МН, вычисляется по формуле:

$$P = \frac{N \cdot e}{b}, \quad (1)$$

где b — длина жесткого стержня, образованного двумя сцепленными автосцепками по условным шарнирам в точках опоры А и В, м. Для типовых 4-х осных грузовых вагонов с автосцепкой типа СА-3 принимается $b = 2,0$ м — при сжатии и $b = 1,81$ м — при растяжении; e — разность уровней автосцепок сцепленных вагонов, м; $e = 0,1$ м.

Подставив значения в формулу (1), получим:

– дополнительная вертикальная нагрузка P_p^I ,

МН, при растяжении в I расчетном режиме:

$$P_p^I = 2,0 \cdot \frac{0,1}{1,81} = 0,11 \text{ МН};$$

– дополнительная вертикальная нагрузка

P_c^I , МН, при сжатии в I расчетном режиме:

$$P_c^I = 2,5 \cdot \frac{0,1}{2,0} = 0,125 \text{ МН}.$$

Расстояние a , м точки приложения P^I от плоскости лобового бруса вычисляется по формуле:

$$a = \frac{b}{2} - c \pm h, \quad (2)$$

где c — конструктивный вылет автосцепки за плоскость концевой бруса, $c = 0,61$ м; h — полный ход поглощающего аппарата (знак «+» при сжатии, знак «-» при растяжении), для наиболее распространенного аппарата ПМКП-110, $h = 0,11$ м.

4. Горизонтальные составляющие продольных сил в кривых участках пути.

При растяжении-сжатии вагона продольными силами на кривых участках пути рама вагона находится под действием поперечных составляющих этих сил, вследствие отклонения автосцепки от продольной оси хребтовой балки. Поперечные силы

приложены в тех же точках, что и дополнительная вертикальная нагрузка, соответственно при растяжении и сжатии.

Схема нагружения консоли рамы, при действии горизонтальных составляющих продольных сил в кривых участках пути при растяжении приведена на рис. 3, а при сжатии — на рис. 4.

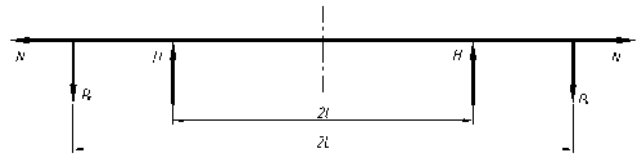


Рис. 3 — Схема нагружения консоли рамы при действии горизонтальных составляющих продольных сил в кривых участках пути при растяжении

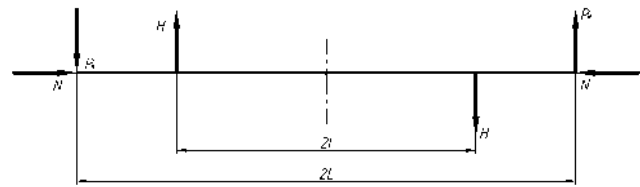


Рис. 4 — Схема нагружения консоли рамы при действии горизонтальных составляющих продольных сил в кривых участках пути при сжатии

Боковые силы взаимодействия между вагонами на кривых участках пути при движении поезда и маневровой работе P_N , МН, вычисляется по следующим формулам:

– для случая действия растягивающих сил (рис. 3):

$$P_{Np}^I = H = N \cdot \frac{L_c}{R}, \quad (3)$$

где H — горизонтальные поперечные силы, действующие на пятники, МН; R — радиус кривой, м; $R = 250$ м;

– для случая действия сжимающих сил (рис. 4):

$$P_{Nc}^I = \frac{1}{L} \cdot H = N \cdot \left[\frac{\delta \cdot L}{I^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_c}{R} \right] \cdot \frac{l}{L}, \quad (4)$$

где δ — возможное боковое перемещение шкворневого сечения кузова вагона за счет зазоров колесной пары в рельсовой колее, буксах, пятниках и упругих деформаций рессор, м; принимается при расчетах грузовых вагонов $\delta = 0,04$ м; a — длина корпуса автосцепки, м; $a = 1$ м.

В соответствии с табл. 1 принимаем $l = 6,3125$ м, $L_c = 9,1625$ м, $L = 8,1625$ м.

Подставив значения в формулы (3) и (4), получим:

— при сжатии $P_{Nc} = 0,216$ МН;

— при растяжении $P_{Np} = 0,073$ МН.

5. Распорная нагрузка. Так как вагон предназначен для перевозки в том числе и насыпных грузов, то на боковые и торцевые стены вагона действует распорная нагрузка. При загрузке без шапки и без учета сил трения груза о стенки кузова давление распора, P_a , МПа, вычисляется по формуле:

$$P_a = (1 + K_{\text{дв}}) \cdot \gamma \cdot n \cdot y \cdot \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5)$$

где $K_{\text{дв}}$ — коэффициент вертикальной динамики, принимается при расчете по I режиму $K_{\text{дв}} = 0,1$; γ — насыпная плотность груза принимается как частное от деления грузоподъемности вагона на объем кузова при загрузке до верхней обвязки, $\gamma = 67,2/135,2 = 0,497$ т/м³; y — расстояние от поверхности груза до точки, в которой определяется давление; φ — угол естественного откоса груза, образуемый поверхностью свободно насыпанного груза с горизонтальной плоскостью, принимаем равным $\varphi = 0,73$ рад, что соответствует углу естественного откоса сухого торфа.

Подставив значения в формулу (5), получим $P_a = 3,022 \cdot 10^{-3}$ МПа.

III основной расчетный режим соответствует движению поезда с наибольшей допустимой скоростью 33,3 м/с и предусматривает сочетание следующих нагрузок:

1. Вертикальная статическая нагрузка от веса кузова с грузом $P_{\text{в.с.}} = 0,659$ МН.

2. Вертикальная динамическая нагрузка $P_{\text{в.д.}}$, МН. Вертикальная динамическая нагрузка вычисляется умножением вертикальной статической нагрузки на коэффициент вертикальной динамики. Согласно [5] коэффициент вертикальной динамики вагона вычисляется по формуле:

$$K_{\text{дв}} = \frac{\bar{K}_{\text{дв}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(K_{\text{дв}})}}, \quad (6)$$

где $\bar{K}_{\text{дв}}$ — среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики; β — параметр распределения, для грузовых вагонов; $\beta = 1,13$; $P(K_{\text{дв}})$ — расчетная односторонняя вероятность; при расчетах на прочность по допускаемым напряжениям принимается $P(K_{\text{дв}}) = 0,97$.

Среднее вероятное значение $\bar{K}_{\text{дв}}$ вычисляется по формуле:

$$\bar{K}_{\text{дв}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \frac{V - 15}{f} \quad (7)$$

где a — коэффициент для элементов кузова; $a = 0,05$; b — коэффициент, учитывающий влияние числа осей n в тележке;

$$b = \frac{n + 2}{2n}, \quad (8)$$

где V — скорость движения, м/с; $V = 33$ м/с; f — статический прогиб рессорного комплекта под нагрузкой брутто, м.

Статический прогиб рессорного комплекта под нагрузкой брутто вычисляется по формуле:

$$f = \left(\frac{Q_{\text{оп}}}{2} - q \right) \cdot \lambda, \quad (9)$$

где q — сила тяжести необрессоренных частей тележки, т; $q = 4,11$ тс; λ — гибкость рессорного комплекта тележки, м/т; $\lambda = 0,00113$ м/тс.

Подставив значения в формулы (6)–(9), получим $b = 1$, $f = 0,0485$, $\bar{K}_{\text{дв}} = 0,186$, $K_{\text{дв}} = 0,348$, $P_{\text{в.д}} = 0,229$ МН.

Для шкворневых (опорных) узлов рамы и шкворневых стоек (в местах заделки в раму) боковых стенок кузова значение расчетного коэффициента вертикальной динамики вычисляется с учетом влияния перевалки кузова по формуле:

$$K_{\text{дв}}^p = K_{\text{дв}} \cdot (1 + \gamma); \quad (10)$$

где γ — коэффициент, который рекомендуется принимать $\gamma = 0,2$;

$$K_{\text{дв}}^p = 0,418.$$

3. Продольная сила растяжения или сжатия N , МН; $N = 1,0$ МН.

4. Нагрузка вызванная разностью высот осей автосцепок до 0,005 м P_p^{III} , МН, при растяжении и $P_{\text{сж}}^{\text{III}}$, МН, при сжатии, а также боковая сила N_{σ}^{III} , МН, равная разности центробежной силы и горизонтальной составляющей силы тяжести. Подставив значения в формулу (1), получим дополнительные вертикальные нагрузки от эксплуатационного эксцентриситета для III расчетного режима:

1) при растяжении $P_p^{\text{III}} = 0,0276$ МН;

2) при сжатии $P_{\text{сж}}^{\text{III}} = 0,025$ МН.

5. Величина боковой силы принимается равной 7,5 % веса груза $N_{\sigma}^{\text{III}} = 0,049$ МН.

6. Активное (статическое) давление распора насыпного груза на единицу площади боковых и торцевых стен кузова. При расчете по III режиму, угол естественного откоса принимается равным 0,2 значения по I режиму. Коэффициент вертикальной динамики $K_{\text{дв}} = 0,348$ и $K_{\text{дв}} = 0,418$ для шкворневых узлов рамы и шкворневых стоек в местах заделки в

раму. Подставив значения в формулу (5), получим $P_a = 5,70 \cdot 10^{-5}$ МПа.

Расчетные режимы соударения и рывка. В расчетном режиме соударения рассматриваются продольные силы удара, 3,5 МН, на прямом участке пути с учетом вертикальной нагрузки возникающей при разности высот осей автосцепок взаимодействующих вагонов равной 0,1 м (от эксплуатационного эксцентриситета).

Сила от эксплуатационного эксцентриситета вычисляется по формуле (1) и равна $P_y = 0,175$ МН.

Торцевые стены кузова рассчитываются на равномерно распределенную по всей их площади динамическую нагрузку N_{nd} , МН, равную 0,35 продольной силы инерции груза N_u , МН.

Продольная сила инерции груза вычисляются по формуле:

$$N_u = N_x \frac{Q_{cp}}{Q_{бр}}; \quad (11)$$

где Q_{cp} — сила тяжести груза, тс; $Q_{бр}$ — сила тяжести брутто вагона, тс.

Откуда получаем $N_u = 2,502$ МН.

Величина продольной динамической нагрузки на торцевую стену равна $N_{no} = 0,876$ МН.

В расчетном режиме рывка рассматриваются продольные силы рывка, 2,5 МН, на прямом участке пути с учетом вертикальной нагрузки, возникающей при разности высот осей автосцепок взаимодействующих вагонов равной 0,1 м (от эксплуатационного эксцентриситета).

Сила от эксплуатационного эксцентриситета P_y , МН, вычисляется по формуле (1) и равна $P_p^I = 0,14$ МН.

Торцевые стены кузова рассчитываются на равномерно распределенную по всей их площади динамическую нагрузку N_{nd} , МН, равную 0,35 продольной силы инерции груза N_u , МН.

Продольная сила инерции груза вычисляются по формуле (10). $N_u = 1,79$ МН.

Величина продольной динамической нагрузки на торцевую стену равна $N_{no} = 0,626$ МН.

Ремонтные режимы. При подъеме груженого вагона двумя домкратами, подведенными под края одной шкворневой балки в зоне установки пяты домкратной на расстоянии 480 мм от середины шкворневой балки, на раму действует вертикальная статическая нагрузка от веса кузова с грузом. При этом опирание вагона происходит на головки двух домкратов и подпятник тележки другой шкворневой балки.

При подъеме вагона одним домкратом до отрыва обоих пятников от подпятников тележек, вес перераспределяется на трех опорных точках — двух боковых скользунах и головке домкрата.

При подъеме порожнего вагона двумя домкратами по диагонали, вес кузова перераспределяется на двух опорных точках — головках домкратов. Допускаемые напряжения принимаются как по I расчетному режиму.

Режим загрузки вагона. Этот расчетный режим учитывает возможность использования для загрузки вагона электропогрузчиков и автопогрузчиков.

Пол вагона рассчитывается на две отстоящие друг от друга на 1,0 м силы, по 0,03 МН каждая, сосредоточенные на площадках 0,15 x 0,15 м. Напряженное состояние пола вагона, при этом расчетном режиме, показано на рис. 15. Зона максимальных напряжений располагается в местах приложения сосредоточенных сил, где они достигают 314 МПа. Допускаемые напряжения равны 327,7 МПа (как для I расчетного режима).

Проверка прочности крыши. При данном расчетном режиме элементы жесткости крыши вагона должны дополнительно к основным расчетным режимам рассчитываться на действие двух сил по 1,0 кН каждая, распределенных на площадке 0,25x0,25 м и приложенных на расстоянии 0,5 м друг от друга в любой части крыши. Допускаемые напряжения равны 289,8 МПа (как для I расчетного режима).

Описание расчетной модели. Для проведения расчета конструкции методом конечных элементов, создается ее расчетная модель (рис. 5), состоящая из пластин и стержней, связанных между собой в узловых точках, имитирующих элементы кузова вагона [6–8].

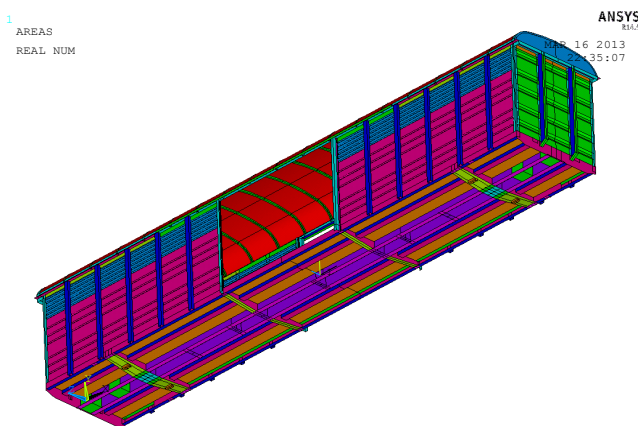


Рис. 5 — Расчетная модель

Анализ результатов исследований. Зоны максимальных напряжений в узлах полувагона приведены в табл. 3

Оценка соответствия конструкции вагона требованиям [5] по I и III режимам, режиму соударения и ремонтным режимам производилась путем сравнения расчетных эквивалентных напряжений, приведенных в табл. 3, с допускаемыми величинами, приведенными в табл. 2.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) кузова вагона для всех рассмотренных расчетных режимов представлено на рисунках 6 – 16.

Таблица 3 — Максимальные напряжения в элементах конструкции вагона

Наименование элементов		I расчетный режим			III расчетный режим			Удар 3,5 МН	Рывок 2,5МН	Подъем одним домкратом	Подъем двумя домкратами	Подъем двумя домкратами по диагонали
		растяжение 2,0 МН	сжатие 2,5МН	Допускаемые напряжения	растяжение 1,0МН	сжатие 1,0МН	допускаемые напряжения					
Рама	Балка хребтовая	111	290	310,5	56	131	210	319	248	58	58	11
	Балка шкворневая	46	238	292,5	90	124	195	246	232	268	92	43
	Балка передняя	121	32	327,7	79	11	220	332	312	9	6	3
	Балка боковая	66	120	308,7	54	84	205	234	243	160	165	134
	Балка продольная	79	131	308,7	75	129	205	152	143	103	89	13
	Балка поперечная	106	76	327,7	121	108	220	136	124	127	111	21
Пол	Настил	99	95	327,7	99	88	220	138	142	97	64	38
Крыша	Обшивка	30	26	289,8	44	35	198	188	201	151	34	39
	Дуга	32	35	308,7	21	29	205	201	178	120	41	43
Стена торцевая	Обшивка	97	15	327,7	54	15	220	337	324	15	5	5
	Балка вертикальная	108	14	327,7	45	9	220	332	312	5	4	2
	Стойка угловая	33	13	289,8	20	10	198	298	278	34	9	12
	Обвязка верхняя	15	10	327,7	13	3	220	323	294	34	9	12
Стена боковая	Обшивка	93	73	327,7	100	81	220	188	166	160	68	42
	Стойки промежуточные	48	39	289,8	55	51	198	108	97	79	51	17
	Обвязка верхняя	23	35	327,7	19	36	220	213	205	135	35	30
	Стойки дверного проема	112	79	289,8	117	104	198	296	245	312	100	87

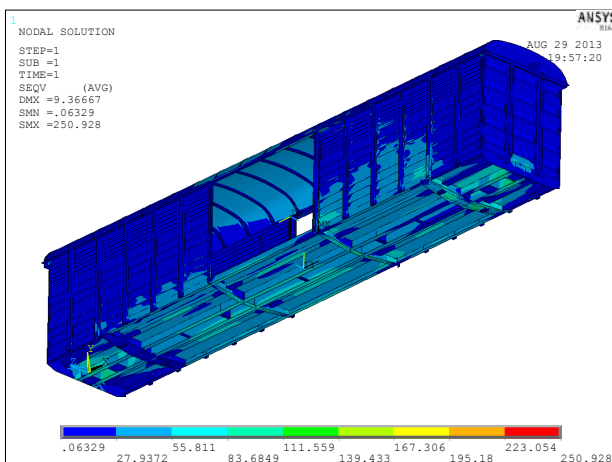


Рис. 6 — НДС вагона при I расчетном режиме (растяжение)

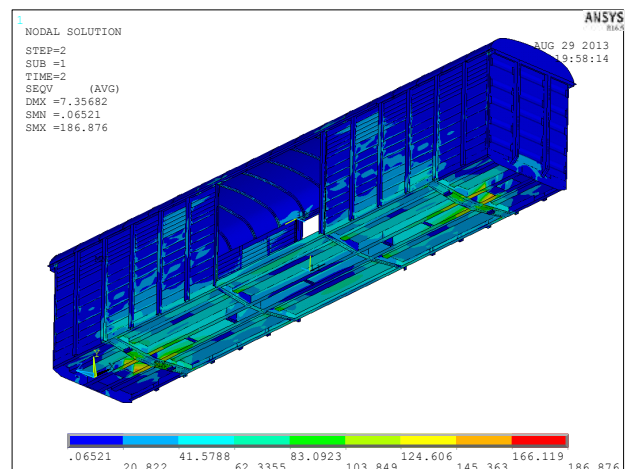


Рис. 7 — НДС вагона при I расчетный режим (сжатие)

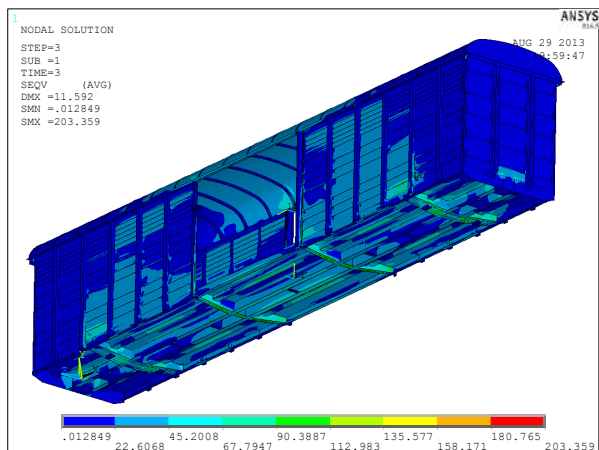


Рис. 8 — НДС вагона при III расчетном режиме (растяжение)

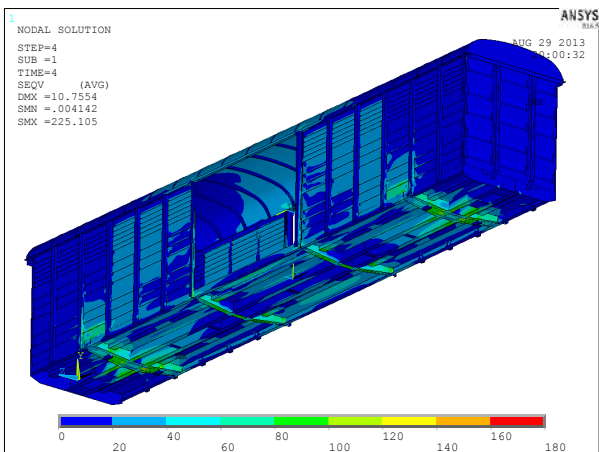


Рис. 9 — НДС вагона при III расчетном режиме (сжатие)

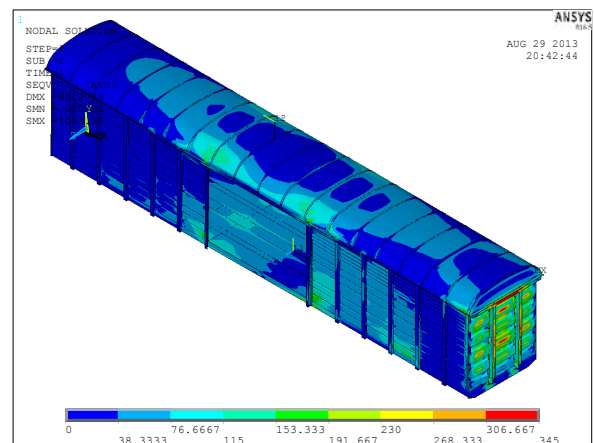


Рис. 10 — НДС вагона при ударе 3,5 МН

Выводы

Из результатов расчета следует, что напряжения во всех элементах кузова и рамы вагона крытого модели 11-9962 при всех расчетных режимах не превышают допускаемые [5].

Расчетные значения оцениваемых характеристик напряженно-деформированного состояния были сверены с результатами испытания на прочность опытного образца вагона [9] и показали хорошее соответствие. Отличие составило 5–15%.

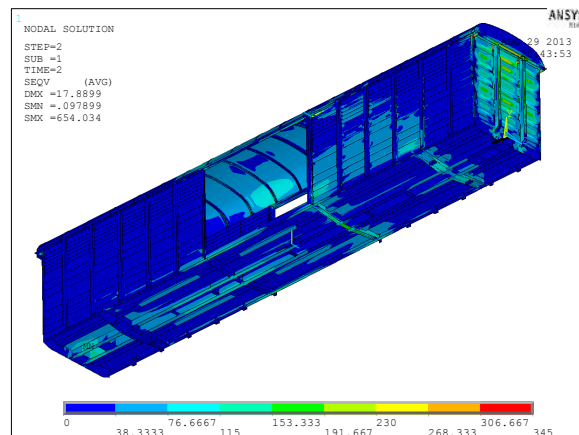


Рис. 11 — НДС вагона при рывке 2,5 МН

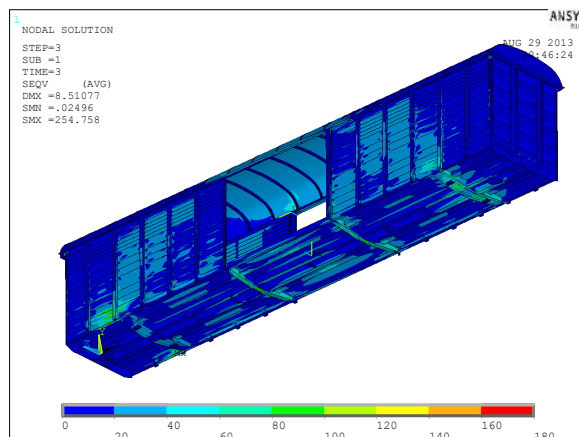


Рис. 12 — НДС вагона при подъеме двумя домкратами (ремонтный режим)

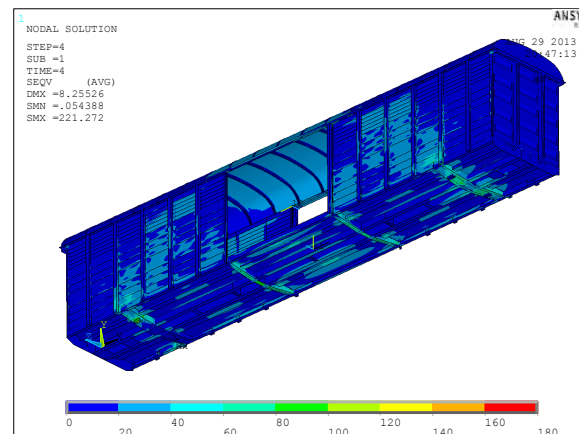


Рис. 13 — НДС вагона при подъеме одним домкратом (ремонтный режим)

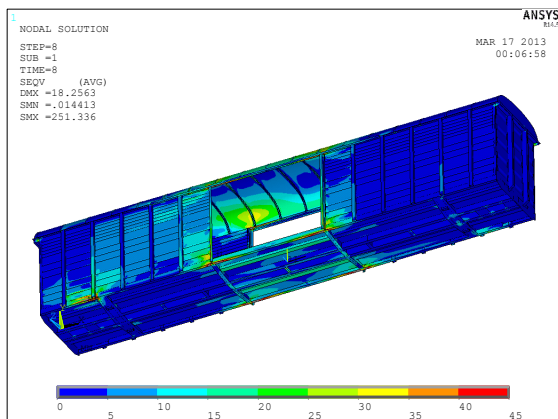


Рис. 14 — НДС вагона при подъеме по диагонали (ремонтный режим)

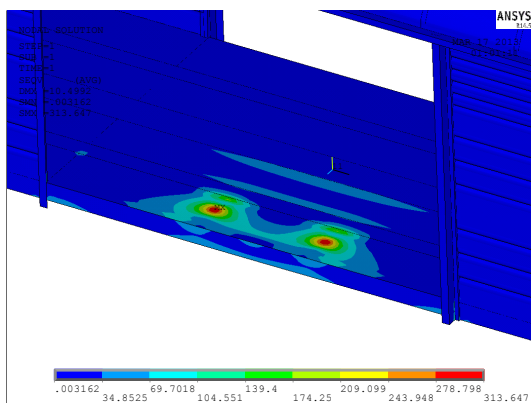


Рис. 15 — НДС пола вагона при работе погрузочной техники

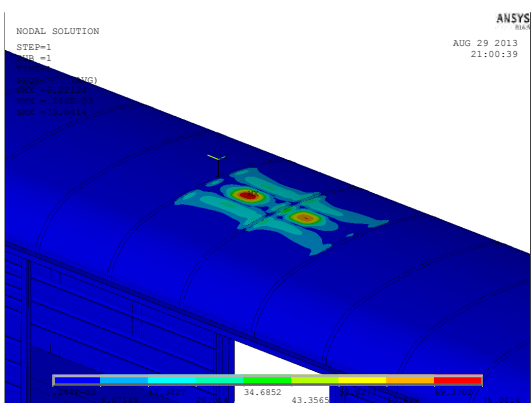


Рис. 16 — НДС крыши вагона при действии двух сил по 1,0 кН

Список литературы

1. **Carolan, M.** Crippling Test of a Budd M-1 Passenger Railcar: Test and Analysis Results / **M. Carolan, B. Perlman, D. Tyrell, J. Gordon** // *Proceedings of the 2014 Joint Rail Conference*, JRC2014-3824, 2014. – 11 p. – doi:10.1115/JRC2014-3824.

2. **Baykasoglu, C.** Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models / **C. Baykasoglu** // *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, Türkiye, 2012. – P. 579–586.
3. **Liana, P.** Finite Element Analysis and Full-Scale Testing of Locomotive Crashworthy Components / **P. Liana, R. Stringfellow, R. Mayville** // *American Society of Mechanical Engineers*, Paper No. JRC2013-2546, 2013. – 51 p. – doi:10.1115/JRC2013-2546.
4. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия: ГОСТ 19281—89. Введ. 01-01-91. – М.: Стандартинформ. – 2009. – 15 с.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996.
6. **Strang, G.** An Analysis of the Finite Element Method / **G. Strang, G. J. Fix** – New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973. – 351 p. – doi: 10.1137/1017062.
7. **Zienkiewicz, O. C.** The Finite Element Method. Vol. 1: Basic Formulation and Linear Problems / **O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor** – London: Mc Graw-Hill, 1989. – 648 p. – doi: 10.1002/bate.200201090.
8. **Flaherty, J. E.** Finite Element Analysis / **J. E. Flaherty** – New York: Spring, 2000. – 323 p.
9. **Чепурной, А. Д.** Экспериментальные исследования грузового вагона / **А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко, А. Н. Баранов, Р. И. Шейченко, М. А. Бондаренко** // *Вісник НТУ «ХП»*. Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х.: НТУ «ХП». – 2014. – №22 (1065). – С. 44-61.

Bibliography (transliterated)

1. **Carolan, M., Perlman, B., Tyrell, D., Gordon, J.** Crippling Test of a Budd M-1 Passenger Railcar: Test and Analysis Results. *Proceedings of the 2014 Joint Rail Conference*, JRC2014-3824, 2014, 11 p., doi:10.1115/JRC2014-3824.
2. **Baykasoglu, C.** Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *International Iron & Steel Symposium*, 2012, Karabük, Türkiye, 579-586.
3. **Liana, P., Stringfellow, R., Mayville, R.** Finite Element Analysis and Full-Scale Testing of Locomotive Crashworthy Components. *American Society of Mechanical Engineers*, Paper No. JRC2013-2546, 2013, 51 p., doi:10.1115/JRC2013-2546.
4. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия [Rolled steel of increased strength. General specifications]: GOST 19281—89. Vved. 01-01-91. М.: Standartinform, 2009, 15 p.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [The rules for the calculation and design of wagons MPS 1520 mm gauge railways (non-self)], Moscow: VNIIZhT-GosNIIV, 1996, 319 p.
6. **Strang, G., Strang, G.** An Analysis of the Finite Element Method. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1973, 351 p., doi: 10.1137/1017062.
7. **Zienkiewicz, O. S., Taylor, R. L.** *The Finite Element Method*. Vol. 1: Basic Formulation and Linear Problems. London: Mc Graw-Hill, 1989, 648 p., doi: 10.1002/bate.200201090.
8. **Flaherty, J. E.** Finite Element Analysis. New York: Spring, 2000, 323 p.

- 9 **Chepurnoy, A. D., Litvinenko A. V., Baranov, A. N., Sheychenko, R. I., Bondarenko, M. A.** Eksperimentalnyie issledovaniya gruzovogo vagona [Freight railcar experimental studies] *Visnik NTU «KhPI». Zb. nauk. prats.*

Seriya: Transportne mashinobuduvannya. [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute. Series: Transport engineering]. – Kharkov: NTU «KhPI», 2014, 22(1065), 44–61.

Сведения об авторах (About authors)

Чепурной Анатолий Данилович – доктор технических наук, проф., директор по научно-техническому развитию «УК «РэйлТрансХолдинг», г. Москва, Российская Федерация.

Anatoly Chepurnoy – Doctor of Technical Sciences, prof., Director of Scientific and Technological Development "MC "RailTransHolding", Moscow, Russian Federation.

Шейченко Роман Игоревич – главный конструктор проекта вагонов-цистерн ООО «Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», г. Мариуполь, Украина.

Roman Sheychenko – chief designer of the tank-car project at the JSC "Science Engineering Center MC" RailTransHolding", Mariupol, Ukraine.

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

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

Ткачук Николай Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Mykola Tkachuk – doctor of technical sciences, professor, National Technical University "Kharkiv polytechnic institute", head at the department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; Kharkiv, Ukraine; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

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

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

Грабовский Андрей Владимирович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Andrey Grabovskiy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department; Kharkiv, Ukraine; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Лунев Евгений Александрович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», соискатель кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; г. Харьков, Украина.

Eugene Lunyov – National technical university "Kharkiv polytechnic institute", applicant at the department of theory and computer aided design of mechanisms and machines"; Kharkiv, Ukraine.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Чепурной, А. Д. Численные исследования грузового вагона / **А. Д. Чепурной, Р. И. Шейченко, Р. В. Граборов, Н. А. Ткачук, М. А. Бондаренко, А. В. Грабовский, Е. А. Лунев** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 47-55. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.08.

Please cite this article as:

Chepurnoy, A., Sheychenko, R., Graborov, R., Tkachuk, M., Bondarenko, M., Grabovskiy, A., Lunyov, E. Numerical study of freight railcar. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 23 (1245), 47–55, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.08.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чепурний, А. Д. Числові дослідження вантажного вагону / **А. Д. Чепурний, Р. І. Шейченко, Р. В. Граборов, М. А. Ткачук, М. О. Бондаренко, А. В. Грабовський, Є. О. Лунов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 47-55. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.08.

АНОТАЦІЯ У даній роботі проведено статичний розрахунок на міцність кузова і рами вагона критого моделі 11-9962 вагою брутто 0,922 МН. Розрахункова схема вагона враховує сили, що діють на нього в умовах експлуатації. Розглянуто режими навантаження: I, III основні режими, режим зіткнення і ривка, ремонтні режими, режим завантаження вагона, перевірка міцності даху. З результатів розрахунку видно, що напруження в усіх елементах кузова і рами вагона критого моделі 11-9962 при всіх розрахункових режимах не перевищують напруження, що допускаються. Розрахунок показав хорошу відповідність з результатами випробування на міцність дослідного зразка вагона.

Ключові слова: вагон критий; статичний розрахунок на міцність; режими навантаження; напруження, що допускаються; метод скінченних елементів.

Поступила (received) 30.05.2017

УДК 004.93

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.09

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА

М. И. ШАПОВАЛОВА*, А. А. ВОДКА

Кафедра динамики и прочности машин, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА
*email: mishapovalova@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрены некоторые существующие методы распознавания образов, в том числе и распознавание микроструктуры материала. Отмечены положительные моменты и указаны недостатки предложенных методов. Определены пути решения задачи распознавания сложной зернистой структуры металла. При выявлении качественных и количественных характеристик материала по его изображению, основная задача заключается в определении границы зерна, так как вся интересующая нас информация скрыта не в яркости различных областей, а в их контуре. Для этого необходимо применить к снимку соответствующие фильтры, и при необходимости бороться с зашумленностью фотографии. Современные технологии и развитие искусственного интеллекта, позволяет создавать автоматизированную компьютерную систему принятия решения, работающую с применением математических методов обработки данных. Предпочтение отдается нейросетевым технологиям, созданию нейронной сети прямого распространения, качественно обученную с использованием метода обратного распространения ошибки. В реальных условиях, при плохо формализуемых входных данных, приветствуется использование теории нечетких множеств. Создание алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений — позволяет снизить влияние человеческого фактора в ходе анализа, сокращает время, затраченное на исследование, повышает точность и достоверность процесса контроля, дает возможность связывать свойства материала с его микроструктурой.

Ключевые слова: микроструктура; нейронная сеть; нечеткая логика; зернистая структура; компьютерное моделирование.

METHODS OF RECOGNITION OF THE MICROSTRUCTURE OF MATERIAL

M. SHAPOVALOVA*, A. VODKA

Dynamics and Strength of Machine Department, National Technical University «KhPI», Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article considers some existing methods of pattern recognition, including recognition of a microstructure of material are considered. The positive moments are marked and shortcomings of the offered methods are specified. Solutions of the task of recognition of complex granular structure of metal are defined. In case of detection of qualitative and quantitative characteristics of material according to its image, the main objective consists in determination of grain boundary as all information interesting us is hidden not in brightness of different areas, and in their circuit. For this purpose it is necessary to use the appropriate filters to a picture, and if necessary to clear noise on a photo. It's more preferable to use Sobel's method for lowering of effect of smoothing due to giving of bigger weight to coefficient. The modern technologies and development of an artificial intelligence, allows creating the automated computer system of decision-making working using mathematical methods of data handling. Preference is given to neural network technologies, creation of a neural network of direct distribution, qualitatively trained neural network using an algorithm for back propagation of the error. High accuracy, speed and resource economy of such systems, makes them more and more in demand for complex analysis of microstructure.. In actual practice, in case of badly formalizable input data, use of the theory of indistinct sets is welcomed. Creation of algorithms of intellectual support of decision-making — allows to reduce influence of a human factor during the analysis, reduces time spent for a research, increases the accuracy and reliability of process of monitoring, gives the chance to connect properties of material to its microstructure.

Keywords: microstructure; neural network; fuzzy logic; grain structure; computer simulation.

Введение

Значительная часть всех элементов периодической системы Менделеева составляют металлы. Они обладают физическими, химическими, механическими и технологическими свойствами. На эти характеристики влияют различные особенности строения (дефекты), которые в зависимости от размеров можно разделить на три основных масштабных уровня: макро- уровень (десятки мкм); мезо- уровень (сотни-тысячи нм); атомный, или микро- уровень (единицы-десятки нм). На макроуровне находятся особенности, различимые не вооруженным глазом (трещины, нарушение сплошности, неоднородности). Выявление таких

участков позволяет определить места для дальнейшего более углубленного анализа. Мезо уровню характерны: *вакансии* — пустующие узлы кристалла (без атома), оказывающие влияние на физические и электрические свойства материала. Краевые и винтовые *дислокации* — нарушение кристаллической решетки твердотельного элемента. Чаще всего они являются местом концентрации примесных атомов, повышают диффузию и участвуют в фазовых превращениях вещества. *Поверхностные* дефекты, проявляющиеся на границах зерен, влияют на механические и физические свойства материалов (предел текучести, вязкости, хрупкое разрушение). К *объемным* дефектам относятся пустоты, микротрещины и

каверны, снижающие физические, прочностные и другие свойства металлов. Изучая материал на микроуровне, интерес представляет *зерно* металла — наименьший объем кристалла, охваченный высокоугловыми границами. Производят подсчет размеров (бала) зёрен, дисперсии (разброса) этих размеров, степени анизотропии зёрен (отклонение от круглой формы), плотности распределения и ориентации зёрен в пространстве.

Управление дефектами, изменение их концентрации и взаимодействия имеет большое практическое значение. Применяется при упрочнении материалов, термической обработки, изменении электропроводности и др.

В сравнении с другими материалами, металлы обладают высокой прочностью в сочетании с хорошей пластичностью; высокий уровень обрабатываемости является причиной использования металла во многих областях техники. При выборе материала для современных устройств необходимо учитывать условия эксплуатации и назначение конечного продукта (какие нагрузки будут действовать, температура, влажность и т.д.). Необходимо обеспечивать требуемые параметры исходя из функционального назначения деталей, вплоть до климатических изменений и места размещения изделий, обеспечивая стабильность свойств материала во времени. Для повышения надежности и качества создаются новые материалы: полимерные, порошковые и композиционные. Применение новых технологий и дальнейшей обработки дает возможность создания функциональных материалов с заданным комплексом эксплуатационных характеристик.

При исследовании материала с более сложной структурой возникает необходимость повышения контроля качества выпускаемого продукта, а в дальнейшем, при необходимости, проведение прочностных или усталостных анализов. Исследования проводятся с помощью металлографического анализа [1-3] шлифов продукции, что позволяет одновременно контролировать целый ряд физико-механических свойств. Однако анализ сложных зернистых структур требует участие квалифицированных экспертов области материаловедения и физики твердого тела. Следовательно, создание автоматизированных интеллектуальных систем принятия решения, работающих с применением математических методов обработки данных, просто необходимо. Это позволит снизить влияние человеческого фактора в ходе анализа, сократить время, затраченное на исследование, повысить точность и достоверность процесса контроля, дает возможность связывать свойства материала с его микроструктурой.

Цель работы

На данном этапе, основная цель работы заключается в анализе существующих методов изучения микроструктуры различных материалов, поиск перспективных техник исследования, определение достоинств и недостатков предложенных решений.

Исследование особенностей микроструктуры

Как известно, металлы и их сплавы поликристаллические тела, состоящие из мелких, неправильной формы кристаллов — зерен. Механические свойства вещества зависят от их размеров и присутствующих дефектов кристаллического строения (вакансии, дислокации, микротрещины). Изучение микроструктуры материала с помощью световой микроскопии началось еще в XIX веке [2]. Основной принцип данного исследования заключается в изучении специально подготовленного образца (шлифованного, полированного и при необходимости протравленного), съемка различных его участков при разном увеличении, и сравнение полученных снимков с эталонными фотографиями. На этом этапе, правильная подготовка образца крайне значима, ведь любые недочеты окажут значительную погрешность при дальнейшем исследовании.

На сегодняшний день, благодаря развитию технологий, металлографический анализ и методы неразрушающего контроля используется во многих заводских лабораториях при изучении форм, размеров и дефектов зернистой структуры металла, позволяя прогнозировать дальнейшее поведение продукции в условиях эксплуатации. Установлена зависимость между размером зерна и прочностью металлов и сплавов, чем мельче зерно, тем прочнее материал [1]. Это связано с взаимодействием дислокаций между собой и высокоугловыми границами зерен. Повышение качества, уменьшение затрат на всех этапах производства и использование материала удовлетворяющего заданным требованиям — современный вектор развития промышленности передовых стран.

Существует ряд программных средств направленных на распознавания микроструктур металлов, автоматизирующие металлографический анализ, разработанные такими фирмами как: «SIAMS» [4], «Видео-Тест» [5], «IMAGE-SP» и др.

К примеру, дорогостоящие системы разработанные фирмой «SIAMS» осуществляют количественный анализ стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов. Однако отсутствие встроенной функции классификации зернистой структуры обязывает пользователя вводить эти данные самостоятельно.

Остаются не решенными вопросы переобучения системы для диагностики новых марок

металлов, рассмотренные методы осуществляют лишь количественный анализ микроструктуры, не решая задачи комплексной диагностики по всем характеристикам (свойств, структуре, составу сплавов).

Встречаются подходы [6], использующие при анализе заданного шлифа, такие программные пакеты как Photoshop и Corel Draw, ограничивая тем самым применение автоматизированных систем. Разработанные программные решения анализа микроструктуры материала [7], исследуют лишь численные характеристики структуры. Следует отметить работы В. А. Емельянова, С. И. Шарыбина [8-9], применившие искусственный интеллект при определении свойств материала. Дальнейшим улучшением методов классификации микроструктур и создание программных комплексов посвящены работы А. А. Чубова [10], М. В. Филинова [11] и др. Однако существующие подходы требуют наличие квалифицированных материаловедов для конечной оценки свойств материала, поэтому проблема создания алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решения остается актуальной.

Главной задачей, интересующей нас при исследовании микроструктуры материала, является интерпретация, полученных в ходе оптической микроскопии, изображений зернистой структуры на шлифе исследуемого материала. Имеющиеся фотографии часто искажаются разного рода шумами и затемнениями. Следовательно, первым этапом является преобразование изображений к виду, годному для автоматической обработки. В [12] предложен метод приведения фотографии в цветное пространство градаций серого. Для этого применяется выравнивание гистограммы распределения цветов, а в качестве уменьшителя зашумленности предложен подход, основанный на локальном среднем значении. Знание контекстной информации повышает достоверность принятия решений. При изучении структуры материала такой информацией выступает *текстура* — описываемый некоторыми признаками участок изображения с одинаковыми статистическими характеристиками [13].

Текстура присуща всем объектам окружающего мира и является важным элементом зрительного восприятия. Для ее идентификации рекомендуют использовать метод случайных Марковских полей [14]. Основным преимуществом такой модели является гибкость и легкость модификации распознающей системы благодаря независимости друг от друга случайных Марковских полей разметки и текстуры. Метод позволяет классифицировать текстуры разного масштаба расположенные под различными углами.

Следующим шагом является сравнения структур полученного изображения с известными системе структурами. Часто, использование классических методов распознавания образов не достаточно, и для повышения точности результатов

предложено применить гибридный подход [13], при котором дополнительно используется детерминированный метод SAD (сумма абсолютных разностей) сравнения изображений.

НС в задачах распознавания микроструктуры

Нейросетевой метод определения характеристик материала, исходя из его микроструктуры, подразумевает два основных этапа. Во-первых, определяются входные данные (полученные предварительной обработкой изображений микроструктуры), для нахождения количественных характеристик металла. В статье [16] автором предложено исходное полутоновое изображение подвергать бинаризации и скелетизации с использованием фильтра Превитта, так как необходимая информация скрыта не в яркости отдельных областей, а в их контуре (границах).

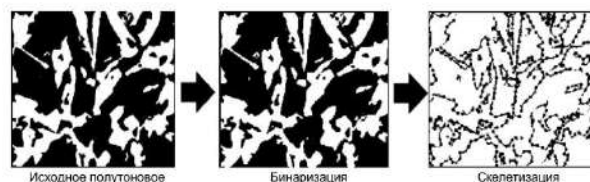
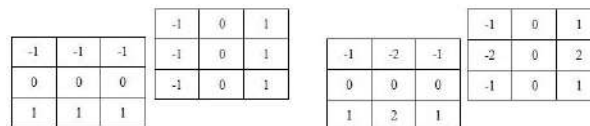


Рис. 1 — Результат предварительной обработки изображения микроструктуры металла [16]

Суть фильтрации заключается в применении маски (некой квадратной матрицы) к соответствующим пикселям исходного изображения. Определив градиент и его направление в точке, получаем направление контура, как перпендикулярное градиенту. Одни из самых известных и часто используемых методов выделения контуров изображения являются методы Превитта и Собеля [23].



а) маска оператора Превитта, б) маска оператора Собеля [23]

Эти приемы оперируют областью изображения 3 на 3, отличаясь лишь весовым коэффициентом для средних элементов маски. Увеличенное значение коэффициентов применяется для снижения эффекта сглаживания за счет придания большего веса средним точкам. На рисунке 2 приведены маски оператора Превитта и Собеля соответственно.

Во-вторых, в скрытом слое нейронной сети происходит сравнение входных данных и обучающего множества (в случае металлографического анализа — определения характеристик металла, согласно действующим ГОСТам).

Решая задачи распознавания, приходится работать в реальных условиях, с плохо формализуемыми объектами (когда нет четко определенного алгоритма работы), а так же усложнить задачу могут их свойства, изменяющиеся в реальном времени. Условия неопределенности или неполной информации эффективно разрешаются теорией нечетких множеств. Оперируя понятиями, характерными для человека (качественными), вместе с тем она дает им количественную оценку присущую вычислительным машинам.

Основатель теории нечетких множеств Лофти Заде, в статье [17] акцентирует внимание на факте появления систем, способных решать задачи распознавания образов, речи, рукописных символов и т.д., с помощью компьютерных систем, что ранее считалось невозможным.

Стоит отметить, что набор входных данных на этапе классификации образов немало важен, ведь избыточные или недостаточные данные оказывают большое влияние на качество распознавания. Игнорируя малозначимую информацию необходимо выделять наиболее значимые характеристики [18] во входных параметрах. Таким образом, математические средства представления исходной нечеткой информации позволяют наиболее адекватно описать неопределенности, присущие окружающему нас миру.

Дальнейшее распознавание подготовленного изображения предлагается проводить с использованием нейронной сети, обладающей свойством обучаемости. Основным критерием качества такого метода является значение ошибки распознавания. Чем он ниже, тем качественней и точнее работает сеть. В [16] приведена нейронная сеть для распознавания металлографических изображений с MLP структурой (многослойный персептрон), чаще всего применяемая при моделировании сложных функций. Обучение такой сети проводилось с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Полученные результаты дали высокий уровень валидности, точность распознавания изображения составила порядка 97,8%.

Выводы

В ходе работы был проведен анализ литературы посвященной вопросам материаловедения и изучения микроструктуры различных материалов. Определены перспективные техники исследования металлов по данным металлографического анализа, отмечены достоинства и указаны недостатки существующих решений.

К перспективным методам относятся:

- применение маски фильтра Собеля к исходной фотографии микрошлифа металла, с целью выявления границ зерен и преобразования изображения к виду пригодному для автоматической обработки;

- использование случайных Марковских полей при изучении текстуры материала повышает достоверность принятия решений. Такой метод позволяет классифицировать текстуры разного масштаба расположенные под различными углами;

- проводить распознавание подготовленного изображения нейросетевыми методами, создавая многослойную нейронную сеть, обученную с использованием алгоритма обратного распространения ошибки;

- в случае плохо формализуемых входных данных для нейронной сети рекомендуется использовать теорию нечетких множеств.

Рассмотренные методики играют важную роль в исследовании микроструктуры материала, однако остаются не до конца реализованными алгоритмы переобучения системы для диагностики новых марок металлов; часто для оценки полученных результатов необходимо участие высококвалифицированного материаловеда. Следовательно, создание автоматизированной интеллектуальной системы поддержки принятия решения остается актуальной.

Список литературы

1. **Bramfitt, B. L.** Metallography's Guide – Practices and Procedures for Iron and Steels. — USA: ASM International, 2002. — 354 p.
2. **Богомолова, Н. А.** Практическая металлография. — М: Высшая школа, 1987. — 240 с.
3. **Шульте, Ю. А.** Комплексный контроль качества конструкционной стали. — Киев: Техника, 1986. — 128 с.
4. URL: <http://www.videotest.ru/en/article/view/48/category/1> 1. – 14.03.2017.
5. URL: <http://www.siams.com/products/siams700>.–14.03.2017
6. **Костылева, Л. В.** Определение объемной доли дендритных ветвей с использованием компьютерных программ / **Л. В. Костылева, Е. А. Санталова, В. А. Ильинский** // *Заводская лаборатория*. — 2003. — Вып. 11. — С. 33-36.
7. **Мартюшев, Н. В.** Программные средства для автоматического металлографического анализа / **Н. В. Мартюшев** // *Современные проблемы науки и образования*. — 2012. — Вып. 5. — С. 1-6.
8. **Шарыбин, С. И.** Автоматизация процесса контроля качества продукции при создании функциональных материалов / **С. И. Шарыбин, В. Ю. Столбов** // *Материалы 11-й Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами»*. — Арзамас: Изд-во НГТУ, 2014. — Т. 3. — С. 886-898.
9. **Шарыбин, С. И.** Об одном подходе к решению задачи анализа и классификации сложных микроструктур на шлифах металлов и сплавов / **С. И. Шарыбин, В. Ю. Столбов** // *Прикладная математика и вопросы управления*. — 2015. — №1. — С. 89 -99.
10. **Чубов, А. А.** Автоматизация металлографического анализа и контроля сплавов с использованием методов

- цифровой обработки оптических изображений микроструктур: Автореф. дис. канд. техн. наук 05.13.06 / **А. А. Чубов**; Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П. А. Соловьева. — 2007. — 16 с.
11. **Филинов, М. В.** Повышение точности количественных оценок поверхностных дефектов и структур металлов по их цифровым изображениям в оптическом неразрушающем контроле: Автореф. дис. доктора техн. наук 05.11.13 / **М. В. Филинов**; «НИИ Интроскопии МНПО «СПЕКТР». — М., 2007. — 58 с.
 12. **Frank, J. S.** Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques / **J. S. Frank** // *Wiley- IEEE Press*, 2010. — 537 p.
 13. **Шарыбин, С. И.** Сравнение методов распознавания образов в задачах поиска характерных зерновых микроструктур на фотографиях шлифов металлов и сплавов / **С. И. Шарыбин, А. В. Ключев, В. Ю. Столбов** // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*, 2012. — № 9. — С. 49-53.
 14. **Пластинин, А. И.** Модель марковского случайного поля в задачах синтеза и анализа текстурных изображений / **А. И. Пластинин** // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 2015. — № 12. — С. 213.
 15. **Прэтт, У.** Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / **У. Прэтт** // М: Мир, 1982. — 480 с.
 16. **Емельянов, В. А.** Нейросетевой метод определения количественных характеристик металлов / **В. А. Емельянов** // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. — 2010. — № 4(45). — С. 169-173.
 17. **Zadeh, L. A.** Foreword - recognition technology and fuzzy logic / **L. A. Zadeh** // *J. IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2001. — Vol. 9, №1. — P. 3-4. — doi: 10.1109/TFUZZ.2001.917109.
 18. **Полторак, В. П.** Система распознавания образов на базе нечетко нейронного классификатора / **В. П. Полторак, Я. Ю. Дорогой** // *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. — 2007. — № 1. — С. 66-74.
 19. **Погребняк, С. В.** Разработка компьютерной системы для обработки результатов эксперимента с помощью искусственной нейронной сети / **С. В. Погребняк, О. О. Водка** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2016. — № 42 (1214). — С. 145-153. — doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.24.
 20. **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.
 21. URL: <https://habrahabr.ru/post/134998/>. — 30.03.2017.
 22. URL: <https://habrahabr.ru/company/ods/blog/322534/>. — 5.04.2017.
 23. URL: <https://habrahabr.ru/post/114452/>. — 12.05.2017.
 3. **Shulte, Yu. A.** Kompleksnii kontrol kachestva konstrukcionnoi stali. Kiev: Tehnika, 1986, 128 p.
 4. URL: <http://www.videotest.ru/en/article/view/48/category/11>. — 14.03.2017.
 5. URL: <http://www.siams.com/products/siams700>. — 14.03.2017
 6. **Kostileva, L. V., Santalova, E. A., Ilinskii, V. A.** Opredelenie obemnoi doli dendritnih vetvei s ispolzovaniem kompyuternih programm. *Zavodskaya laboratoriya*, 2003, **11**, 33-36.
 7. **Martyushev, N. V.** Programmnie sredstva dlya avtomaticheskogo metallograficheskogo analiza. Sovremennnie problemi nauki i obrazovaniya, 2012, **5**, 1-6.
 8. **Sharibin, S. I., Stolbov, V. Yu.** Avtomatizaciya processa kontrolya kachestva produkcii pri sozdaniі funkcionálnih materialov. *Materiali 11-i Vserossiiskoi shkoli konferencii molodih uchenih «Upravlenie bolshimi sistemami»*. Arzamas, NGTU, 2014, **3**, 886-898.
 9. **Sharibin, S. I., Stolbov, V. Yu.** Ob odnom podhode k resheniyu zadachi analiza i klassifikacii slojnih mikrostruktur na shlifah metallov i splavov. *Prikladnaya matematika i voprosi upravleniya*, 2015, **1**, 89-99.
 10. **Chubov, A. A.** Avtomatizaciya metallograficheskogo analiza i kontrolya splavov s ispolzovaniem metodov cifrovoi obrabotki opticheskikh izobrazhenii mikrostruktur. Avtoref. dis. kand. tehn. nauk 05.13.06. Gosudarstvennaya aviacionnaya tehnologicheskaya akademiya imeni P. A. Soloveva, 2007, 16.
 11. **Filinov, M. V.** Povishenie tochnosti kolichestvennih ocenok poverhnostnih defektov i struktur metallov po ih cifrovim izobrazheniyam v opticheskom nerazrushayuschem kontrole. Avtoref. dis. doktora tehn. nauk 05.11.13. «NII Introskopii MNPO «СПЕКТР». Moscow, 2007, 58.
 12. **Frank, J. S.** Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques. *Wiley- IEEE Press*, 2010, 537 p.
 13. **Sharibin, S. I., Klyuev, A.V., Stolbov, V. Yu.** Sravnenie metodov raspoznavaniya obrazcov v zadachah poiska haraktarnih zernovih micristruktur na photographiyah shlifov metallov i splavov, *Izv. Vishih uchebnihih zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 2012, **9**, 49-53.
 14. **Plastinin, A. I.** Model markovskogo sluchainogo polya v zadachah sinteza i analiza teksturnih izobrazhenii. *Visnik Pridniprovskoi derjavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi*, 2015, **12**, 213.
 15. **Prett, U.** Cifrovaya obrabotka izobrazhenii. Moscow: Mir, 1982, 480 p.
 16. **Emelyanov, V. A.** Neyrosetevoy quantitative method for determining the characteristics of metal. *Radio electronic and computer systems*, 2010, **4** (45), 169-173.
 17. **Zadeh, L. A.** Foreword - recognition technology and fuzzy logic. *J. IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2001, **9**(1), 3-4, doi: 10.1109/TFUZZ.2001.917109.
 18. **Poltorak, V. P., Dorogoi, Ya. Yu.** Sistema raspoznavaniya obrazov na baze nechetko neironnogo. *Avtomatika. Avtomatizaciya. Elektrotehnicheskie kompleksi i sistemi*, 2007, **1**, 66-74.
 19. **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.
 20. **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.

Bibliography (transliterated)

1. **Bramfitt, B. L.** Metallography's Guide – Practices and Procedures for Iron and Steels. USA: ASM International, 2002, 354 p.
2. **Bogomolova, N. A.** Prakticheskaya metallografiya. Moscow: Visshaya shkola, 1987, 240 p.

21. URL: <https://habrahabr.ru/post/134998/>. – 30.03.2017.
22. URL: <https://habrahabr.ru/company/ods/blog/322534/>. – 5.04.2017.

23. URL: <https://habrahabr.ru/post/114452/>. – 12.05.2017.

Сведения об авторах (About authors)

Шаповалова Мария Игоревна – студент кафедры динамики и прочности машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; e-mail: MiShapovalova@gmail.com.

Mariya Shapovalova – student of National Technical University "KhPI", student Dynamics and Strength of Machines Department, Kharkov, Ukraine e-mail: MiShapovalova@gmail.com.

Водка Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры динамики и прочности машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; e-mail: oleksii.vodka@gmail.com.

Aleksii Vodka – Ph. D., National Technical University "KhPI", Docent of Dynamics and Strength of Machines Department, Kharkov, Ukraine; e-mail: oleksii.vodka@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Шаповалова, М. И. Методы распознавания микроструктуры материала / **М. И. Шаповалова, А. А. Водка** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 56-61. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.09.

Please cite this article as:

Shapovalova, M., Vodka, A. Methods for recognizing the microstructure of a material. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 56–61, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.09.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шаповалова, М. І. Методи розпізнавання микроструктури матеріалу / **М. І. Шаповалова, О. О. Водка** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 56-61. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.09.

АНОТАЦІЯ Розглянуто деякі існуючі методи розпізнавання образів, в тому числі і розпізнавання микроструктури матеріалу. Відзначено позитивні моменти і вказані недоліки запропонованих методів. Визначено шляхи вирішення задачі розпізнавання складної зерен структури металу. При виявленні якісних і кількісних характеристик матеріалу по його зображенню, основне завдання полягає у визначенні кордону зерна, так як вся цікавить нас прихована не в яскравості різних областей, а в їх контурі. Для цього необхідно застосувати до знімка відповідні фільтри. Сучасні технології та розвиток штучного інтелекту, дозволяє створювати автоматизовану комп'ютерну систему прийняття рішення, що працює із застосуванням математичних методів обробки даних. Перевага віддається нейромержевим технологіям, створення нейронної мережі прямого поширення, якісно навчену з використанням методу зворотного поширення помилки. У реальних умовах, при погано формалізуються вхідних даних, вітається використання теорії нечітких множин. Створення алгоритмів інтелектуальної підтримки прийняття рішень - дозволяє знизити вплив людського фактора в ході аналізу, скорочує час, витрачений на дослідження, підвищує точність і достовірність процесу контролю, дає можливість пов'язувати властивості матеріалу з його микроструктурою.

Ключові слова: микроструктура; нейронна мережа; нечітка логіка; зеренна структура; комп'ютерне моделювання.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 629.4.027

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.10

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

В. О. ШОВКУН

кафедра вагонів, УкрДУЗТ, Харків, УКРАЇНА
email: vadim_shovkun@mail.ru

АНОТАЦІЯ Розглянуто результати моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла використовуючи комплекс «УМ Универсальный механизм». Розроблена в «УМ» імітаційна модель «вагон-залізнична колія» включає в себе кузов напіввагону з можливістю імітувати різну ступінь завантаженості. Отримані реалізації для коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки в діапазоні швидкостей руху від 4+0 до 120 км/год як на прямих, так і в кривих дільницях колії. Доведено, що результати моделювання підпорядковуються нормальному закону розподілення. Визначені основні параметри, що характеризують ці процеси в залежності від швидкості та режиму руху

Ключові слова: буксовий вузол; підшипник; піввагон; колісна пара; навантаження; динаміка.

DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL OF FREIGHT CAR WITH THE AIM OF OBTAINING ESTIMATES OF DYNAMIC PARAMETERS

V. SHOVKUN

Department of cars, UkrSURT, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Considered to improve the reliability of axle equipment is complex and requires an integrated approach for their solution. It is therefore necessary to explore ways of improving existing and creating new designs axle unit. These challenges require an integrated approach which one of the steps is determining the probabilistic loads acting on the elements of the chassis of freight cars. To model the dynamic process of loading axle unit used a series of "UM Universal mechanism", developed in Bryansk state technical University. Developed in "UM" simulation model "car-railway track" includes a body napavine with the capability to simulate varying degrees of workload, trucks of model 18-100 with the ability to change their characteristics, and the model of the elastic way that allows you to change the profile and the macro-geometry of the path. The obtained simulation results obey normal distribution. The main parameters characterizing these processes depending on speed and driving mode. Further using the obtained data, calculated correlation functions of random processes that characterize the combined effect of change of coefficients of horizontal and vertical dynamics of wagon Built correlation functions allows to evaluate the reliability of the axle unit. Modeling of dynamic loads acting on the running parts of freight cars showed sufficient convergence with the results of sea trials of 87%.

Keywords: axle box; bearing assemblies; a pair of wheels; load; dynamics.

Вступ

Залізничний транспорт є головною транспортною артерією України. Він виконує переважну більшість вантажних та пасажирських перевезень в Україні, так і за у міждержавному сполучення.

Безпека перевезень є пріоритетним напрямком діяльності залізниць країн СНД. Її забезпечення залежить від злагодженої роботи всіх структурних підрозділів, але одним з найважливіших чинників є надійна робота вагонів. Відмови елементів конструкції вагонів не лише викликають затримку доставки вантажів споживачам через відчеплення вагонів на шляху прямування, але й призводять до суттєвих додаткових втрат на відновлення працездатності.

Однією з найвідповідальніших елементів конструкції вантажного вагону є буксові вузли з роликівими підшипниками. Як свідчить багаторічний досвід експлуатації парку вантажних вагонів, саме буксові вузли за період 2005-2016 рр. спричинили

2339 випадки відчеплень вагонів на шляху прямування через надмірний нагрів. При цьому щорічно додатково приладами дистанційного контролю колісних пар та оглядачами вагонів по зовнішнім ознакам виявляються до 1000 випадків відмов буксових вузлів, які створювали загрозу безпеці руху.

Основним конструктивним елементом буксового вузла є підшипники. На залізницях країн СНД вже понад 50 років використовуються циліндричні роликіві підшипники. Розрахунки довговічності виконувались за методиками, запропонованим ще у першій половині ХХ сторіччя. Фактична довговічність циліндричних роликівих підшипників виявилась значно менше розрахункової.

Забезпечення довговічності підшипника, що працює в умовах динамічного радіального і осевого навантаження є досить складним завданням. При розрахунку на міцність і надійність елементів конструкції БВ використовуються спрощені схеми, які не враховують ряд діючих чинників. Так, еквівалентне навантаження на підшипники

складається зі статичного та динамічного навантажень. Величина та характер прикладання статичного навантаження вивчені досить повно. Величина динамічного навантаження визначається як додаток до статичного навантаження за допомогою певного пересічного емпіричного коефіцієнту (коефіцієнту вертикальної та горизонтальної динаміки), що враховує нерівності шляху, та динамічні якості візків ходових частин вагону.

Огляд літератури

Дослідженням з питань підвищення надійності буксових вузлів вагонів присвячено значна кількість робіт [1-4]. З нашої точки зору, принциповою помилкою в розглянутих роботах присвячених підвищенню точності методів розрахунку надійності буксових вузлів вагонів є відсутність аналізу впливу на підшипник осьових сил. Тобто, автори припускаються, що осьові сили взагалі не існують. Але це ствердження не відповідає дійсності. Про це свідчать результати експлуатаційних випробувань буксових вузлів конструкції В. М. Чебаненко [5-7], де підтверджена наявність осьових сил, що завантажують буксові вузли. Про це ж свідчать результати досліджень [8-10]. Те ж саме підтверджують результати динамічних випробувань удосконалених буксових вузлів підвищеної надійності, проведених УкрДАЗТ та ДП УкрНДІВ.

Недосконалість існуючих методів розрахунку призвела до значних похибок при визначенні показників надійності буксових підшипникових вузлів і розбіжності з фактичними результатами експлуатації. Тому оцінку надійності буксових підшипникових вузлів слід виконувати з урахуванням сумісної дії осьових та вертикальних навантажень.

Мета роботи

Вочевидь, що питання підвищення надійності буксових вузлів є складним і вимагає комплексного підходу для свого розв'язання. Тому необхідно досліджувати різні напрямки удосконалення існуючих та створення нових конструкцій буксового вузла. Однією з задач для підвищення показників надійності є визначення імовірнісних навантажень, що діють на елементи ходових частин вантажних вагонів.

Виклад основного матеріалу

Для моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла вантажного вагону під час руху з різними швидкостями використовувався комплекс «УМ Универсальный механизм», розроблений Брянським державним технічним університетом. Розроблена за допомогою «УМ» імітаційна модель «вагон-залізнична колія» включає в себе кузов напіввагону з можливістю імітувати різну ступінь завантаженості, візки моделі 18-100 з

можливістю змінювати їх характеристики, а також модель пружної колії, що дозволяє змінювати профіль та макрогеометрію колії.

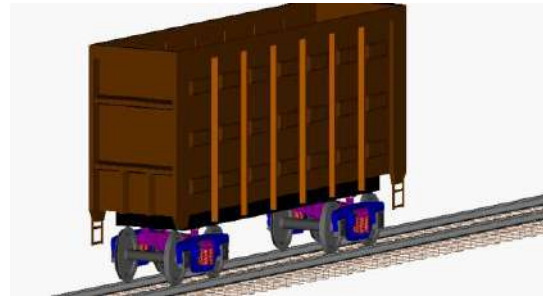


Рис. 1 – Модель «вагон-залізнична колія»

Побудова моделі виконувалась шляхом об'єднання у модель підмодулів, які несуть в собі складові частини моделі: кузов, візки, колісні пари, та пружну колію. Всі елементи моделі пов'язані спеціальними зв'язками та системою координат. Моделювання здійснювалось з використанням "s"-подібного відрізка колії та стрілочним переводом.

Для імітування макрогеометрії та нерівностей колії використовувався файл з бібліотеки програмного комплексу.

При цьому модель дозволяє отримати:

- коефіцієнти динамічних складових вертикальних сил, що діють на буксовий підшипниковий вузол;
- коефіцієнти динамічних складових вертикальних сил, що діють на надресорну балку візка;
- горизонтальні (поперечні рамні) сили, які діють від колісної пари на бічні рами візка;

Деякі з отриманих реалізацій, які характеризують зміну коефіцієнту вертикальної та горизонтальної динаміки для набігаючої колісної пари у завантаженому режимі при швидкості руху 100 км/год зображено на рис. 2,3.

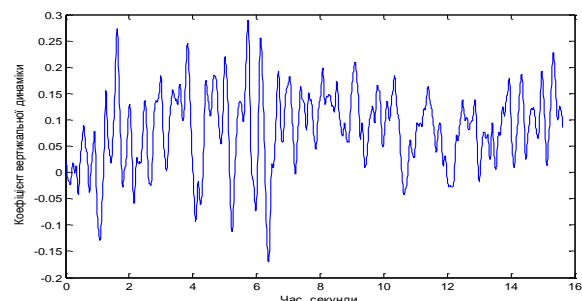


Рис. 2 – Осцилограма зміни коефіцієнту вертикальної динаміки при швидкості 100 км/год на прямій ділянці колії

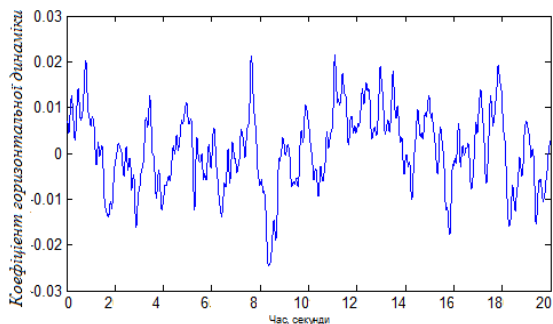


Рис. 3 – Осцилограма зміни коефіцієнту горизонтальної динаміки при швидкості 100 км/год на прямій ділянці колії

Аналогічні реалізації були отримані для коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки в діапазоні швидкостей руху від 40 до 120 км/год як в прямих, так і в кривих ділянках колії. Очевидно, що вони являють собою випадковий процес, отримані результати в межах норм [11].

На наступному етапі роботи проводилась математична обробка отриманих даних методами математичної статистики. При цьому визначались наступні параметри: величина математичного очікування, дисперсія, а також мінімальні та максимальні значення зусиль. Результати досліджень свідчать, що випадкові процеси, які характеризують зміну коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки, розподілені по нормальному закону. Перевірка на відповідність нормальному закону здійснювалась за показниками Калмагорова-Смирнова. Отримані показники відхилення від нормального розподілення $p = 0,816$, що є достатнім щоб вважати розподілення Гаусівським.

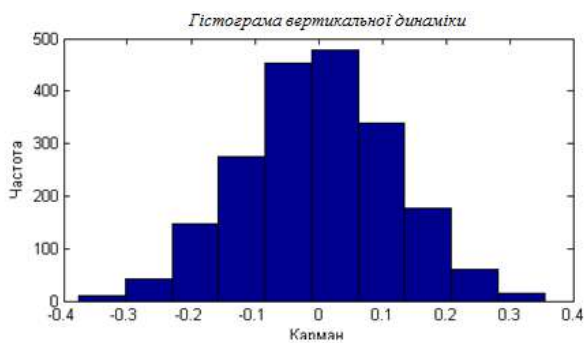


Рис. 4 – Гістограма зміни вертикальної динаміки

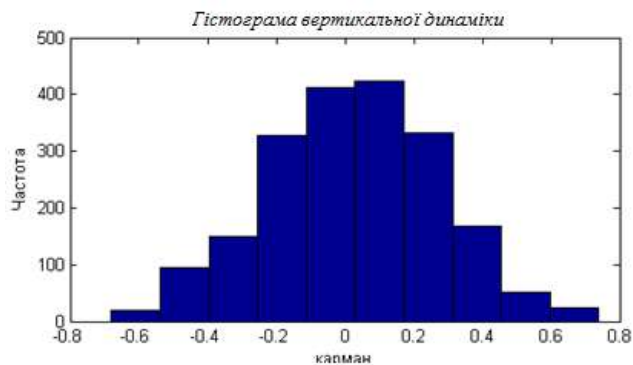


Рис. 5 – Гістограма зміни коефіцієнту горизонтальної динаміки

Для порівняння отриманих даних використовувалися результати ходових динамічних випробувань напіввагону моделі 12-7023, які проведені фахівцями ДП УкрНДІВ. Залежності, що характеризують зміну математичного очікування випадкового процесу вертикальних та горизонтальних навантажень від швидкості руху, наведено на рис. 6, 7. На рисунку представлені порівняння експериментальних даних та результати моделювання. Збіжність експериментальних та теоретичних даних склало близько 87%, що є цілком задовільним.

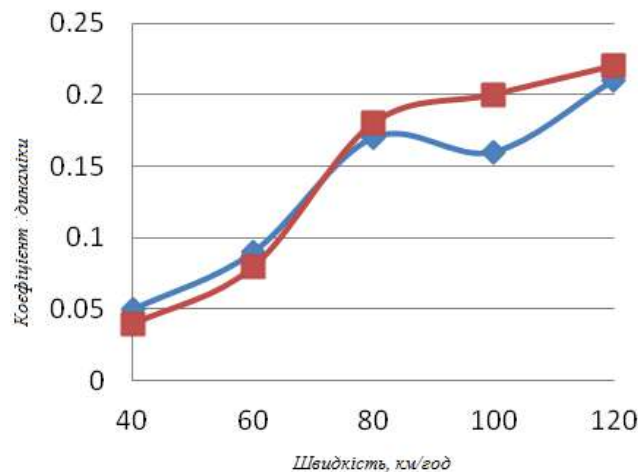


Рис. 6 – Зміна математичного очікування випадкового процесу коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки від швидкості руху

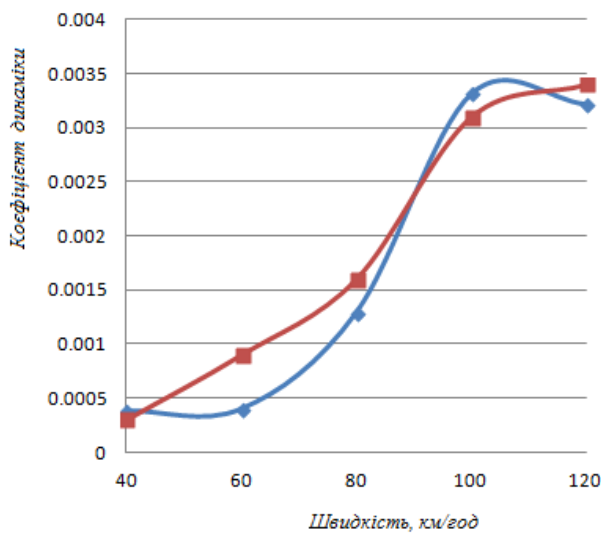


Рис. 7 – Зміна дисперсії о випадкового процесу коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки від швидкості руху

Очевидно, що ці отримані залежності являють собою випадковий процес із синусоїдальною складовою, параметрам якого властиве значне розсіювання. Тому для його дослідження необхідно застосовувати методи теорії імовірності і теорії випадкових функцій. Процес навантаження буксових вузлів являє собою випадковий процес.

Для стаціонарних випадкових процесів визначальними є математичне очікування та дисперсія процесу. При цьому основні статистичні характеристики суми двох випадкових процесів зміни вертикальних та горизонтальних навантажень x_1 і x_2 відповідно будуть рівні [12]:

$$\bar{y} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2; \quad (1)$$

де $\bar{y}, \bar{x}_1, \bar{x}_2$ – математичне очікування відповідно сумарного, вертикального та горизонтального випадкових процесів.

$$D_y = D_{x_1} + D_{x_2} + 2r\sqrt{D_{x_1}D_{x_2}}; \quad (2)$$

де D_y, D_{x_1}, D_{x_2} дисперсії відповідно сумарного, а також випадкових процесів вертикального та горизонтального динамічного навантаження; r – коефіцієнт кореляції процесів x_1 і x_2 ;

Однією з найважливіших характеристик випадкових процесів зміни динамічних навантажень є кореляційна функція.

$$R_{(y)} = R_{x_1} + R_{x_2} + 2R_{x_1x_2}; \quad (3)$$

де R_y, R_{x_1}, R_{x_2} – кореляційні функції відповідно сумарного, вертикального та горизонтального випадкових процесів; $R_{x_1x_2}$ – взаємна кореляційна функція процесів x_1 і x_2 .

В подальшому використовуючи отримані дані, обчислені кореляційні функції для випадкових процесів, що характеризують сумісну дію зміни коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки вагону.

За результатами досліджень для кожного з отриманих випадкових процесів були побудовані кореляційні функції.

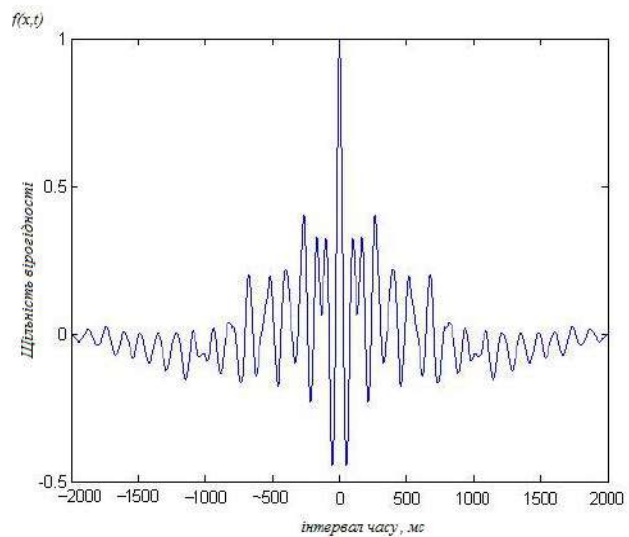


Рис. 8 – Кореляційна функція для руху зі швидкістю 100 км/год (в кривій)

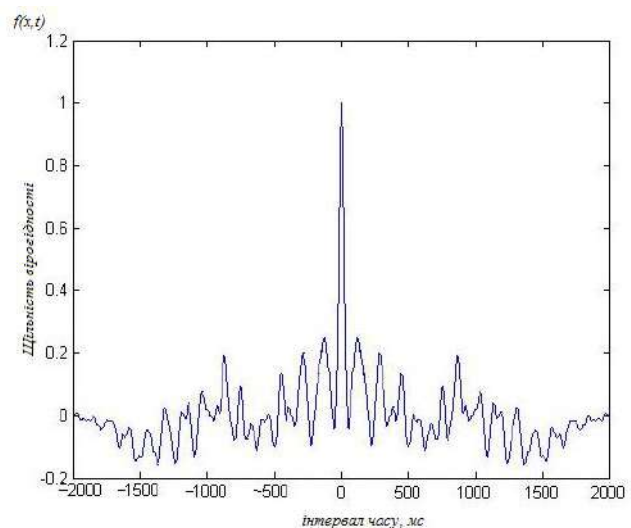


Рис. 9 – Кореляційна функція для руху зі швидкістю 100 км/год (в прямій)

Побудовані кореляційні функції дозволяють виконати оцінку надійності буксового вузла.

Висновок

Моделювання динамічних навантажень діючих на ходові частини вантажних вагонів показало достатню збіжність з результатами ходових випробувань, близько 87%. Тому запропонована модель може бути використана для оцінки збудованих навантажень при розрахунках надійності буксових вузлів вантажних вагонів. Доведено, що цей процес має стаціонарний та ергодичний характер.

Отримані результати моделювання підпорядковуються нормальному закону розподілення. Визначені основні параметри, що характеризують ці процеси в залежності від швидкості та режиму руху

Список літератури

1. **Lunys, O.** Reiedmenu asideziu šilumokatio procesal vaziuojant gelezinkelio kreivemis / **O. Lunys, G. Bureika** // *Mokslas – Lietuvos ateitis*. – 2013. – № 5. – P. 552-557. – doi: 10.3846/mla.2013.87.
2. **Lunys, O.** Investigation on features and tendencies of axle-box heating / **O. Lunys, S. Dailydka, G. Bureika** // *Transport Problems*. – 2015. – № 1. – P. 105-114.
3. **Lunys, O.** Riedmenų ašidėžių kaitimo temperatūrų kitimo tendencijos / **O. Lunys, R. Subačius** // *Mokslas – Lietuvos Ateitis. Transportas*. – 2012. – № 4. – P. 361-365. – doi: 10.3846/2000-M.
4. **Лукин, В. В.** Конструирование и расчет вагонов: учебник для вузов ж.-д. трансп. / **В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. Н. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов**. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
5. **Мартынов, И. Э.** Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликоподшипников букс грузовых вагонов / **И. Э. Мартынов** // *Вісник Східноукраїнського державного університету*. – 2000. – № 5 (27). – С. 157-159.
6. **Цюренко, В. Н.** Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения / **В. Н. Цюренко** // *Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения: труды ВНИИЖТ*. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С. 4-26.
7. **Цюренко, В. Н.** Особенности работы крупногабаритных цилиндрических роликоподшипников под действием осевых сил / **В. Н. Цюренко, И. Г. Цуркан, А. Н. Мирза** // *Вестник машиностроения*. – 1974. – № 11. – С. 52-55.
8. **Донченко, А. В.** Результати динамічних випробувань вагонів з дослідними роликопідшипниками / **А. В. Донченко [та ін.]** // *Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Серія "Транспортні системи і технології"*. – 2003. – Вип. 4. – С. 106-110.
9. **Мартинов, И. Е.** Результаты эксплуатационных испытаний двохосных кассетных цилиндрических подшипников в буксах вантажних вагонів / **И. Е. Мартинов, А. В. Труфанова, С. Р. Можейко, В. М. Ильчишин, В. О. Шовкун** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 7 (73). Doi:10.15587/1729-4061.2015.36080.
10. **Донченко, А. В.** Дослідження динамічних навантажень, що діють на буксові вузли вантажних вагонів / **А. В. Донченко [та ін.]** // *Збірник наукових праць*. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 106-110.
11. **Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)**. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983 – 258 с.
12. **Болотин, В. В.** Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / **В. В. Болотин**. – М.: Стройиздат, 1971. – 256 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Lunys, O., Bureika, G.** Reiedmenu asideziu šilumokatio procesal vaziuojant gelezinkelio kreivemis, *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2013, **5**, P. 552-557, doi: 10.3846/mla.2013.87.
2. **Lunys, O., Dailydka, S., Bureika, G.** Investigation on features and tendencies of axle-box heating, *Transport Problems*, 2015, **1**, 105-114.
3. **Lunys, O., Subačius, R.** Riedmenų ašidėžių kaitimo temperatūrų kitimo tendencijos, *Mokslas – Lietuvos Ateitis. Transportas*, 2012, **4**, 361-365, doi: 10.3846/2000-M.
4. **Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. N., Hohlov, A. A., Anisimov, P. S.** Konstruivovanie i raschet vagonov: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp., M.: UMK MPS Rossii, 2000, 731 s.
5. **Martynov, I. E.** Analiz opyta ehkspluatacii cilindricheskikh rolikopodshipnikov buks gruzovykh vagonov, *Visnik Shhidnoukrains'kogo derzhavnogo universitetu*, 2000, **5** (27), 157-159.
6. **Cyurenko, V. N.** Opyt ehkspluatacii vagonov s buksovimi uzlamy na podshipnikah kacheniya, *Puti sovershenstvovaniya konstrukcij buksovykh uzlov vagonov s podshipnikami kacheniya: trudy VNIIZHT*, M.: Transport, 1982, Vyp. 654, 4-26.
7. **Cyurenko, V. N., Curkan, I. G., Mirza, A. N.** Osobennosti raboty krupnogabaritnykh cilindricheskikh rolikopodshipnikov pod deystviem osevykh sil, *Vestnik mashinostroeniya*, 1974, **11**, 52-55.
8. **Donchenko, A. V.** [ta in.] Rezul'tati dinamichnih viprobuvan' vagoniv z doslidnimi, *Zb. nauk. prac' Kiivs'kogo universitetu ekonomiki i tekhnologij transportu. Seriya "Transportni sistemi i tekhnologii"*, 2003, **4**, 106-110.
9. **Martynov, I. E., Trufanova, A. V., Mozhejko, Ye. R., Il'chishin, V. M., Shovkun, V. O.** Rezul'tati ehkspluataciynih viprobuvan' zdvoenih kasetnih cilindrichnih pidshipnikiv v buksah vantazhnykh vagoniv, *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovykh tekhnologij*, 2015, **7** (73), doi:10.15587/1729-4061.2015.36080.
10. **Donchenko, A. V.** [ta in.] Doslidzhennya dinamichnih navantazhen', shcho diyut' na buksovi vuzli vantazhnykh vagoniv, *Zbirnik naukovih prac'*. – Harkiv: UkrDAZT, 2010, **119**, 106-110.
11. **Normy dlya rascheta i proektirovaniya novykh i moderniziruemykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh)**. – M.: VNIIV-VNIIZHT, 1983 – 258 s.
12. **Bolotin, V. V.** Primenenie metodov teorii veroyatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij, M.: Strojizdat, 1971, 256 s.

Відомості про авторів (About authors)

Шовкун Вадим Олександрович – аспірант, асистент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, Україна; e-mail: vadim_shovkun@mail.ru.

Vadim Shovkun – department wagons, The Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine, e-mail: vadim_shovkun@mail.ru.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шовкун, В. О. Розробка імітаційної моделі вантажного вагона з метою отримання оцінки динамічних показників / **В. О. Шовкун** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 62-67. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.10.

Please cite this article as:

Shovkun, V. Development of simulation model of freight car with the aim of obtaining estimates of dynamic parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 62–67, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шовкун, В. А. Разработка имитационной модели грузового вагона с целью получения оценки динамических показателей / **В. А. Шовкун** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ» – 2017. – № 23 (1245). – С. 62-67. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.10.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены результаты моделирования динамического процесса нагружения буксового узла используя комплекс «Универсальный механизм УМ». Разработанная в «УМ» имитационная модель «вагон-железнодорожная колея» включает в себя кузов полувагона с возможностью имитировать различную степень загруженности. Полученные для реализации коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики в диапазоне скоростей движения от 4+0 до 120 км/год как на прямых, так и в кривых участках пути. Доказано, что результаты моделирования подчиняются нормальному закону распределения. Определены основные параметры, характеризующие эти процессы в зависимости от скорости и режима движения.

Ключевые слова: буксовый узел; подшипник; полувагон; колесная пара; нагрузка; динамика.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 004.93

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.11

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ПРОЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ТЕКУЩЕГО КАДРА В СИСТЕМУ КООРДИНАТ БАЗОВОГО

Н.В. БЕЛОУС, А.И. КРАСОВ

¹ Кафедра программной инженерии Харьковского национального университета радиозлектроники, Харьков, УКРАИНА
*email: bilous.n.v@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье разработан вычислительный метод определения постоянных проективного преобразования системы координат текущего кадра в систему координат базового. Выбор наилучшего проективного преобразования позволяет найти наилучшие параметры сложения кадров. Особенно в темное время суток это является единственным способом подготовить изображение номерного знака к его различению автоматически или с помощью эксперта. Вычислительный метод обеспечивает трансформацию изображения номерного знака текущего кадра в изображение номерного знака базового кадра, свободную от различного вида искажений. В статье для оценки параметров прямой по изображению ее отрезка на цифровом изображении использован метод моментов, как простой, надежный и часто используемый на практике. Предложенный метод обеспечивает надежное начальное приближение нелинейного преобразования и поиск соответствующих ему постоянных. Переход к нелинейным трансформациям необходим, например, при изогнутости номерных знаков или других носителей текстовых данных.

Ключевые слова: проективное преобразование; реперные точки; трансформация изображения; цифровое изображение.

COMPUTATIONAL METHOD FOR DETERMINING PROJECTIVE TRANSFORMATION CONSTANTS OF THE CURRENT FRAME COORDINATES INTO BASIC COORDINATE SYSTEM

N.V. BILOUS^{1*}, A.I. KRASOV

¹ Department Software engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Context. Computational method for determining projective transformation constants of the current frame into basic coordinate system is developed. Choosing the best projective transformation allows finding the best settings for adding frames. It is the only way to prepare the license plate image to automatic distinction or distinction with the help of an expert at night.

Objective. This computational method enables the transformation of the current frame license plate image into the image of the base frame license plate that is free of various types of distortions. The article provides direct assessment of the section parameters of digital image using the method of moments, as a simple, reliable and commonly used in practice. To set the projective mapping inverse mapping is used so that each reference point of the license plate on resulting photos is associated with coordinates on the license plate plane. The corners of the license plate are used as reference points. The considered method allows adding images of license plates. The proposed method provides for reliable initial approximation of a nonlinear transformation and searching constants corresponding to it. The transition to non-linear transformation is required, e.g. when there are curvatures of license plates or other text data carriers.

Keywords: projective transformation; reference points; image transformation; digital image.

Введение

Для ряда операций с изображениями номерных знаков, например, сложения этих изображений, часто достаточно знать координаты углов номерного знака. Однако их непосредственная оценка бывает затруднена или приводит к ошибочным решениям (рис 1). В этой связи целесообразно определять координаты угловой точки через предварительное определение параметров прямых, соответствующих границам номерного знака, пересекающихся в этой точке.

Целью статьи является разработка вычислительного метода определения постоянных проективного преобразования координат текущего кадра в координаты базового для трансформации изображения номерного знака текущего кадра в изображение номерного знака базового кадра с минимальными искажениями.

Постановка задачи

Имеют место кадры с изображениями прямоугольных номерных знаков без явно выраженных углов. Номерной знак представляет собой плоский прямоугольник в трехмерном пространстве. Следовательно, его изображение является проективным отображением (взаимно-однозначным отображением проективной плоскости на себя, при котором образом произвольной прямой является прямая), то есть центральной проекцией плоскости, которой принадлежит номерной знак, на плоскость матрицы оптической системы фотоаппарата. Для определения постоянных данного проективного отображения достаточно знать координаты углов номерных знаков на изображениях кадров серии. Данные координаты не допускают прямого измерения в виду отсутствия на номерном знаке явно выраженных углов.



а)



б)

Рис. 1 – Примеры номерных знаков с затрудненной непосредственной оценкой координат их углов

На текущем и базовом кадрах серии изображения границ прямоугольных номерных знаков задаются множествами Ω_j из N_{IPS} пикселей, каждый из которых имеет координаты x_i, y_k и яркость A_{ik}^* . По данной информации необходимо определить параметры прямых, соответствующих границам номерного знака. В качестве критерия целесообразно воспользоваться критерием моментов, который заключается в приравнивании выборочных моментов к соответствующим моментам распределения параметров изображения. При этом оценки неизвестных параметров исследуемых прямых необходимо найти из системы уравнений метода моментов. Координаты углов изображений номерных знаков необходимо определить как пересечение прямых, соответствующих рассматриваемым границам.

После нахождения на каждом кадре оценок координат углов номерных знаков необходимо определить параметры линейного проективного преобразования системы координат текущего кадра в систему координат базового для дальнейшего их использования при сложении кадров и других целей.

Таким образом, необходимо на основе изображения номерного знака с неизвестным ракурсом определить координаты его углов, как пересечения прямых, соответствующих его границам, определив предварительно и параметры данных прямых. По полученным оценкам координат углов

номерного знака необходимо определить параметры линейного проективного преобразования системы координат текущего кадра в систему координат базового.

Литературный обзор

Отдельные части предлагаемой задачи подробно рассмотрены в специальной литературе [1-5]. Выбор описания прямой соответствующей границе номерного знака на изображении через точку, ей принадлежащей, и угол углом между данной прямой и осью абсцисс вызван отсутствием особых точек в таком описании.

Оценить параметры прямой по изображению ее отрезка на цифровом изображении можно с использованием методов моментов, наименьших квадратов, максимального правдоподобия и других [6]. В работе использован метод моментов, как простой, надежный и часто используемый на практике [7].

Выбор наилучшего проективного преобразования позволяет найти наилучшие параметры сложения кадров. Зачастую в темное время суток это является единственным способом подготовить изображение номерного знака к его различению автоматически или с помощью эксперта.

Изложение основного материала

Определение параметров прямых, соответствующих границам номерных знаков на изображении. Прямая может быть описана координатами точки (X_0, Y_0) , ей принадлежащей, и углом между прямой и осью абсцисс ω .

Считается, что по результатам оконтуривания [8-10] выделено изображение отрезка j -ой прямой. Данное изображение представляет собой множество Ω_j из N_{IPS} пикселей, в которых предполагается наличие изображения исследуемой прямой.

В качестве координат точки, принадлежащей прямой и описывающей прямую выбраны координаты центра изображения отрезка прямой (начальные моменты первого порядка):

$$X_{0j} = \frac{\sum_{k,i} A_{ik}^* x_i}{\sum_{k,i} A_{ik}^*} ; \quad Y_{0j} = \frac{\sum_{k,i} A_{ik}^* y_k}{\sum_{k,i} A_{ik}^*}, \quad (1)$$

где x_i, y_k – координаты центра ik -го пикселя на цифровом кадре; A_{ik}^* – яркость ik -го пикселя.

Ориентация прямой определяется ориентацией изображения ее отрезка. Изображения отрезка прямой (рис.2) определяется углом ω_j между осью x и осью x_j , в направлении которой вытянуто изображение исследуемого отрезка.

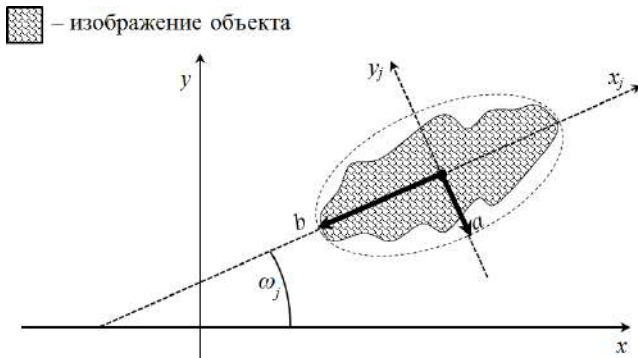


Рис. 2 – Направление осей вытянутости изображения прямой

Данный угол ω_j отклонения оси x_j от оси x определяется соотношением [7]:

$$\omega_j = \frac{1}{2} \arctan \frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}, \quad (2)$$

где

$$m_{20} = \sum_{k,i}^{\Omega_j} A_{ik}^* (x_i - X_0)^2; \quad (3)$$

$$m_{02} = \sum_{k,i}^{\Omega_j} A_{ik}^* (y_k - Y_0)^2; \quad (4)$$

$$m_{11} = \sum_{i=1}^{\Omega_j} \sum_{k=1}^{\Omega_j} A_{ik}^* (x_i - X_0)(y_k - Y_0). \quad (5)$$

Известно, что арктангенс определен на интервале $[-\pi/2, \pi/2]$. Для его определения на требуемом интервале $[0, \pi]$ необходимо принять ряд мер, обычных для такого случая.

Определение координат углов номерного знака. Угловая точка номерного знака может определяться как точка пересечения двух прямых, соответствующих двум соседним границам номерного знака. Например, верхний левый угол номерного знака может определяться как пересечение прямых, соответствующих верхней и левой границам номерного знака. Для нахождения координат пересечения двух прямых целесообразно использовать прямые представить с применением общего уравнения прямой [11]:

$$A_j x + B_j y + C_j = 0. \quad (6)$$

Координаты пересечения двух прямых находятся как решение системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} A_1 x + B_1 y + C_1 = 0 \\ A_2 x + B_2 y + C_2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Данная система уравнений имеет одно решение (прямые не являются параллельными), если выполняется условие:

$$\frac{A_1}{A_2} \neq \frac{B_1}{B_2}. \quad (8)$$

При этом решение (значения координат угла номерного знака) системы (7) можно записать следующим образом:

$$x_{corner} = \frac{C_2 B_1 - C_1 B_2}{B_2 A_1 - B_1 A_2}, \quad y_{corner} = \frac{C_2 A_1 - C_1 A_2}{B_1 A_2 - B_2 A_1}. \quad (9)$$

Определение постоянных общих уравнений прямых, соответствующих на изображении границам номерных знаков. Значения коэффициентов общего уравнения прямой, проходящей через точку (X_j, Y_j) под углом ω_j к оси абсцисс определяются выражениями:

$$A_j = \sin(\omega_j); \quad (10)$$

$$B_j = -\cos(\omega_j); \quad (11)$$

$$C_j = Y_j \cos(\omega_j) - X_j \sin(\omega_j). \quad (12)$$

Выражения (10)-(12) можно обосновать следующим образом (рис 3). Пусть кроме точки F с координатами (X_j, Y_j) заданной прямой принадлежит точка G с координатами $(X_j + \Delta x, Y_j + \Delta y)$. Пусть точка G расположена от точки F на расстоянии d, а следовательно:

$$\Delta x = d \cos(\omega_j); \quad \Delta y = d \sin(\omega_j). \quad (13)$$

Точка H будет принадлежать заданной прямой тогда и только тогда, когда будет равен нулю угол между векторами

$$FG = ((x_j + \Delta x) - x_j; (y_j + \Delta y) - y_j) = (\Delta x; \Delta y), \quad (14)$$

$$FH = ((x - x_j); (y - y_j)). \quad (15)$$

Если угол между векторами равен нулю, то их псевдоскалярное произведение $FG \cap FH$ так же будет равно нулю по определению [11]. Известно, что для векторов $a = (a_1, a_2)$ и $b = (b_1, b_2)$ справедливо выражение [11]:

$$a \cap b = a_1 b_2 - a_2 b_1. \quad (16)$$

Следовательно:

$$FG \cap FH = \Delta x (y - y_j) - \Delta y (x - x_j) = 0. \quad (17)$$

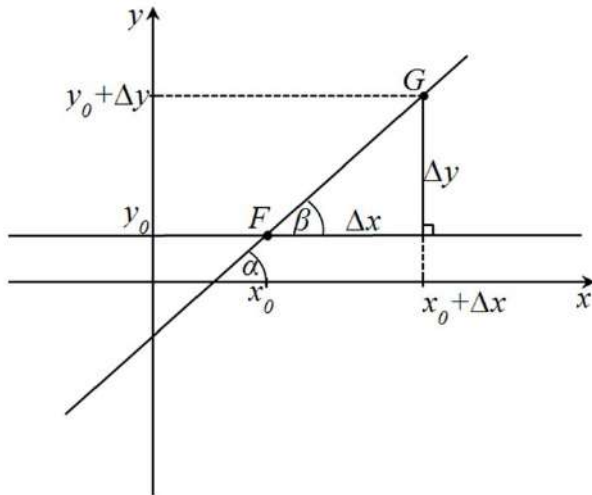


Рис. 3 – Прямая, соответствующая на изображении границе номерного знака

Подставляя (13) в (17) можно записать выражение:

$$x \sin(\omega_j) - y \cos(\omega_j) + y_j \cos(\omega_j) - x_j \sin(\omega_j) = 0. \quad (18)$$

С учетом обозначений (10) ÷ (12) последнее выражение примет вид (6), что и доказывает справедливость введенных обозначений.

Определение постоянных проективного отображения. После нахождения на каждом кадре серии оценок координат углов номерных знаков можно найти преобразование координат в системе координат текущего кадра серии в систему координат базового кадра. Номерной знак представляет собой плоский прямоугольник в трехмерном пространстве. Следовательно, его фотография является центральной проекцией плоскости, которой принадлежит номерной знак, на плоскость матрицы оптической системы фотоаппарата. Такой тип проекции называется проективным отображением [12].

Как известно, проективное отображение плоскости – это взаимно-однозначное отображение проективной плоскости на себя, при котором образом произвольной прямой является прямая. В данном случае, координаты (x', y') изображения номерного знака могут быть определены из координат (x, y) номерного знака с использованием проективного отображения [12]:

$$x' = \frac{(Ax + By + C)}{(ax + by + c)}, \quad (19)$$

$$y' = \frac{(Dx + Ey + F)}{(ax + by + c)}. \quad (20)$$

Для задания проективного отображения необходимо определить параметры $A, B, C, D, E, F, a, b, c$, входящие в выражения (19), (20).

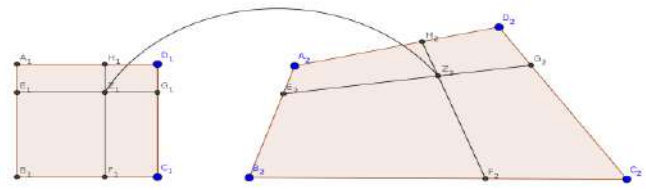


Рис. 4 – Центральная проекция плоскости, которой принадлежит номерной знак, на плоскость матрицы оптической системы фотоаппарата

Для этого необходимо построить обратное отображение $f(\cdot)$, которое каждой точке номерного знака на полученной фотографии, будет ставить в соответствие координаты на плоскости номерного знака. Данные точки обычно в специальной литературе называются реперными или опорными [13-16]. В качестве реперных (опорных) точек целесообразно использовать углы номерного знака.

Пусть значения координат углов номерного знака в его плоскости заданы и имеют значения $(0,0), (0,h), (w,h), (w,0)$. Пусть соответствующие им значения координат углов на изображении – $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$. Тогда должны выполняться следующие равенства:

$$f((x_1, y_1)) = (0,0); \quad (21)$$

$$f((x_2, y_2)) = (0,h); \quad (22)$$

$$f((x_3, y_3)) = (w,h); \quad (23)$$

$$f((x_4, y_4)) = (w,0). \quad (24)$$

Подставив координаты углов в уравнение (19) и (20) получится система из 8 уравнений:

$$\frac{(Ax_1 + By_1 + C)}{(ax_1 + by_1 + c)} = 0; \quad \frac{(Dx_1 + Ey_1 + F)}{(ax_1 + by_1 + c)} = 0;$$

$$\frac{(Ax_2 + By_2 + C)}{(ax_2 + by_2 + c)} = 0; \quad \frac{(Dx_2 + Ey_2 + F)}{(ax_2 + by_2 + c)} = h;$$

$$\frac{(Ax_3 + By_3 + C)}{(ax_3 + by_3 + c)} = w; \quad \frac{(Dx_3 + Ey_3 + F)}{(ax_3 + by_3 + c)} = h;$$

$$\frac{(Ax_4 + By_4 + C)}{(ax_4 + by_4 + c)} = w; \quad \frac{(Dx_4 + Ey_4 + F)}{(ax_4 + by_4 + c)} = 0.$$

При умножении всех параметров на некоторую постоянную ненулевую величину тождественность уравнений не изменится. То есть, для каждого преобразования существует семейство кортежей параметров $(A, B, C, D, E, F, a, b, c)$, которые его задают. Поэтому можно зафиксировать

произвольный ненулевой параметр. Таким образом, можно записать систему из 8 уравнений и 9 неизвестных:

$$Ax_1 + By_1 + C = 0; \quad (25)$$

$$Ax_2 + By_2 + C = 0; \quad (26)$$

$$Ax_3 + By_3 + C = w \cdot (ax_3 + by_3 + c); \quad (27)$$

$$Ax_4 + By_4 + C = w \cdot (ax_4 + by_4 + c); \quad (28)$$

$$Dx_1 + Ey_1 + F = 0; \quad (29)$$

$$Dx_4 + Ey_4 + F = 0; \quad (30)$$

$$Dx_2 + Ey_2 + F = h \cdot (ax_2 + by_2 + c); \quad (31)$$

$$Dx_3 + Ey_3 + F = h \cdot (ax_3 + by_3 + c). \quad (32)$$

При этом можно записать 2 тождества, представляющих собой систему линейных уравнений:

$$ax' + by' + cz' = 0, \quad (33)$$

$$ax'' + by'' + cz'' = 0. \quad (34)$$

где

$$x' = k_2 \cdot x_3 \cdot (y_1 - y_2) - k_1 \cdot x_4 \cdot (y_1 - y_2); \quad (35)$$

$$y' = k_2 \cdot y_3 \cdot (y_1 - y_2) - k_1 \cdot y_4 \cdot (y_1 - y_2); \quad (36)$$

$$z' = k_2 \cdot (y_1 - y_2) - k_1 \cdot (y_1 - y_2); \quad (37)$$

$$x'' = k_4 \cdot x_2 \cdot (y_1 - y_4) - k_3 \cdot x_3 \cdot (y_1 - y_4); \quad (38)$$

$$y'' = k_4 \cdot y_2 \cdot (y_1 - y_4) - k_3 \cdot y_3 \cdot (y_1 - y_4); \quad (39)$$

$$z'' = k_4 \cdot (y_1 - y_4) - k_3 \cdot (y_1 - y_4); \quad (40)$$

$$k_1 = (y_1 - y_2) \cdot (x_3 - x_1) - (x_1 - x_2) \cdot (y_3 - y_1); \quad (41)$$

$$k_2 = (y_1 - y_2) \cdot (x_4 - x_1) - (x_1 - x_2) \cdot (y_4 - y_1); \quad (42)$$

$$k_3 = (y_1 - y_4) \cdot (x_2 - x_1) - (x_1 - x_4) \cdot (y_2 - y_1); \quad (43)$$

$$k_4 = (y_1 - y_4) \cdot (x_3 - x_1) - (x_1 - x_4) \cdot (y_3 - y_1). \quad (44)$$

Можно зафиксировать одну из неизвестных и решить данную систему двух уравнений с двумя неизвестными. А затем найти все неизвестные параметры преобразования, то есть все параметры системы уравнений (33)-(44):

$$A = w \cdot (ax_3 + by_3 + c) \cdot (y_1 - y_2) / k_1; \quad (45)$$

$$D = h \cdot (ax_2 + by_2 + c) \cdot (y_1 - y_4) / k_3;$$

или

$$D = h \cdot (ax_3 + by_3 + c) \cdot (y_1 - y_4) / k_4; \quad (46)$$

$$A(x_1 - x_2) + B(y_1 - y_2) = 0; \quad (47)$$

$$D(x_1 - x_4) + E(y_1 - y_4) = 0; \quad (48)$$

$$C = -Ax_1 - By_1; \quad (49)$$

$$F = -Dx_1 - Ey_1. \quad (50)$$

Вычислительный метод определения постоянных проективного преобразования координат системы координат текущего кадра в систему координат базового включает следующие операции.

1. Определение параметров прямых, соответствующих границам номерных знаков, на изображении согласно выражений (1)-(5).

2. Определение координат углов номерного знака согласно выражений (9).

3. Определение постоянных прямых, соответствующих границам номерных знаков, на изображении согласно выражений (10)-(12).

4. Определение постоянных проективного отображения с использованием выражений (33)-(50).

5. Пересчет координат системы координат текущего кадра в систему координат базового с использованием выражений (19), (20).

Вычислительный метод определения постоянных проективного преобразования координат системы координат текущего кадра в систему координат базового обеспечивает трансформацию изображения номерного знака текущего кадра (рис. 5) в изображение номерного знака базового (идеального) кадра (рис 6), минуя различные искажения (рис 7).



Рис. 5 – Изображение номерного знака



Рис. 6 – Изображение номерного знака при повороте (одинаковые размеры букв)

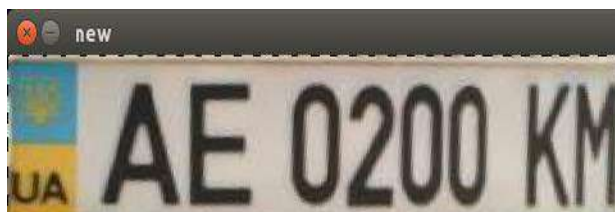


Рис. 7 – Изображение номерного знака при повороте (разные размеры букв)

Приведенный в статье метод трансформации позволяет складывать изображения номерных знаков. Пример сложения номерных знаков приведен на рисунке 8.



а)



б)

Рис. 8 – Результат сложения изображений номерных знаков с использованием предложенного в статье вычислительного метода определения постоянных проективного преобразования а) исходный кадр, б) итоговый кадр в СК базового кадра

Обсуждение результатов

Использование проективных преобразований для подготовки серии кадров к их сложению при

разных параметрах отождествления (сдвиг, поворот, масштаб) кадров серии является общепризнанной практикой. Достаточно часто используются линейные проективные преобразования. Для определения их постоянных на кадрах серии в автоматизированном режиме находят устойчиво обнаруживаемые автоматически реперные знаки с хорошей потенциальной точностью определений их координат. Такими реперами в рассматриваемой задаче исследования номерных знаков транспортных средств зачастую могут быть только углы номерных знаков. Однако, существует большой класс исходных объектов наблюдения, в которых данные углы не могут быть выявлены прямыми измерениями. Для данного класса номерных знаков, как объектов наблюдения, разработан новый вычислительный метод определения постоянных проективного преобразования по данным изображения. В отличие от известных методов в нем используется косвенное измерение координат углов номерных знаков и обработка его результатов методом моментов, что повышает надежность отождествления изображений и точность определения постоянных используемых проективных преобразований. Только использование предложенной последовательности действий позволило в автоматическом (не автоматизированном) режиме подготовить многие кадры, полученные в условиях ограниченной освещенности к распознаванию находящейся на них текстовой информации экспертом.

Выводы

В статье получила дальнейшее развитие задача разработки вычислительного метода определения по данным изображений номерного знака постоянных проективного преобразования координат текущего кадра в координаты базового (рис 6), сводящий к минимуму различные искажения (рис 7). Задача впервые решена в условиях невозможности прямого определения координат углов номерных знаков из-за особенностей самих номерных знаков (рис. 1), а не их изображений. Оценка данных координат основана на косвенных измерениях и их обработке с использованием метода моментов. Практическая ценность разработанного метода заключается в возможности его использования при подготовке для распознавания изображений, полученных в ночное время суток при необходимости сложения большого количества кадров (Рисунок 8), полученных с разными параметрами отождествления (сдвиг, поворот, масштаб).

Следует отметить, что рассмотренный в статье вычислительный метод обеспечивает линейное решение. В свою очередь, практическая значимость предложенного метода заключается так же в том, что получаемое линейное решение обеспечивает надежное начальное приближение нелинейного преобразования и поиска соответствующих ему

постоянных. Дальнейшие исследования целесообразно сконцентрировать на разработке методов определения параметров нелинейной трансформации кадров с текстовой информацией. Необходимость данных исследований очевидна, например, при изогнутости номерных знаков или других носителей текстовых данных..

Список литературы

1. **Stinson, D. R.** Some constructions and bounds for authentication codes / **D. R. Stinson** // *J. Cryptology*. – 1988. – 1. – P. 37-51. – doi:10.1007/BF00206324.
2. **Lu, T.** Video Text Detection (Advances in Computer Vision and Pattern Recognition) / **T. Lu, S. Palaiahnakote, Chew L. Tan, W. Liu** // *Springer*. – 2014. – P. 258. – doi: 10.1007/978-1-4471-6515-6_1.
3. **Белоус, Н. В.** Применение дескриптора взаимных расстояний контрольных точек для распознавания двумерных геометрических объектов по форме / **Н. В. Белоус, Г. А. Кобзарь, А. Н. Ковалев** // *Украинский научно-теоретический журнал «Вестник Международного Славянского университета»*. – 2007. – №6. – С. 111–119 с.
4. **Baumann, R.** Automatic Perspective Correction of Manuscript Images / **R. Baumann, C. Blackwell, W. Brent Seales** // *Springer Berlin Heidelberg*. – 2012.– P. 11–18.
5. **Linlin, Li.** Character recognition under severe perspective distortion / **Linlin Li, Chew Lim Tan** // *IEEE*. – 2008. – P. 1–4.
6. **Кобзарь, А. И.** Прикладная математическая статистика / **А. И. Кобзарь**. – М.: ФИЗМАТЛИТ – 2006. – 816 с.
7. **Бялонович, А. В.** Диагностика структурного состояния стали при воздействии циклической нагрузки / **А. В. Бялонович, Т. Ю. Яковлева, Л. Е. Матохнюк** // *Міжнародний науково-технічний збірник Надійність і довговічність машин і споруд*. – 2009. – Вип. 32. – С. 184 – 193.
8. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений / **Р. Гонсалес, Р. Вудс** – М.: Техносфера,– 2005. – 1072 с.
9. **Wilhelm Burger Mark, J.** Burge Principles of Digital Image Processing – Fundamental Techniques / **J. Wilhelm Burger Mark** // *Springer*. – 2009. – P. 272.
10. **Яне, Б.** Цифровая обработка изображений / **Б. Яне пер. с англ.** – М: Техносфера, 2005. – 584 с.
11. **Прасолов, В. В.** Задачи по планиметрии. – 5-е изд., дополненное / **В. В. Прасолов** – М.: Изд-во Московского центра непрерывного математического образования, 2007. – 584 с.
12. **Ефимов Н. В.** Высшая геометрия. – 7-е изд. / **Н. В. Ефимов** – М.: ФизМатЛит, 2004. – 584 с.
13. **Castelaz, M. W.** Photometry of astrometric reference stars / **M. W.Castelaz, T. Persinger, J. W. Stein, J.Prosser, H. D Powell** // *Astronomical Journal*. – 1991. – Vol. 102. – P. 2103-2118.
14. **Thomas, E. Faint Reference Stars** / **E. Thomas, S. Corbin Sean, E. Urban** // *Proceedings of the International Astronomical Union*. – 1990. – P. 433.

Сведения об авторах (About authors)

Белоус Н. В. – кандидат технических наук, профессор кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина; email: movsesian.iana@gmail.com.

15. **Lottera, N. O.** Statistical benchmark surveying of production concentrators / **N. O. Lottera, A. R. Laplanteb** // *Minerals Engineering*. – 2007. – V. 20, I. 8. – P. 793–801.
16. **Perera, S.** Developing a graduate competency mapping benchmark for quantity surveying competencies / **Perera S., Pearson J., Zhou L., Ekundayo D.** // *RICS COBRA Research Conference*. – 2012, Las Vegas, Nevada, USA.

Bibliography (transliterated)

1. **Stinson, D. R.** Some constructions and bounds for authentication codes. *J. Cryptology*, 1988, **1**, 37-51, doi:10.1007/BF00206324.
2. **Lu, T.** Video Text Detection (Advances in Computer Vision and Pattern Recognition). *Springer*, 2014, 258.
3. **Bilous, N. V., Kobzar, G. A., Kovalev, A. N.** Application of Primenenie deskriptora vzaimnyih rasstoyaniy kontrolnyih toчек dlya raspoznavaniya dvumernyih geometricheskikh ob'ektov po forme. *Ukrainskiy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Vestnik Mezhdunarodnogo Slavyanskogo universiteta»*, 2007, **6**, 111-119.
4. **Baumann, R. Blackwell Brent Seales, C. W.** Automatic Perspective Correction of Manuscript Images, *Springer Berlin Heidelberg*, 2012, 11-18.
5. **Linlin, Li., Chew Lim Tan.** Character recognition under severe perspective distortion. *IEEE*, 2008, 1–4.
6. **Kobzar, A. I.** Prukkladnaya Matematycheskaya Statistika. M: FYZMATLYT, 2006. - 816 p.
7. **Byalonovich, A. V., Yakovleva, T. Yu., Matohnyuk, L.E.** Diagnostica struktornogo sostoyaniya stali pru vzaimodeistvii cuklicheskoi nagruzki. *Mizhnarodny naukovo-tehnichny zbirnik Nadiynist i i dovgovichnist machines i sporud*, **32**, 2009, 184 - 193.
8. **Gonzalez, R.** Tsyfrovaya obrabotka informatcii. *Technosfera*, 2005, 1072.
9. **Wilhelm Burger Mark, J.** Burge Principles of Digital Image Processing – Fundamental Techniques. *Springer*, 2009, 272.
10. **Yane, B.** Tsyfrovaya obrabotka izobragenii. *Technosfera*, 2005, 584.
11. **Prasolov, V. V.** Zadachi po planimetrii - 5th ed., Dopolnennoe. *Publishing House of Moscow Center mathematical education continuously*, 2007, 584.
12. **Efymov, N. V.** Vysshaya Geometriya. - 7th ed. *FyzMatLyt*, 2004, 584.
13. **Castelaz, M. W., Persinger, T. J., Stein W., Prosser J., Powell H. D.** Photometry of astrometric reference stars. *Astronomical Journal*, **102**, 1991, 2103-2118.
14. **Thomas, E., Corbin, Sean S., Urban, E.** Faint Reference Stars. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 1990, p. 433.
15. **Lottera, N. O., Laplanteb, A. R.** Statistical benchmark surveying of production concentrators. *Minerals Engineering*, 207, **20**, I. 8, 793–801.
16. **Perera, S., Pearson, J., Zhou, L., Ekundayo, D.** Developing a graduate competency mapping benchmark for quantity surveying competencies *RICS COBRA Research Conference*, 2012, Las Vegas, Nevada, USA.

Bilous N. V. – PhD, Professor of Software engineering department, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; email: movsesian.iana@gmail.com.

Красов А. И. – аспирант Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина; email: movsesian.iana@gmail.com.

Krasov A. I. – PhD student of Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; email: movsesian.iana@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Белоус, Н. В. Вычислительный метод определения постоянных проективного преобразования координат системы координат текущего кадра в систему координат базового / **Н. В. Белоус, А.И. Красов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 68-75. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.11.

Please cite this article as:

Bilous, N. V., Krasov, A. I. Computational method for determining projective transformation constants of the current frame coordinates into basic coordinate system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 68–75, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.11.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Білоус, Н. В. Обчислювальний метод визначення постійних проективного перетворення координат системи координат поточного кадру в систему координат базового / **Н. В. Білоус, О. І. Красов** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 68-75. – doi:10.20998/2413-295.2017.23.11.

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена розробці методу визначення постійних проективного перетворення системи координат поточного кадру в систему координат базового. Вибір найкращого проективного перетворення дозволяє знайти найкращі параметри складання кадрів. Особливо в темний час доби це є єдиним способом підготувати зображення номерного знаку до його автоматично або за допомогою експерта розрізнення. Обчислювальний метод забезпечує трансформацію зображення номерного знаку поточного кадру в зображення номерного знаку базового кадру. Наведений в статті метод трансформації дозволяє складати зображення номерних знаків. Запропонований метод забезпечує надійне початкове наближення нелінійного перетворення і пошук відповідних йому постійних. Перехід до нелінійних трансформацій необхідний, наприклад, при зігнутості номерних знаків або інших носіїв текстових даних.

Ключові слова: проективне перетворення; реперні точки; трансформація зображення; цифрове зображення.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 681.51:621.316.79

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.12

AUTOMATION OF THE CONTROL PROCESSES OF THE REFRIGERATION UNITS CONDENSERS

V. BUKAROS^{1*}, O. ONISHCHENKO¹, G. NALEVA², A. BUKAROS³

¹ Department of Fleet Operation and Maintenance, National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, UKRAINE

² Department of Higher Mathematics, National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, UKRAINE

³ Department of Electromechanics and Mechatronics, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, UKRAINE

*email: eralife84@gmail.com

ABSTRACT In the article energy efficient ways of the condensing pressure (temperature) control in refrigeration units for various purposes are considered. The comparative analysis of the circuit solutions of the condensing temperature regulators for air cooling condensers is conducted with simulation methods. Modeling of the single-phase system of the regulator pulse-phase control triac HPC1/4 showed that this system has a low power factor. The feasibility of the condensing temperature regulators implementation on the basis of the three-phase frequency converter with DC chain is substantiated for the low and medium cooling capacity refrigeration units. The disadvantages of the existing systems of the condensing pressure stabilization of the refrigeration units water cooling condensers are highlighted. The research of two proposed control systems of the water-cooled condensers of the medium and high cooling capacity refrigeration units is conducted. It is established that the using of the principles of partial invariance to main disturbances with elements of the nonlinear correction can improve the energy efficiency of refrigeration units. Also it is provided by modeling the processes in the shell and tube capacitor KTP-300 of the ship refrigeration unit that the using of variable structure systems further improves the dynamic quality of control processes with large fluctuations of the heat loads.

Keywords: refrigeration unit; condenser; condensing pressure; condensing temperature regulator; control system.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ КОНДЕНСАТОРАМИ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

В. М. БУКАРОС^{1*}, О. А. ОНИЩЕНКО¹, Г. В. НАЛЕВА², А. Ю. БУКАРОС³

¹ Кафедра технічної експлуатації флоту, Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, УКРАЇНА

² Кафедра вищої математики, Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, УКРАЇНА

³ Кафедра електромеханіки та мехатроніки, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ Методами імітаційного моделювання проведений порівняльний аналіз схемотехнічних рішень регуляторів температури конденсації. Обґрунтовано доцільність реалізації таких регуляторів на базі трифазного перетворювача частоти з ланкою постійного струму. Проведено дослідження двох систем керування охолодженням водяних конденсаторів холодильних установок. Доведено, що використання запропонованих алгоритмів управління дозволить підвищити енергетичну ефективність холодильних установок і якість динамічних процесів управління при значних коливаннях теплових навантажень.

Ключові слова: холодильна установка; конденсатор; тиск конденсації; регулятор температури конденсації; система керування.

Introduction

Refrigeration units of different purpose (industrial, transport, household, medical, air conditioners, freezers chests and cooling showcases) are appreciable energy consumers. Any of such units is equipped with a condenser (e.g., air cooled condenser, ventilator cooling tower, cooling water supply pump, etc.). A fact is well-known [1] that the condensing pressure (temperature) of the refrigerant significant impacts on the summary electricity consumption of the refrigeration unit.

For example, condensation temperature increasing nothing more than 1 °C leads to the increase in compressor consumed power of the refrigeration unit not less than 2...2,5%. It should be noted some features of ship refrigeration unit's operation.

Firstly, the compressor and heat-exchange equipment are required to provide the functioning of the

refrigeration unit with a maximum thermal load and surrounding temperature.

Secondly, possibility of working must be provided at low temperatures (when the condensation temperature decreases).

Thirdly, certain ratio must be maintained between the condensing pressure and discharge pressure for providing of the minimum total energy consumption of the refrigeration unit for any thermal loads. Thus, it becomes clear how important to stabilize at the required level with specific features and conditions of unit operation.

The condensing pressure regulators are always built in the modern refrigeration units refrigerant coolant loop. The main function performed by such regulator is the stabilizing of the refrigerant given condensing pressure P_c during some changes, e.g., the temperature

and condensing water flow for water shell-and-tube condensers and the air accordingly for air condensers.

Different condensing pressure stabilization systems are used in marine, industrial and household refrigeration units with the air or water cooling condensers.

The raise of the refrigeration unit energy parameters could be accomplished by the reducing of the condensing pressure to the lowest possible level. This explains the relevance of the proposed research.

The aim of the paper

Purpose and task of the research are developing of the energy efficiency methods of condensing pressure control in different assignment refrigeration units equipped by condensers with forced water cooling or air fan cooling.

Purpose is achieved by using of the executive mechanisms electric drives automatic control bases, fractional invariance bases to main disturbances with nonlinear correction elements and changed structure in stabilization systems.

The object and the subject of the paper

The object of research is processes of automatic pressure (temperature) control of refrigeration units.

The research subject is control systems and pressure (temperature) stabilization in refrigeration units with different types and refrigeration capacity.

Control systems of air cooling condenser (refrigeration units with small and little capacity)

For the last two or three years a lot of refrigeration equipment famous producers (Alco Controls - FSX-42S, Aspen - BN27.3WA and others) offer for the sale or equipped their conditioners and refrigeration units with condensing temperature regulators (CTRs). For example, typical representatives of such regulator are models HPC1/4 and LAC-1/7, produced by the company EDC International Ltd (Great Britain), FASEC-33, -100, -500 by firm ELIWELL (France). They have external thermo sensor, fixed to the air condenser jacket of the or conditioner, one or two programmed discrete outputs and possibility of the smooth control of the stabilized set value.

All companies propose connect own regulators to asynchronous three-phase motors of the air condenser fans, moreover electrical motor turns into one-phase network in condenser mode.

After the analysis of various producers different circuits common building principle of the named condensing temperature regulators was found. It is one-phase voltage control system with an optotriac in the power circuit. The one regulator consumer price (220 V, 4 A) in Ukraine fluctuates in cost from 100 till 135 USD. The continual rate increase of electric power allows

affirming that capital costs for condensing temperature regulation system with such device will be compensated during period from 6 months till 2 years depending on the changes of the thermal loads and exploitation conditions, also refrigeration unit production. Questions of the dynamic processes quality, power consumption processes, condenser fan production regulating range for CTRs are still open. Obviously, that all CTR tasks could be decided not only experimentally, but by simulation methods quicker and more effective.

It is clear that it is extremely important to identify possibilities of the CTRs of the refrigeration units in the connection of the fan electric motor and offer alternative solutions.

It is assumed that the air condenser fan of the refrigerator unit is equipped with asynchronous three-phase motor type 4AA63B4 with technical data: 0.37 kW, 3×220 V, 1.2 A, $\cos\varphi_n=0,69$, $\eta_n=68\%$, $\omega_n=142,8$ rad/s. Engine integral inertia J_Σ with fan, which joined to its shaft is $16,25\cdot 10^{-4}$ kg·m².

Recommended by producers [2] output voltage tunings of the regulator HPC1/4 are following: the minimum voltage (V_{min}) is 70 V and the fan should switch off; adjusting operating voltage (V_{work}) is 145 V and provides the condensing optimal temperature of the refrigeration unit. Once device is switched on motor is supplied with full voltage for 10 s. This time is necessary for completing the fan's motor start process and heating by condenser refrigerant vapors with temperature sensor fixedly connected to it. After 10 s the regulator enters to the stabilization mode that must occur when the voltage on the motor is around 145 V for the nominal condensing temperature.

A simulation model of a single-phase system of triac CTR pulse-phase control are developed in the environment of Matlab for the research of the described modes. The control system synchronizes with the network, the reference voltage is sawtooth. The substitutional circuit parameters of the induction motor is calculated by the method [3].

Starting and working condensers of the engine, when connecting of the phases by "triangle" ($C_{work}=20,0$ μF, $C_{start}=30,0$ μF), defined by the formulas [5] given by the fact that the phase current should not exceed nominal (1.2 A) value at maximum speed and maximum static load. The static characteristic of the fan is described by the known dependence of the torque M from speed ω : $T = T_i + k\cdot\omega^2$, where the idling torque $T_i=0,06$ Nm, and the coefficient of viscous friction $k=1,21\cdot 10^{-4}$ Nm·s²/rad².

The transient processes of the condenser fan induction motor start are shows in Fig. 1.

At time $t=0,15$ s starting capacity C_{start} is disconnected and only operating capacitor remains connected to the engine.

Graphs of voltage and current consumed by the three-phase condenser motor from single-phase network in this mode are shown in Fig. 2.

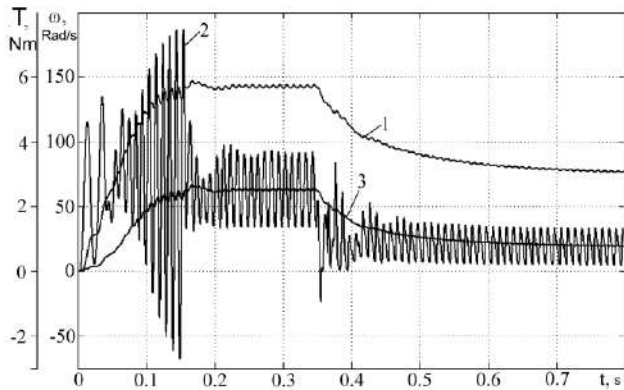


Fig. 1 – Process of the start and exit at a lower speed in the system of CTR with voltage regulator:
1 – fan speed, 2 – torque, 3 – static torque

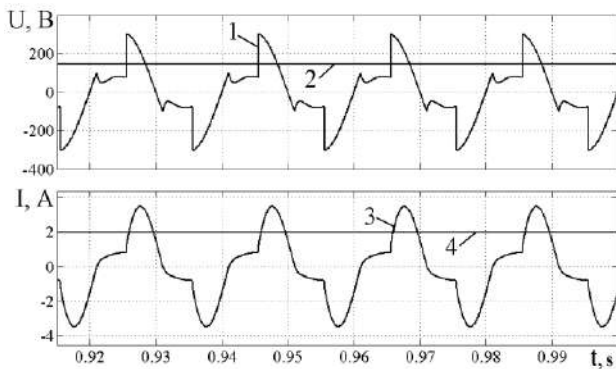


Fig. 2 – The reduced speed area:
1 and 2 – instantaneous and effective voltage values on the engine; 3 and 4 – instantaneous and effective consumption network current values

The obvious conclusion about a very low power factor [4] of the system with a voltage regulator should be from the analysis of the motor consumption current shape, that almost impossible to improve by simple means in the circuit.

In addition, a significant torque pulsations (Fig. 1) in the steady state with the likely heating coils, the inability to work with a nominal load installed for three-phase motor, speed pulsations causing increased fan noise allow to doubt not only the price of the offered products but also the feasibility of proposed solutions using for motors by more than 15 to 20 W.

It is obvious that due to the relatively high prices the use of industrial frequency converters usually with redundant functional service capabilities and that need a speed control range of not more than 2...3 with engine power up to 500 W for CTR is inappropriate.

A lot of possible technical solutions are revealed for making of the controllable electric drives of the CTR systems for example based on [5]. One of the simplest variants of the CTR concept realization is the three-phase frequency converter with a DC circuit [6] and single-phase bridge controlled or half-controlled rectifier.

It is assumed that the frequency of the converter is constant (50 Hz), and the control signals act only on the rectifier bridge for the purpose of physical implementation as simple as possible and therefore inexpensive and reliable three-phase system CTR.

For the same, as described above, CTR system functioning conditions will be compared using simulation with the voltage regulation system with capacitor motor and electric drive, which is based on the frequency converter and controlled rectifier.

Some system simulation results with the frequency converter are shown in Fig. 3.

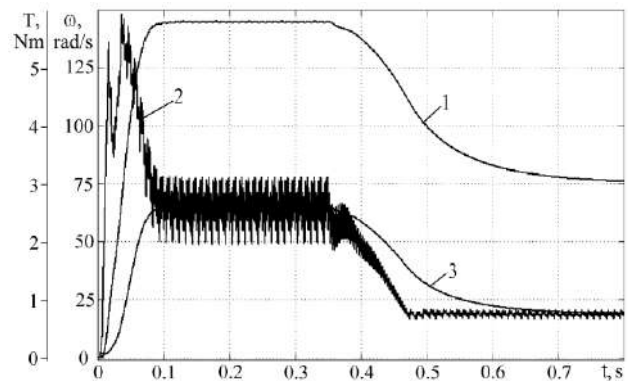


Fig. 3 – Process of the start and exit at a lower speed in the system of CTR with frequency converter:
1 – fan speed, 2 – torque, 3 – static torque

At time $t = 0.35$ s. is being formed a control angle of the rectifier bridge and steady-state speed is provided circa 75 rad/s.

Voltage graphs on the phase and phase consumption current at steady low speed are shown in Fig. 4. The network current shape is similar to the given one [7].

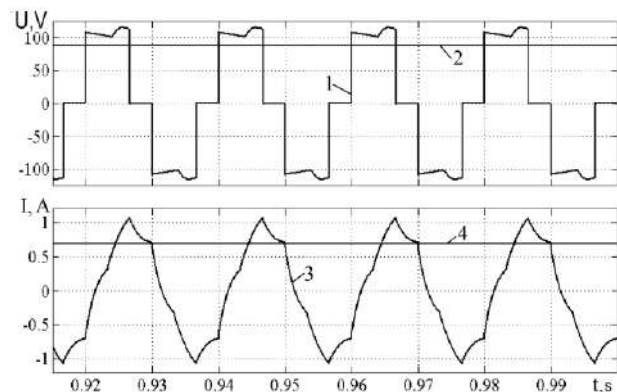


Fig. 4 – The reduced speed area by the system of CTR with frequency converter working:
1 and 2 – instantaneous and effective voltage values on the engine; 3 and 4 – instantaneous and effective phase current values

If it considers the additional possibility of the installation the power factor active correction device [8] after the controlled rectifier that the price of the considered system CTR could not exceed 60 USD of the equivalent terms, in the serial production in Ukraine, while CTR network current will be almost sinusoidal.

Control systems of water cooling condenser (refrigeration units with medium and high capacity)

There are different types of the pressure regulators of the water cooling condenser. The most popular types are controlled pumps of cooling water, or controlled by the individual actuator of the turning valves.

All known stabilization systems have one general lack. It is the support (stabilization) of a predetermined and fixed condensing pressure, regardless of the fact that the air or water cooling temperature can significantly decrease in real conditions.

Typical functional and structural scheme of the condensing pressure control circuit is shown in Fig. 5,a,b.

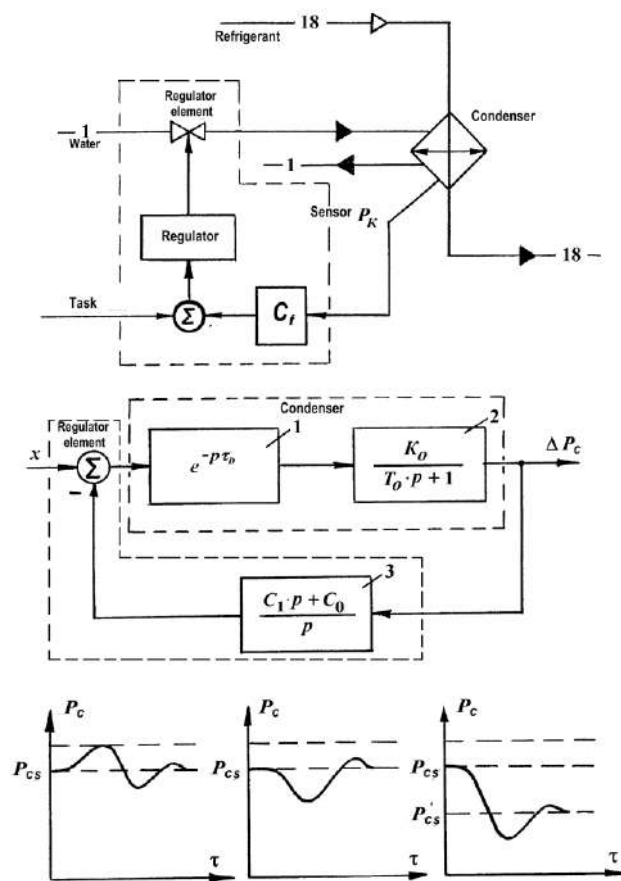


Fig. 5 – Functional (a) and structure (b) scheme of the condensing pressure control system and processes of the condensing pressure regulation (c, d, e)

However, according to the control method by scheme that shown in Fig. 5, there is a significant lack, which consists in the following. It is known that the reducing of the condensing pressure P_c of the refrigerant

corresponds to a decrease of the power consumption by the refrigeration unit compressor. According to various literature sources [9-10], reduction of the condensing temperature (or condensing pressure) refrigerant on 1°C leads to the reduction of costs of electric power from 1.5 % to 4 % while cooling capacity Q_0 is increasing. These positive properties are explained by the reduction of the load on the compressor that delivers the refrigerant overheated pair in the condenser. Obviously, the reduction of the condensing pressure value can be caused by an increase of the flow of cooling water and (or) decrease of its temperature. Condensing pressure increases that leads to the reduction of the flow and (or) increase of the water temperature in the control system that shown in Fig. 5. The regulator opens the actuator to a larger angle; thereby it increases of the cooling water flow. The previous increased condensing pressure value P_c decreases and stabilized on the level of the set pressure P_{cs} in the plot (Fig. 5, c).

A dynamic process will proceed similar to described one, when it is flow increase and (or) temperature reduction of the cooling water (Fig. 1, d).

In last case, the condensing pressure could be reduced due to the existence of excess energy of water to the level P'_{cs} , but the regulator stabilizes the pressure P_c at a fixed pre-specified level P_{cs} and eliminates the positive effect of external disturbances from an energy point of view.

Thus, there are unused possibilities of more energy-efficient ways to regulate the condensing pressure in the ship's refrigeration systems, which are equipped with water cooling condensers.

The first way allows at the expense of the additional feedback insertion of cooling water flow G and the temperature t to reduce the condensing pressure according to the changes of the disturbance namely increasing flow and (or) reduction the temperature of the water. Structural scheme of such system of the condensing pressure regulation with additional feedback connections is shown in Fig. 6.

The system consists of a cold water circuit (regulation object), regulator and negative feedback sensor on the pressure with feedback transfer coefficient K_f . As can be seen from the figure, two feedback connections are additionally included into this system through the regulator set input (except set signals U_s and the main pressure (temperature) feedback connection U_{fp}). The first feedback connection is used for water flow with a flow sensor WF . The second feedback connection is used for water temperature with the temperature sensor WT . The sensor signals balance at the zero level of the output voltage in the refrigeration unit operation nominal mode using the elements of comparison 2 and 3 and balancing voltages, U_{bG} and U_{bt} . That is, the output signals are following $U_1 = 0$ and $U_2 = 0$ in the refrigeration unit operation nominal mode. The output signals of the comparison elements U_1 and U_2 act in nonlinear blocks NB1 and NB2, which pick up sensor feedback connections signals of U_{fG} and U_{ft} .

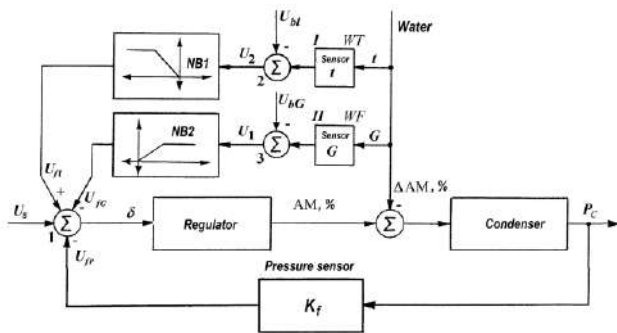


Fig. 6 – Structural scheme of the condensing pressure control with flow sensors BG and BT temperature of the cooling water

The resulting signal δ supplies to the regulator input, and its value is determined by the algebraic sum of the set signals and feedback connection:

$$\delta = U_s - U_{fp} - U_{fg} + U_{ft}$$

From this expression it is obviously that the regulation error δ , and hence the condensing pressure set value P_{cs} depends not only from the set voltage U_s at the input of the regulator but it could be reduced during operation process.

As can be seen in this figure, it is very important that during the system configuration the regulation of voltage balancing U_{bG} , U_{bt} and dependencies of the nonlinear blocks NB1 and NB2 to obtain such mode when feedback connections signals U_{fG} and U_{ft} equal zero during nominal water flow and temperature. If it is deviation from the nominal values of cooling water flow and (or) temperature that nonlinear blocks NB1 and NB2 will take effect.

Let the condensing pressure of the P_c was constant, unchanged value for a set level P_{cs} . In the case of reduction water flow relative to the nominal value voltage U_{sG} will remain equal to zero, because $U_1 < 0$ and a form of nonlinear dependence of the block NB1. As a result, the process of condensing pressure control will be similar to the processes in system which shown in Fig. 1, a, b. But with the increase in water flow, the voltage U_1 becomes greater than zero, and the signal U_{sG} will begin to be deducted from set value U_s , thereby reducing the value δ , and hence the static condensing pressure of the refrigerant (see Fig. 1, d). As described above, the regulation process of the condensing pressure will pass through the water temperature channel.

The plus sign at the adder input 1 means an increase of the resulting signal δ , and hence the flow of cold water by increasing of its temperature.

Sections "limitations" of the nonlinear characteristics of the blocks NB1 and NB2 are inset for limitation of the minimum value of the condensing pressure with a significant lowering of temperature or increase of flow of the cooling water.

The physical implementation of the proposed system is obvious. The standard measuring devices with analog electric signals are used as temperature and water flow sensors. Typical blocks of the direct current supply are sources of balancing voltages. The nonlinear blocks with the comparing elements might be operational amplifiers with suitable nonlinear correction. For modern refrigeration systems are also accepted software implementation of the automation system, including nonlinear dependencies realized by programmable controllers.

The second way of condensing pressure regulation admits the disconnection of the feedback circuit by the condensing pressure P_c . With such switching-on, the regulator will respond only to deviations P_c to the side more than P_{cs} , so it will respond on positive disturbances. If P_c is less than P_{cs} , the regulator feedback circuit breaks. The proposed control scheme (Fig. 7) in comparison with the known (see Fig. 5, a, b) differs with the additional logical block and a switch S . The last could be in position: "1" - the feedback system is closed and "2" - feedback system is open.

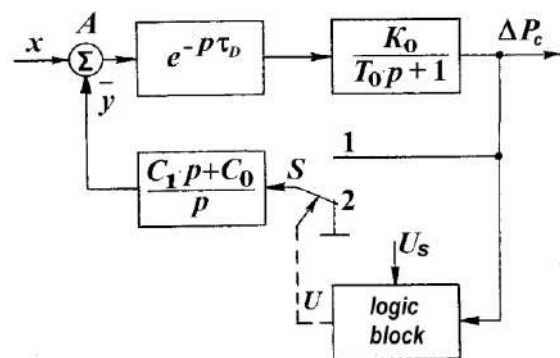


Fig. 7 – Structural scheme of condensing pressure control system with logical block

The position of the switch at any time moment depends on the output signal of the logic block U . The signal level is determined by the value P_c and can take one of two values (a logical zero or logical one).

Function rule of logic block is following:

$$U = 1, \text{ when } P_c > P_{cs},$$

$$U = 0, \text{ when } P_c < P_{cs}.$$

Setpoint actuation U_s of the logical block is regulated in the process of the system adjustment and changes the levels of switch actuation S .

The most efficient operation of the proposed system in such cases, when the refrigeration unit operates in significant deviations modes that significantly differ from the estimated modes. This position are illustrated by the dynamic processes graphs of the condensing pressure regulation (Fig. 8), constructed by using the *Matlab* environmental (1 – for system with conventional PI-controller, 2 – for system with an additional built-in logic block).

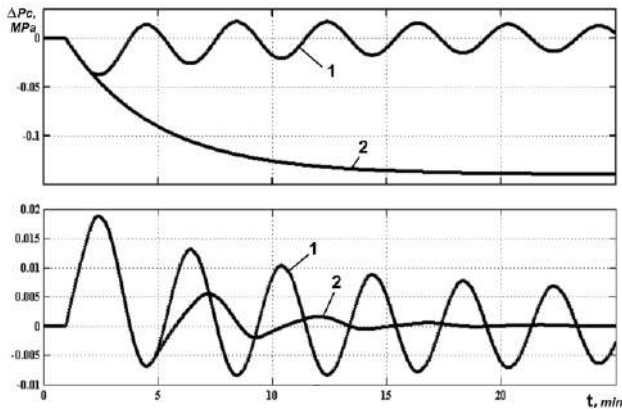


Fig. 8 – Condensing pressure stabilization processes in the shell-and-tube condenser (ΔP_c , MPa):
a) if perturbation is positive, b) if perturbation is negative;
1 – system with conventional PI-controller, 2 – system with an optional built-in logic block

Trawler ship refrigeration unit shell-and-tube condenser was modeled as the aperiodic link with a delay link

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o \cdot p + 1} \cdot e^{-p\tau_d},$$

and regulator has implemented proportional-integral (PI) control law [11]

$$W_R(p) = \frac{C_1 \cdot p + C_0}{\delta}.$$

The system control parameters are taken directly from the passport regulator PIC-6800 ship refrigeration units: $C_0 = 110\%$ AM/(MPa·min), $C_1 = 430\%$ AM/MPa.

The dynamic parameters of the condenser are defined by the calculation method and have the following meanings: $\tau_d = 0.98$ min, $T_o = 3.9$ min, $K_o = 0.014$ MPa for 1% of the actuator motion (AM) that is the regulated valve with electric actuator, which is installed on the water supplying pipeline to the condenser.

The perturbations $X = 5\%$ AM was introduced in both systems and the amount of deviation ΔP_c was registered, at the regulator constant setting and $P_{cs} = 0$ (deviation mode from the condensing pressure absolute set value) in the researched model [11–13]. Curve 1 shows that the regulating process in case of a positive perturbation flow tight, it is characterized by high frequency and significant amplitude of the condensing pressure fluctuations.

The time of the transition process and the degree of condensing pressure fluctuation is greatly reduced during the transition to the proposed scheme (curve 2). The frequency of pressure fluctuations was also decreased. Such character of the process explains by the ratio of the dynamic parameters of the condenser, regulator with logical block and their interaction which leads to the following.

During the transition process, when $P_c < P_{ci}$ (regulator is turned off), the value of ΔP_c has a positive value because of a delay in the system. As a result, the pressure P_c will grow and after some time it exceeds the set value (for the deviation mode it has zero meaning) and this will act to the regulator re-operation. This process will be repeated until then condensing pressure will not fix at a given value of P_{cs} , which is provided by the integral part of regulator.

It is obvious that if a large negative perturbation will go at the input of the proposed system, for example $X = -10\%$ AM, then the regulator will switch off the feedback circuit and the condenser pressure in a static mode will differ from the setpoint by the value

$$P_c = K_o \cdot X = 0.014 \cdot (-10) = -0.14 \text{ MPa}.$$

In this case, the condensing pressure is established at lower level and therefore the load on the compressor was decreased. For comparison, in the conventional system the stabilization process went to a fixed, predetermined pressure that is energetically unfavorable in such situation.

Matlab model of the system according to the shown scheme in Fig. 7 are fairly obvious, and its implementation on the analog element base is known [12]. Software implementation of control algorithm on the microcontroller of the refrigeration unit is also very simple and follows directly from the view in Fig. 7 schemes.

Thus, the developed block diagrams and simple algorithms of the condensing pressure regulation use the principles of partial invariance to main disturbances with elements of nonlinear correction and variable structure.

Conclusions

Hardware or software using of the proposed control algorithms improve the quality of dynamic processes. It was proved in the described examples with simulation of processes in shell-and-tube condenser KTP-300 of the ship refrigeration units and control systems for air condenser. This is especially obvious when it is the significant and frequent changes of thermal loads on ship refrigeration unit.

The resulting value of the getting energy effect is obvious, but requires further economic calculations for a specific refrigeration unit.

Список літератури

1. Желіба, Ю. О. Энергоэкономия при производстве та споживанні холоду / Ю. О. Желіба // *Холод. Монтаж + Технологія*. – 2004. – № 2. – С. 39-43.
2. Head Pressure Controllers [Електронний ресурс] / EDC International Ltd. – Режим доступу: \WWW/ URL: <http://www.edcpumps.com/upload/Operating-manual-Head-Pressure-Controller.pdf> – 27.08.2009 р.
3. Пат. US20150042260 A1 США, H02P 21/0035 (2013.01). Electrical solution for saving power and expenses / Harry N. Sturm (США); заявник и патентовласник Harry N. Sturm. – № US 14/382,655; заявл. 04.03.2013; опубл. 12.02.2015.

4. **Emadi, A.** *Advanced Electric Drive Vehicle* / **A. Emadi.** – Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. – 586 p.
5. **Онищенко, О. А.** Современный электропривод для систем холодильной техники / **В. И. Живица, О. А. Онищенко, И. Н. Радимов, и др.** // *Холодильная техника и технология.* – 1999. – № 64. – С. 112-116.
6. **Hughes, A.** *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* / **A. Hughes, B. Drury.** – [4 ed.] – Oxford: Newnes, 2013. – 440 p.
7. **Онищенко, О. А.** Повышение энергетического фактора вентильно-индукторных электроприводов / **О. Я. Карпович, О. А. Онищенко** // *Вестник НТУ «ХПИ».* – 2005. – № 45. – С. 400-404.
8. **Букарос, А. Ю.** Коректор коефіцієнта потужності для частотно-регульованого електроприводу / **А. Ю. Букарос** // *Східно-європейський журнал передових технологій.* – 2012. – Т. 57 № 3/8. – С. 4-8.
9. **Dossat, R. J.** *Principles of Refrigeration* / **R. J. Dossat, T. J. Horan.** – Noida: Pearson, 2010. – 454 p.
10. **Maurer, T.** *Kältetechnik für Ingenieure* / **T. Maurer.** – GmbH: VDE Verlag, 2016. – 575 p.
11. **Li, S. X.** Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer / **S. X. Li, J. S. Wang** // *Mathematical Problems in Engineering.* – 2015. – № 2015. – P. 1-9. – doi:10.1155/2015/120975.
12. **Онищенко, О. А.** Электропривод систем температуры конденсации холодильных установок / **О. А. Онищенко** // *Електромашинобудування та електрообладнання.* – 2006. – № 66. – С. 190-192.
13. **Онищенко, О. А.** Підвищення енергетичної ефективності суднових холодильних установок / **А. А. Лепський, О. А. Онищенко** // *Науково-технічна конференція молодих дослідників "Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт", Одеса.* – 2014. – С. 95-102.
- 3 **Harry, N. S.** Electrical solution for saving power and expenses. Patent US, no. US20150042260 A1, 2015.
- 4 **Emadi, A.** *Advanced Electric Drive Vehicle.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.
- 5 **Zhivica, V. I., Onishhenko, O. A., Radimov, I. N., et al.** Sovremennyy jelektroprivod dlja sistem holodil'noj tehniki [Modern electric drive for refrigeration units systems]. *Holodil'naja tehnika i tehnologija [Refrigeration engineering and technology]*, 1999, **64**, 112-116.
- 6 **Hughes, A., Drury, B.** *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications.* 4 ed. Oxford: Newnes, 2013.
- 7 **Karpovich, O. Ja., Onishhenko, O. A.** Povyshenie jenergeticheskogo faktora ventil'no-induktornyh jelektroprivodov [The power factor rising of the switched-relutrance electric drives]. *Visnyk NTU "KhPI" [Messenger of SI "KhPI"]*, 2005, **45**, 400-404.
- 8 **Bukaros, A. Ju.** Korektor koeficijenta potuzhnosti dlja chastotno-reghuljovanogho elektroprivodu [The power factor corrector of the frequency-controlled electric drive]. *Shkidno-jevropesjkyj zhurnal передових tehnologij [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]*, 2012, **3/8(57)**, 4-8.
- 9 **Dossat, R. J., Horan T. J.** *Principles of Refrigeration.* Noida: Pearson, 2010.
- 10 **Maurer, T.** *Kältetechnik für Ingenieure.* GmbH: VDE Verlag, 2016.
- 11 **Li, S. X., Wang, J. S.** Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, **2015**, 1-9, doi:10.1155/2015/120975.
- 12 **Onishhenko, O. A.** Jelektroprivod sistem temperatury kondensacii holodil'nyh ustanovok [Electric drive of the refrigeration units temperature condensing systems]. *Elektromashinobuduvannja ta elektroobladnannja [Electrical machinery and electrical equipment]*, 2006, **66**, 190-192.
- 13 **Onishhenko, O. A., Leps'kij, A. A.** Pidvishhennja energetichnoї efektyvnosti sudnovih holodil'nyh ustanovok [The energy efficiency raising of ship refrigeration units]. *Naukovo-tekhnichna konferencija molodykh doslidnykiv "Sudnovi energhetychni ustanovyky: ekspluatacija ta remont" [Scientific and technical conference of young researchers "Ship Power Plants: Maintenance and repair"]*, *Odesa*, 2014, 95-102.

Bibliography (transliterated)

Сведения об авторах (About authors)

Букарос Валерія Миколаївна – аспірант, Національний університет «Одеська морська академія», асистент кафедри технічної експлуатації флоту, м. Одеса, Україна; e-mail: eralife84@gmail.com.

Valeriya Mykolayevna Bukaros – Postgraduate Student, Assistant, Department of Fleet Operation and Maintenance, National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine; e-mail: eralife84@gmail.com.

Онищенко Олег Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Одеська морська академія», професор кафедри технічної експлуатації флоту, м. Одеса, Україна; e-mail: oleganaton@gmail.com.

Oleg Anatolyevych Onishchenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University "Odessa Maritime Academy", Department of Fleet Operation and Maintenance, Odessa, Ukraine; e-mail: oleganaton@gmail.com.

Налева Галина Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Одеська морська академія», доцент кафедри вищої математики, м. Одеса, Україна; e-mail: naleva_gv@mail.ru.

Galyna Vasylyvna Naleva – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Higher Mathematics, National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine; e-mail: naleva_gv@mail.ru.

Букарос Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, Одеська національна академія харчових технологій, доцент кафедри електротехніка і робототехніка, г. Одеса, Україна; e-mail: andrey.bucaros@gmail.com.

Andrii Yuriyovych Bukaros – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Electromechanics and Mechatronics, Docent, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine; e-mail: andrey.bucaros@gmail.com.

Please cite this article as:

Bukaros, V., Onishchenko, O., Naleva, G., Bukaros, A. Automation of the control processes of the refrigeration units condensers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 76–83, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.12.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Букарос, В. М. Автоматизация процесів керування конденсаторами холодильних установок / **В. М. Букарос, О. А. Онищенко, Г. В. Налева, А. Ю. Букарос**// *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 76-83. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.12.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Букарос, В. М. Автоматизация процессов управления конденсаторами холодильных установок / **В. М. Букарос, О. А. Онищенко, Г. В. Налева, А. Ю. Букарос** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 76-83. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.12.

АННОТАЦИЯ Методами имитационного моделирования проведён сравнительный анализ схемотехнических решений регуляторов температуры конденсации. Обоснована целесообразность реализации регулятора температуры конденсации на базе трёхфазного преобразователя частоты со звеном постоянного тока. Проведено исследование двух систем управления охлаждением водяных конденсаторов холодильных установок. Доказано, что использование предложенных алгоритмов управления позволит повысить энергетическую эффективность холодильных установок и качество динамических процессов управления при значительных колебаниях тепловых нагрузок.

Ключевые слова: холодильная установка; конденсатор; давление конденсации; регулятор температуры конденсации; система управления.

Поступила (received) 29.05.2017

УДК 510.635:004.891(045)

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.13

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕМПОРАЛЬНОЇ ЛОГІКИ ПРИ ПОБУДОВІ ФОРМАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОННИХ ТЕКСТІВ

А. І. ВАВИЛЕНКОВА

кафедра комп'ютеризованих систем управління, Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА
e-mail: vavilenkova@gmail.com

АНОТАЦІЯ Змістовний аналіз електронних текстових документів передбачає виявлення та встановлення логічних зв'язків між формальними моделями, якими описується зміст окремих частин – речень природної мови. Тому у статті проаналізовано засоби опису впорядкованості подій у часі, що базуються на темпоральній логіці, та запропоновано формальні правила та шаблони для автоматичного визначення часових рамок електронного текстового документу за рахунок відстеження ланцюжків тем і рем, тобто послідовності розгортання думки.

Ключові слова: логіко-лінгвістична модель; природна мова; темпоральна логіка; зміст; текст.

APPLICATION OF TEMPORAL LOGIC FOR CONSTRUCTION OF FORMAL MODELS OF ELECTRONIC TEXTS

A. VAVILENKOVA

Department of Computerized Control Systems, National Aviation University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The content analysis of electronic text documents involves identifying and establishing of logical links between formal models that describe the content of separate parts - the natural language sentences. Therefore, the purpose of the article is to develop formal rules and templates for the automatic determination of the time frame of an electronic text document by tracking themes and rhemes, that is, the sequence of unfolding (deployment) of thought. The study analyzes the existing means of setting the time frame in text documents based on temporal logic: first, to analyze the means of unfolding of thought in a text document, then to form the formal rules and templates to identify the thematic progress in electronic text documents. It is provided a geometric interpretation of three variants for template construction: for sequential unfolding of thought in the text, for one topic, which is repeated in each sentence of the text, and for the split topic. Unfolding thoughts in texts can take place in different ways, so the proposed rules and templates can be combined. If the constructed array of logic and linguistic models for the text fragment coincide with one of the types of the indicated templates, then it will be possible to automatically determine the nature of the unfolding of thought in this fragment. The article demonstrates an example of constructing one of the proposed templates for a text fragment. To Formulated formal conditions and developed templates are the basis for establishing content links in electronic text documents in general.

Keywords: logic and linguistic model; natural language; temporal logic; content; text.

Вступ

Змістовний аналіз електронних текстових документів передбачає виявлення та встановлення логічних зв'язків між формальними моделями, якими описується зміст окремих частин – речень природної мови [1]. Виявлення певних текстових прототипів, тобто зразків текстової побудови, є однією з операцій в типологічних дослідженнях текстів [2].

Структурний принцип організації довільного тексту ґрунтується на вживанні розділових знаків і пов'язаний зі змістовним принципом організації тексту, оскільки структурно значущі частини є одночасно і логічно значимими [3]. У зв'язку з цим при змістовному аналізі тексту необхідно враховувати ряд проблем, що виникають при визначенні предикативності, перерозподілу функціональної та інформативної значимості по мірі розгортання думки.

На сьогоднішній день для опису впорядкованості подій у часі використовується темпоральна логіка, тобто логічна система, що

дозволяє формалізувати твердження, істинність яких змінюється з часом, не вводячи явно поняття часу [4]. Приклад темпорального аналізу природної мови за Г. Райхенбахом можна відобразити у вигляді рис. 1 [5].

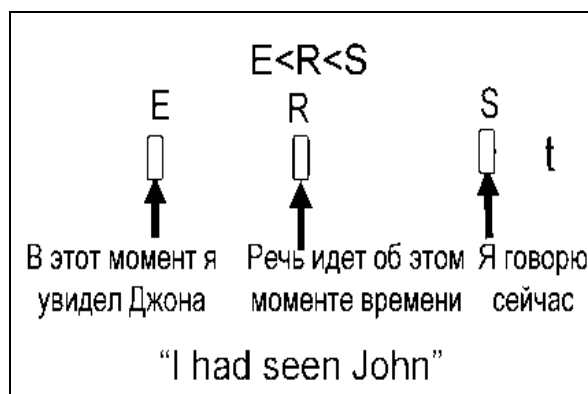


Рис. 1 – Приклад темпорального аналізу природної мови за Г. Райхенбахом

Тут R – точка референції, S – момент мови, E – час події або стану.

Темпоральну логіку можна також вважати одним із варіантів модальної логіки (логічної системи, в якій присутні модальні оператори), де оператор Fp означає "колись у майбутньому p виконається обов'язково", а Gp – "завжди в майбутньому буде виконуватися p ".

Наприклад, речення "Довільне відправлене повідомлення буде отримане" за допомогою модальних операторів буде представлено наступним чином:

$$G[\text{відправлене}(m) \Rightarrow F \text{отримане}(m)],$$

де m – означає "повідомлення".

Ще одним засобом простеження послідовності подій у текстових документах є логіка дерев обчислень, що базується на моделі Кріпке [6], де кожна вершина дерева відповідає за певний стан моделі, при цьому кожен наступний стан досягається лише із стану, з'єднаного з ним дугою (рис. 2) [7].

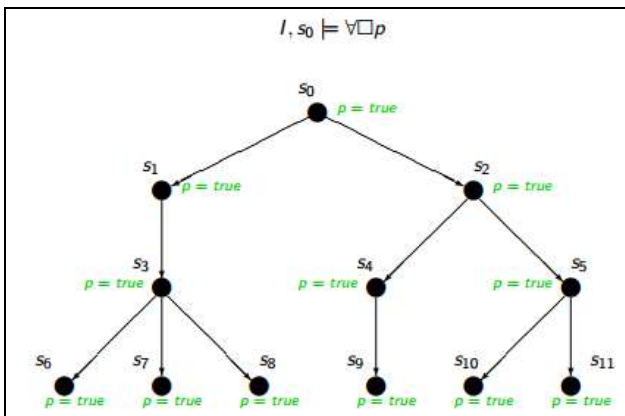


Рис. 2 – Приклад використання логіки дерев обчислень для опису послідовності подій

Проте для опису впорядкованості подій електронного тексту засобів темпоральної логіки не достатньо, так як існування певного тексту передбачає певну форму його організації, де розгортання думки відбувається від відомого до нового шляхом використання різноманітних засобів членування текстів. Саме на розробку формальних засобів виявлення впорядкованості подій в електронних текстових документах і спрямовані подальші дослідження.

Мета роботи

Метою роботи є розробка формальних правил та шаблонів для автоматичного визначення часових рамок електронного текстового документу за рахунок відстеження ланцюжків тем і рем, тобто послідовності розгортання думки. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань:

- дослідити засоби встановлення часових рамок у текстових документах;
- дослідити формальні можливості опису послідовності дій в електронних текстових документах;
- проаналізувати засоби розгортання думки в текстових документах;
- сформулювати формальні правила та шаблони для виявлення тематичних прогресій в електронних текстових документах;
- за сформульованими правилами побудувати один із запропонованих шаблонів на основі використання логіко-лінгвістичних моделей речень текстового фрагменту.

Викладення основного матеріалу

Для відображення у структурі наукового тексту концептуального часу повинні узгоджуватися два принципи: статичний (коли описуються деякі часові істини, правила та закони) та динамічний (коли описується певний експеримент, об'єкт або дія). Для кожного з принципів використовується певний набір мовних засобів. Рух часових форм забезпечує зв'язність тексту. При створенні темпоральної структури наукового тексту ключову роль відіграє дієслово або відношення, що являється основою формування логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови. Ядром функціонально-семантичної категорії темпоральності є мікросистема часових форм [8].

При цьому кожен текстовий фрагмент будується на основі певного типу тематичного зв'язку [9], комбінування яких забезпечує цілісність сприйняття тексту в цілому. За Ф. Данешом розрізняють п'ять типів абстрактних моделей, які лежать в основі побудови текстів [10]. На їх основі можна вивести логічні схеми (шаблони) формування змістовних зв'язків між реченнями природної мови.

Нехай текстовий фрагмент t представлено у вигляді масиву логіко-лінгвістичних моделей речень $t = \{L^1, L^2, \dots, L^S, \dots, L^{S_{N(t)}}\}$, кожна з яких має вигляд [11]:

$$L^S = \bigwedge_{z_{\rho} \in Z_{\rho}^{S_{\rho}}(x_{\rho}, g_{\rho}, y_{\rho}, q_{\rho}, h_{\rho})} \bigwedge_{r_{\rho} \in R_{\rho}^{S_{\rho}}(x_{\rho}, g_{\rho}, y_{\rho}, q_{\rho}, z_{\rho}, h_{\rho})} p_{\rho}(x_{\rho}, g_{\rho}, y_{\rho}, q_{\rho}, z_{\rho}, r_{\rho}, h_{\rho}).$$

Якщо для фрагменту тексту характерне **послідовне розгортання** думки, тобто нова інформація з попереднього речення стає темою для наступного речення, тобто об'єкти або предмети відношень кожного попереднього речення можуть виступати суб'єктами, об'єктами та предметами відношень кожного наступного. Виявлення можливих комбінацій передбачає створення шаблонів масивів логіко-лінгвістичних моделей типу:

$$t = \{L^1, L^2, \dots, L^S, \dots, L^{S_{N(t)}}\} = \{p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_1, h_1) \&$$

$$p_2(z_1, g_2, y_2, q_2, z_2, r_2, h_2) \& \dots \&$$

$$p_\delta(x_\delta, g_\delta, y_{\delta-1}, q_\delta, z_\delta, r_\delta, h_\delta) \& \dots \&$$

$$p_{N(t)}(z_{N(t)-1}, g_{N(t)}, y_{N(t)}, q_{N(t)}, z_{N(t)}, r_{N(t)}, h_{N(t)}) \&$$

Число створених шаблонів дорівнює кількості комбінацій із можливих компонентів логіко-лінгвістичних моделей, що підлягають заміні, у кожному наступному реченні, тобто $x_{\delta+1}, y_{\delta+1}$ або $z_{\delta+1}$ із кожного наступного на y_δ або z_δ попереднього. При цьому граматична характеристика часу для кожного із відношень логіко-лінгвістичних моделей однакова, тобто $h(p_1) = h(p_2) = \dots = h(p_\delta) = \dots = h(p_{N(t)})$.

Геометрична інтерпретація послідовного розгортання думки у тексті зображена на рис.3.

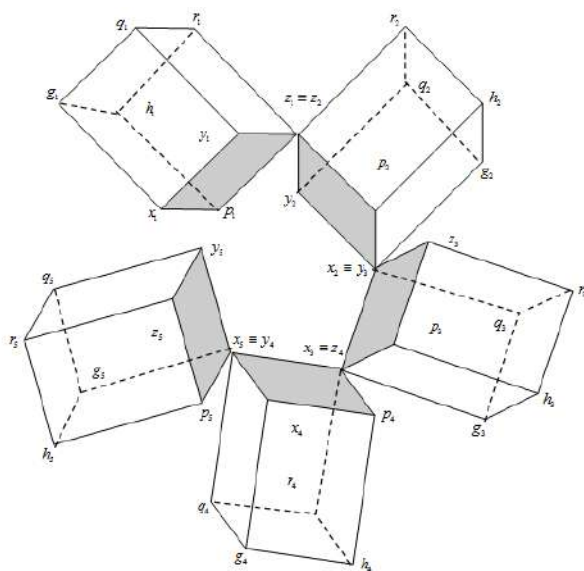


Рис. 3 – Геометрична інтерпретація послідовного розгортання думки у тексті

Якщо для фрагменту тексту характерна наявність **однієї теми, яка повторюється у кожному реченні тексту**, то для нього буде побудовано шаблон з масиву логіко-лінгвістичних моделей такого типу:

$$t = \{L^{S_1}, L^{S_2}, \dots, L^{S_\delta}, \dots, L^{S_{N(t)}}\} =$$

$$\{p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_1, h_1) \&$$

$$p_2(x_1, g_2, y_2, q_2, z_2, r_2, h_2) \& \dots \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$p_\delta(x_1, g_\delta, y_\delta, q_\delta, z_\delta, r_\delta, h_\delta) \& \dots \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$p_{N(t)}(x_1, g_{N(t)}, y_{N(t)}, q_{N(t)}, z_{N(t)}, r_{N(t)}, h_{N(t)})\}.$$

Компонентою, що буде присутня у логіко-лінгвістичних моделях всіх наступних речень

фрагменту може бути x_1, y_1 або z_1 із збереженням їх характеристик g_1, q_1 або r_1 відповідно.

Геометричну інтерпретацію для одного із можливих варіантів вживання теми, яка повторюється у кожному реченні тексту, показано на рис. 4.

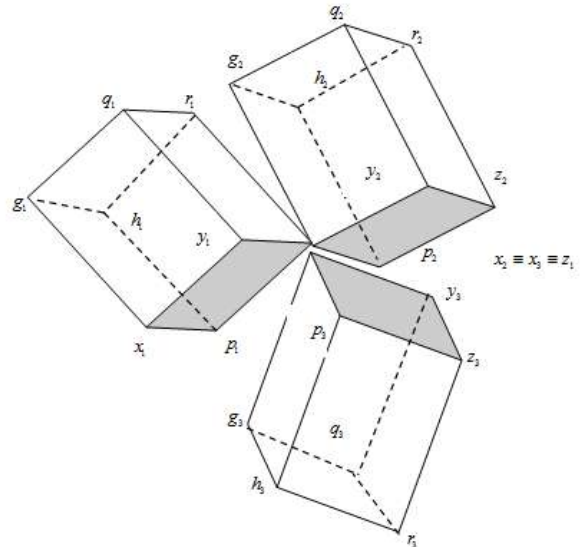


Рис. 4 – Геометрична інтерпретація варіанту вживання теми, яка повторюється в кожному реченні тексту

На відміну від першого шаблону, граматична характеристика часу для першого та всіх наступних речень не однакова, тобто

$$h(p_2) = \dots = h(p_\delta) = \dots = h(p_{N(t)}) = h(p_1) - 1 \text{ або}$$

$$h(p_2) = \dots = h(p_\delta) = \dots = h(p_{N(t)}) = h(p_1) + 1.$$

Якщо у фрагменті тексту **тема розщеплена**, тобто в декількох наступних реченнях присутні початкові точки, від яких думка розвивається далі, то шаблон з масиву логіко-лінгвістичних моделей буде мати наступний тип:

$$t = \{L^{S_1}, L^{S_2}, \dots, L^{S_\delta}, \dots, L^{S_{N(t)}}\} =$$

$$\{p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_1, h_1) \&$$

$$p_2(x_1, g_2, y_2, q_2, z_2, r_2, h_2) \& \dots \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$p_\delta(y_{\delta-1}, g_\delta, y_\delta, q_\delta, z_\delta, r_\delta, h_\delta) \& \dots \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$p_{N(t)}(y_{\delta-1}, g_{N(t)}, y_{N(t)}, q_{N(t)}, z_{N(t)}, r_{N(t)}, h_{N(t)})\}.$$

Компонентами логіко-лінгвістичних моделей, що можуть повторюватися в реченнях, від яких розвивається думка x_1, y_1 або z_1 , при цьому суб'єктом кожного наступного речення може бути відповідно $y_{\delta-1}$ або $z_{\delta-1}$. При цьому граматична характеристика часу співпадає з граматичною характеристикою часу відношення, від якого розвивається думка, тобто $h(p_{\delta-1}) = \dots = h(p_\delta) = \dots = h(p_{N(t)})$.

Геометричну інтерпретацію для одного із можливих варіантів вживання теми, що розщеплюється, показано на рис. 5.

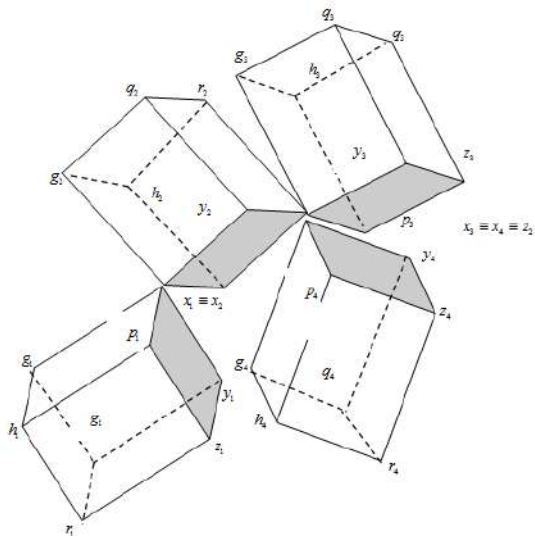


Рис. 5 – Геометрична інтерпретація варіанту вживання розщепленої теми

Розгортання думки в текстах може відбуватися різними шляхами, тому запропоновані правила та шаблони можуть комбінуватися. Відповідно, шаблони можна надбудувати.

Обговорення результатів

Нехай необхідно формально описати впорядкованість подій у часі для заданого текстового фрагменту: "Публіцистичний стиль займає проміжне місце між науковим і художнім стилями. Основним його призначенням є вплив на слухача або читача. У текстах публіцистичного стилю часто загальноживані слова набувають нового звучання".

По-перше, необхідно побудувати логіко-лінгвістичну модель текстового фрагменту, шляхом побудови логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови.

Логіко-лінгвістична модель речень для цього фрагменту буде мати вигляд:

$$t = \{L^{S_1}, L^{S_2}, L^{S_3}\} =$$

$$\{L^{S_1} = p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_{11}, h_1) \& p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_{12}, h_1),$$

$$L^{S_2} = p_2(x_2, g_{21}, y_2, q_2, z_2, r_2, 0) \vee p_2(x_2, g_{22}, y_2, q_2, z_2, r_2, 0),$$

$$L^{S_3} = p_3(x_3, g_3, y_3, q_3, z_3, r_3, h_3)\}.$$

$$t = \{L^{S_1}, L^{S_2}, L^{S_3}\} =$$

$$\{L^{S_1} = \text{займає(стиль, публіцистичний, місце, проміжне, стилем науковим, між)} \&$$

$$\text{займає(стиль, публіцистичний, місце, проміжне, стилем, художнім, між)}.$$

$$L^{S_2} = \epsilon(\text{вплив, слухача, призначенням, основним, стиль, публіцистичний, 0}) \vee$$

$\epsilon(\text{вплив, читача, призначенням, основним, стиль, публіцистичний, 0})$.

$L^{S_3} = \text{набувають(слова, загальноживані, звучання, нового, текстах, публіцистичного \& стилю, часто)}$.

Другим кроком є синтез логіко-лінгвістичних моделей речень, внаслідок чого елементи логіко-лінгвістичних моделей другого і третього речення заданого текстового фрагменту будуть замінені на відповідні елементи логіко-лінгвістичної моделі першого речення $z_2 \equiv x_1, r_2 \equiv g_1, r_3 \equiv x_1 \& g_1$, тобто:

$$t^{\gamma} = \{L^{S_1}, L^{S_2}, L^{S_3}\} =$$

$$\{L^{S_1} = p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_{11}, h_1) \& p_1(x_1, g_1, y_1, q_1, z_1, r_{12}, h_1),$$

$$L^{S_2} = p_2(x_2, g_{21}, y_2, q_2, x_1, g_1, 0) \vee p_2(x_2, g_{22}, y_2, q_2, x_1, g_1, 0),$$

$$L^{S_3} = p_3(x_3, g_3, y_3, q_3, z_3, x_1 \& g_1, h_3)\}.$$

Наступним етапом є визначення граматичних характеристик часу для відношень кожного з трьох речень: $h(p_1) = h(p_2) = h(p_3) = \text{теперішній}$.

Заключний етап – це звірка отриманого формального опису з запропонованими шаблонами. Рівність граматичних характеристик відношень, а також заміни, здійснені під час синтезу, дають змогу віднести заданий текстовий фрагмент до першого типу шаблону, що відповідає послідовному розгортанню думки.

Висновки

У статті наведено опис засобів, що використовуються сьогодні для простеження часу виконання подій в текстових документах та в основі яких лежить темпоральна логіка. Враховуючи те, що при створенні темпоральної структури наукового тексту ключову роль відіграють дієслова або відношення логіко-лінгвістичних моделей, автором запропоновано шаблони масивів таких моделей. Якщо побудований для текстового фрагменту масив логіко-лінгвістичних моделей буде співпадати з одним із типів наведених шаблонів, то можна буде автоматично встановити характер розвитку думки у даному фрагменті. Сформульовані формальні умови та розроблені шаблони є базою для встановлення змістовних зв'язків в електронних текстових документах в цілому.

Список літератури

1. **Graneheim, U.H.** Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness / **U.H. Graneheim, B. Lundman** // *Nurse Education Today*. – 2004. – Vol. 24, №2. – P. 105 – 112.
2. **Чернявская, З. Е.** Лингвистика текста: поликодовость, интертекстуальность, интердискурсивность / **Чернявская З. Е.** – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 248 с.
3. **Jurafsky, D.** Natural Language Processing / **D. Jurafsky, C. Manning**. – Stanford University, 2012. – Available at: <https://www.coursera.org/course/nlp/> – 15.05.2014.
4. **Lampert, L.** Specifying Systems: The TLA+ Language and

- Tools for Hardware and Software Engineers / **Lampport L.** – Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 2002. – 364 p.
- Карпов, Ю. Г.** Математическая логика и теория алгоритмов / **Карпов Ю. Г.** – Санкт-Петербургский политехнический университет. – Режим доступа: <http://dcn.icc.spbstu.ru>. – 24.12.2016.
 - Laroussinie, F.** On Model Checking Durational Kripke Structures / **F. Laroussinie, N. Markey, Ph. Schnoebelen** // *Foundations of Software Science and Computation Structures*. – 2002. – P. 264 – 279. – doi: 10.1007/3-540-45931-6_19.
 - Захаров, В. А.** Основы математической логики и логического программирования. – Режим доступа: <http://mk.cs.msu.ru/images/8/80/LectLog18.pdf>.
 - Geeraerts, D.** Cognitive linguistics: basic readings research / **Geeraerts D., Dirven R., John R.** – Berlin-New York: Publ. mouton de cruyter, 2006. – 486 p.
 - Evans, V.** Lexical concepts, cognitive models and meaning-construction / **V. Evans** // *Journal of Cognitive semiotics*. – 2006. – P. 73–107.
 - Филиппов, К. А.** Лингвистика текста: курс лекций / **Филиппов К. А.** – Спб.: Издательство С. – Петербургского университета, 2008. – 336 с.
 - Вавиленкова, А. И.** Основные принципы синтеза логико-лингвистических моделей / **А. И. Вавиленкова** // *Кибернетика и системный анализ*. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 176 – 185.
 - measures to achieve trustworthiness, *Nurse Education Today*, 2004, Vol.24, №2, 105 – 112.
 - Chernyavskaya, Z. E.** Lingvistika teksta: polikodovost', intertekstual'nost', interdiskursivnost', M., Knizhnuy dom "Librokom", 2009, 248p.
 - Jurafsky, D., Manning, C.** Natural Language Processing, Stanford University, 2012, Available at: <https://www.coursera.org/course/nlp/> – 15.05.2014.
 - Lampport, L.** Specifying Systems: The TLA+ Language and Tools for Hardware and Software Engineers, Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 2002, 364 p.
 - Karpov, U. G.** Matematicheskaya logika i teoriya algoritmov, Sankt-Peterburgskiy politexnicheskii universitet, Available at: <http://dcn.icc.spbstu.ru>.
 - Laroussinie, F., Markey, N., Schnoebelen, Ph.** On Model Checking Durational Kripke Structures, *Foundations of Software Science and Computation Structures*, 2002, 264 – 279, doi: 10.1007/3-540-45931-6_19.
 - Zaxarov, V.A.** Osnovu matematicheskoy logiki o logicheskogo programmirovaniya, Available at: <http://mk.cs.msu.ru/images/8/80/LectLog18.pdf>.
 - Geeraerts, D., Dirven, R., John, R.** Cognitive linguistics: basic readings research, Berlin-New York: Publ. mouton de cruyter, 2006. – 486 p.
 - Evans, V.** Lexical concepts, cognitive models and meaning-construction, *Journal of Cognitive semiotics*, 2006, 73–107.
 - Filippov, K. A.** Lingvistika teksta:kurs lekcziy, Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2008, 336 p.
 - Vavilenkova A. I** Osnovnye prinzipu sinteza logiko-lingvisticheskix modeley, *Kibernetika i sistemnyy analiz*, 2015, 51, № 5, P. 176 – 185.

Bibliography

- Graneheim, U.H., Lundman, B.** Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and

Відомості про авторів (About authors)

Вавиленкова Анастасія Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління; м. Київ, Україна; e-mail: vavilenkovaa@gmail.com.

Anastasia Vavilenkova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Computerized Control Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine; e-mail: vavilenkovaa@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вавиленкова, А. І. Застосування темпоральної логіки при побудові формальних моделей електронних текстів / **А. І. Вавиленкова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 84-88. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.13.

Please cite this article as:

Vavilenkova, A. Application of temporal logic for construction of formal models of electronic texts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 23 (1245), 84–88, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.13.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вавиленкова А. И. Применение темпоральной логики при построении формальных моделей электронных текстов / **А. И. Вавиленкова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 84-88. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.13.

АННОТАЦИЯ Содержательный анализ электронных текстовых документов предусматривает выявление и установление логических связей между формальными моделями, с помощью которых описывается содержание отдельных частей – предложений естественного языка. Поэтому в статье проанализированы способы описания упорядочивания событий во времени, которые основаны на темпоральной логике, и предложены формальные правила и шаблоны для автоматического определения временных рамок электронного текстового документа за счет отслеживания цепочек тем и рем, то есть последовательности развития мысли.

Ключевые слова: логико-лингвистическая модель; естественный язык; темпоральная логика; содержание; текст.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 621.3

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.14

ОНТОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ БІОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ

С.В. ВЕРБИЦЬКИЙ*, Д. А. ЛАРІН

Кафедра промислової електроніки, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, УКРАЇНА

*email: verbitskiy@bigmir.net

АНОТАЦІЯ Описано перспективи використання переносних бездротових давачів для моніторингу життєво важливих показників організму. Запропоновано концепцію платформи для обробки та аналізу біометричних даних і взаємодії з мережевими вузькоспеціалізованими сервісами, що надають рекомендації щодо підтримання здоров'я на належному рівні, профілактики та лікування захворювань і прогнозування їх розвитку. Наведено принцип побудови системи, що базується на створенні онтологічної бази знань, що в компактній формі на основі вимірних числових біометричних даних описує стан здоров'я людини на основі та дає змогу на основі їх числових параметрів описати стан людини.

Ключові слова: моніторинг; бездротові мережі давачів; веб-сервіс; персональна система охорони здоров'я; онтологія.

ONTOLOGICAL ANALYSIS OF BIOMETRIC DATA

I. V. VERBYTSKYI, D. A. LARIN

The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Development perspectives of wearable wireless sensors for monitoring health parameters are described. Possibility disease diagnostic improving with continuous noninvasive health monitoring with wireless sensors is shown. Automatisation diagnostic benefits in decreasing diagnostic time, cost and eliminating human factor is underlined. Specialized medical online software for disease diagnostic based on symptoms analysis are reviewed. A problem of biometric numerical data arrays transform to medical symptoms is shown. Platform conception for biometric data processing, analysis, and interaction with specialized network services of health support recommendation, prophylaxis, and treatment of diseases and its prediction is proposed. Integration numerical data arrays into contextual data are proposed. Contextual data classes of human health based on temperature, cardiogram, and pulse are developed. A principle of system design based on the ontological knowledge base, which allows describing the human health state in a compact form with measured numerical biometric data is described. Classes of the ontological database are proposed. Numerical data classification for temperature, cardiogram and pulse is developed. The four layer structure of rule based on context types for human health estimation is proposed. Rules based on expert knowledge are developed. A rule example for otr classification is developed. The principle of choosing the most reliable scenario is proposed. Software platform interaction with different health supporting web-service is described. Data collection and processing features are considered.

Keywords: monitoring; wireless sensor networks; web-service; personal system of health protection; ontology.

Вступ

Останні технологічні досягнення в області розробки медичних давачів, збільшення енергоефективності бездротових систем передавання даних та збільшення енергоємності хімічних джерел струму дозволили розробити портативні системи моніторингу стану здоров'я людини [1-4], які можуть докорінно змінити систему діагностики найбільш поширеніших захворювань людини – гіпертонії, цукрового діабету, інфаркту і т.д за допомогою неінвазивного, безперервно моніторингу стану організму і можливості отримання лікарської консультації в режимі онлайн. На даний момент вже розроблено ряд програмно-апаратних комплексів для моніторингу здоров'я та діагностування хвороб, які за ефективністю не поступаються кваліфікованому фахівцю [5-6]. Як правило вони використовуються в медичних закладах, оскільки взаємодія з ними

вимагає певних знань в області медицини, якими не володіють самі пацієнти.

За умови створення платформи для обробки біометричних даних медичних давачів та перетворення її у необхідний формат, призначений для конкретного медичного інтернет-сервісу з'являється можливість для створення повністю автоматизованої системи моніторингу особистого здоров'я без залучення допомоги медичних фахівців, що дозволяє підвищити рівень виявлення хвороб на ранній стадії і зменшити навантаження на медичні заклади.

Ціль роботи

У статті пропонується один з можливих реалізацій запропонованого сервіс-орієнтованого підходу, який передбачає створення системи збирання, інтеграції, обробки та акумулювання біометричної інформації та взаємодії з

різноманітними онлайн-сервісами для аналізу, постановки діагнозу та консультування на основі зібраних та оброблених даних [7].

Основний матеріал

Структурна схема функціонування пропонованого сервіс-орієнтованого підходу зображена на рис. 1. Серед людських систем органів, найпростішою для діагностики та важливою з точки зору можливих ускладнень здоров'я є кровоносна, що складається з серця та двох кіл кровообігу. Тому ця система обрана як приклад для опису пропонованої платформи.

Як основні параметри, за якими проводиться

у компактній несуперечливій формі, для чого часто онтологічні бази знань [13,14].

Онтологія – це модель, яка визначає і об'єднує релевантні інформаційно - логічні та функціональні аспекти, які описують гетерогенні джерела даних. Використання онтології дозволяє формувати знання експертів у вигляді продукційних правил та ефективно використовувати їх для надання рекомендацій користувачеві [15,16].

Перевагою онтологій як збору знань є формальна структура, яка дозволяє спростити їх комп'ютерну обробку. У даному випадку використання онтології, дозволяє обробляти складну, різноманітну та неструктуровану інформацію, що збільшує ефективність розпізнавання семантичних



Рис. 1 – Структура роботи пропонованого підходу

моніторинг стану людини часто використовують температуру, артеріальний тиск та дані електрокардіограми (ЕКГ). Основна задача запропонованого підходу – обробити виміряні даними часові ряди даних та представити їх у формі контексту [8], що спрощує процедуру формування запитів для спеціалізованого веб-сервісу визначення стану здоров'я людини.

Контекст дозволяє описати можливі стани людини з використанням апарату дескриптивної логіки [9] у формі триплетів параметр-атрибут-значення, наприклад «Тиск: систологічний := критичний». Основні типи та види контексту, які використовуються в інтелектуальних системах керування, описані в роботах [10-12]. Використання контексту зменшує обсяг оброблюваних та вимірюваних даних, підвищує достовірність встановленого діагнозу та дозволяє використовувати знання експертів для його встановлення у виді правил.

Для цього доцільно визначити інформаційно - логічні і функціональні зв'язки між вимірними даними та станом здоров'я людини та представити їх

відмінностей контекстних даних. Також за допомогою редакторів онтології можливо створити підтримку багатокористувацького режиму та підтримку віддаленого доступу через Інтернет.

Процедура обробки даних у онтологічній базі знань складається з наступних етапів:

1. Знаходження найбільш подібного прецеденту до поточної стану здоров'я людини з набору збережених даних.
2. Повторне використання обраного прецеденту для більш швидкого вибору онтологічного елементу.
3. Аналіз та адаптація отриманого рішення.
4. Збереження адаптованого рішення, як частину нового прецеденту в базі знань.

Онтологічна база знань складається з трьох відносно незалежних компонент: онтології стану людини (OntoMain), знанням експертів, які описуються у онтології та продукційних правил (OntoRules), які використовуються для керування системою на основі онтологічних прецедентів (OntoRpe).

$$OntoBD = \langle OntoMain, OntoRpe, OntoRules \rangle. \quad (1)$$

Основний зміст онтологічної бази знань відображено в фактах і аксіомах, які містять інформацію про класи і атрибути, які наведені у табл. 1. На основі цих даних формується основна онтологія (OntoBD), яка містить у собі основні класи контексту, що зображена на рис. 2.

Таблиця 1 – Основні класи онтологічного аналізу біометричних даних

Основні класи онтологічного аналізу біометричних даних	Ім'я та опис
	Користувач – клас основних атрибутів про користувача.
	Стан – класі даних про можливі стани організму і серцевого м'яза користувача.
	Параметри – клас про біометричні параметри і особливі характеристики користувача.
	Біометричні дані - клас про біометричні показники: артеріальний тиск (АТ), електричну кардіограму (ЕКГ), температури (Т), частотно-серцеві скорочення (ЧСС) користувача.

OntoBD побудована відповідно до загальних вимог, які висуваються до проектування онтологій [11] і має таку структуру:

$$Onto = \langle C, I, R, V, A \rangle, \quad (2)$$

де Onto – онтологія, С – класи онтології, І – екземпляри класів онтології, R = { W, S, P }, V – значення атрибуту - параметр контексту (Рис.4), А – продукційні правила OntoRules, W – парадигматичні

відношення, S – синтагматичні відношення, задані дескриптивною логікою, Р – властивості класів або екземплярів, рис. 2.

Для наповнення продукційних правил, створених експертами числовими контекстними даними, використовуються прецеденти, тобто набори контекстних даних, які характеризують і описують роботу джерела даних, що мали місце раніше і можуть бути адаптованими та повторно використаними в поточному режимі роботи. Правила формуються за допомогою класів онтології та взаємозв'язків між ними табл. 1, вони складають концептуальну структуру онтологічної бази знань, рис. 3, яка описується контекстними даними та їх атрибутами, табл. 2.

Таблиця 2 – Чисельна класифікація контекстних даних

Тип контексту	Вид контексту	Чисельне значення
Температура	Критична	0 - 32 / 40 - ∞
Температура	Підвищена	38 – 40
Температура	Вище норми	36.6 – 38
Температура	Норма	36 - 36.6
Температура	Нижче норми	34 – 36
Температура	Знижена	32 – 34
Пульс	Критичний	0 - 20 / 180 - ∞
Пульс	Підвищений	120 - 180
Пульс	Вище норми	75 – 120
Пульс	Норма	55 – 75
Пульс	Нижче норми	40 – 55
Пульс	Знижений	20 – 40
АТ (систоличний)	Критичний	0 – 45 / 120 - ∞
АТ (систоличний)	Підвищений	90 – 120
АТ (систоличний)	Норма	70 – 90
АТ (систоличний)	Знижений	45 – 70
АТ (діастолічний)	Критичний	0 – 80 / 160 - ∞
АТ (діастолічний)	Підвищений	130 – 160
АТ (діастолічний)	Норма	110 - 130
АТ (діастолічний)	Знижений	80 – 110

Процес обробки даних відбувається на основі правил, які мають чотирирівневу структуру і зв'язують окремі факти логічними зв'язками. При цьому формування діагнозу розглядається як певна послідовність дій – сценарій, який створюється на основі експертних знань. Структура логічних правил має такий формат:

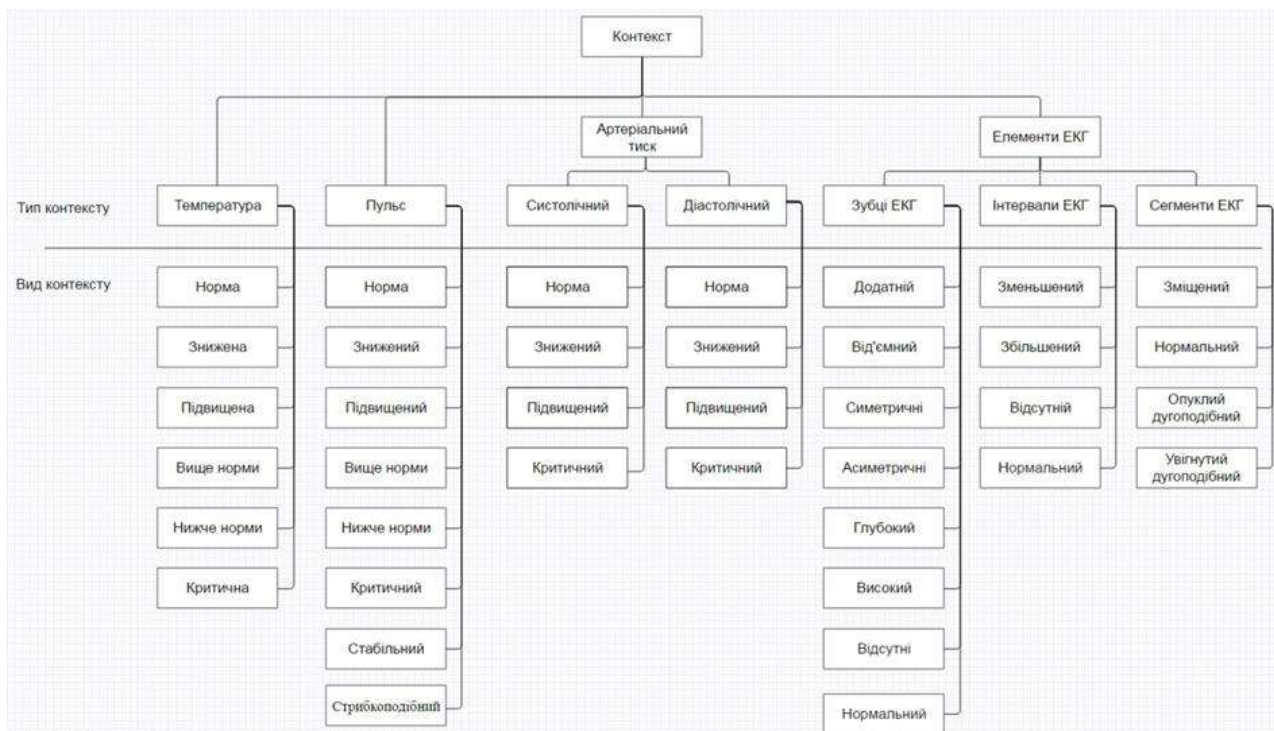


Рис. 2 – Класифікація контекстних даних

Якщо <загальна умова, сформовано на основі обробки часових рядів біометричних даних> T_0 <формування сценарію керування >

Процедура виведення правил з вибору сценарію формується на основі графа, який може бути визначений сукупністю наступних рівнів:

$$G = \langle D, U, L, R \rangle, \tag{3}$$

- перший рівень D – атрибути даних;
- другий рівень U – умови використання даних, обмеження значень їх параметрів;
- третій рівень L – логічні оператори;
- четвертий рівень R – правила опису поточного стану здоров'я людини.

Завдяки запропонованому підходу можливо обробити окремо кожний життєво важливий показник відповідно до запропонованої моделі. Якщо для одного з можливих показників може бути виконано декілька сценаріїв, то серед них обирається найбільш вірогідний на основі обчислення міри подібності:

$$Sim_{i-s-a}(c_i, c_j) = \frac{|C_s(c_i) \cap C_s(c_j)|}{|C_s(c_i) \cup C_s(c_j)|}, \tag{4}$$

де $C_s(c_i)$ – множина класів в онтології $OntoMain$; c_i, c_j – класи в онтологіях $OntoMain$ і $OntoRpe$, які входять в множину C онтології $OntoRules$; R – відношення між класами онтології.



Рис. 3 – Концептуальна структура онтологічної бази знань

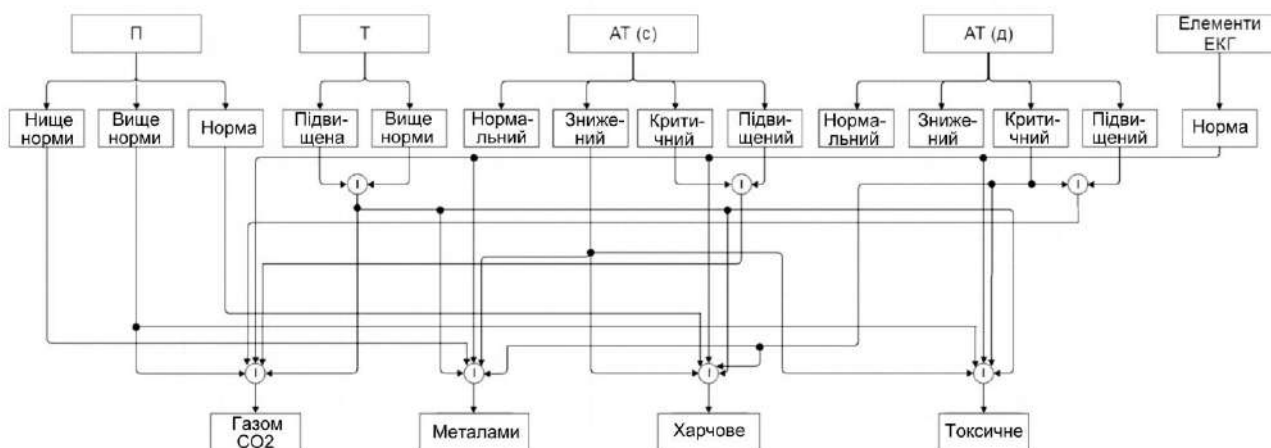


Рис. 4 – Правило на основі знань експертів для визначення типу отруєння

На рис. 4 показано правило побудоване на основі знань експертів правило для визначення типу отруєння, що дозволяє перейти від цифрових характеристик тиску, температури та крадіограми до якісного визначення стану людини, який придатний для формування запитів до вебсервісу та отримання розгорнутого діагнозу з подальшими рекомендаціями щодо лікування. Вказаний підхід дозволяє використовувати різні спеціалізовані онлайн програми, накопичувати інформацію про стан кожної людини та відстежувати результативність лікування.

Висновки

У статті запропоновано підхід формування контексту стану здоров'я людини на основі вимірювання числових рядів даних та перетворення їх у контекст, що спрощує формування запиту для спеціалізованих онлайн сервісів визначення стану здоров'я певної системи організму. Вказаний підхід дозволяє аналізувати стан здоров'я людини та відстежувати результативність лікування.

Список літератури

- 1 Walsh, M. Watson's Clinicak Nursing and Related Sciences / M. Walsh, 2007.
- 2 Richmond, P. C. Estimation of Multiphase Flow Functions From Displacement Experiments / P. C. Richmond, A. T. Watsons // Society of Petroleum Engineers. – 1990. – 5. – 1. – P. 121-127. – doi:10.2118/18569-PA.
- 3 Watson, M. Development of a questionnaire measure of adjustment to cancer: The MAC scal / M. Watson, S. Greer, J. Young, Q. Inayat, C. Burgess, B. Robertson // Psychological Medicine. – 1988. – № 18(1). – P. 203-209. – doi:10.1017/S0033291700002026.
- 4 Janet, E. Joy. Marijuana and Medicine: Assessing the Science Base / E. Joy Janet, J. Watson, Jr. Stanley, A. Benson John // Institute of medicine. – 1999. – 288 p.
- 5 Online - diagnostics [Electronic resource]. – 2016. – Source: <http://online-diagnos.ru/diagnostics>.
- 6 Diagnosis of diseases [Electronic resource]. – 2016. – Source: <http://simptomus.ru>.

- 7 Prywes, M. G. Human Anatomy / M. G. Prywes, N. K. Lysenkov, V. I. Bushkovich // St. Petersburg: Hippocrates, 2001. – 704 p.
- 8 Dey, A. K. Understanding and Using Context / A. K. Dey // Personal and Ubiquitous Computing J. – 2001. – 5. – 1. – P. 4-7. – doi: 10.1007/s007790170019.
- 9 Pomerol, J.-Ch. About Some Relationships between Knowledge and Context / J.-Ch. Pomerol, P. Brezillon // Modeling and Using Context (CONTEXT-01), Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag. – 2001. – P. 461-464. – doi: 10.1007/3-540-44607-9_44.
- 10 Brezillon, P. Context in Problem Solving: a Survey / P. Brezillon // The Knowledge Engineering Review. – 1999. – Vol. 14. – № 1. – P. 1-34. – doi: 10.1017/S0269888999141018.
- 11 Вербицький, С. В. Контекстно-залежне керування автономними системами електроживлення / С. В. Вербицький, А. Г. Кисельова, К. С. Осипенко // Під загальною редакцією д.т.н. Жуйкова В.Я. – К.: Аверс, 2015. – 187 с.
- 12 Russell, S. Artificial intelligence: a modern approach / S. Russell, P. M. Norvig // The Williams Publishing House, 2006. – 1408 p.
- 13 Verbitskiy, I. V. Context approach for electric grid control / I. V. Verbitskiy, A. G. Kyselova. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях – 2016. – 18(1190). – С. 123-127. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.18.18.
- 14 Kyselova, A. Context data analysis for microgrid control system / A. Kyselova // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2013. — № 58. — С. 46-50.
- 15 Васильев, В. И. Интеллектуальные системы управления с применением нейросетей / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов, С. С. Валеев, С. В. Жернаков // Учебное пособие. Уфа: УГАТУ. – 1996.-80с.
- 16 Tenz, A. A logical approach to artificial intelligence: From modal logic to the logic of databases: Per. With frants / A. Tenz, P. Grnbomop, G. Julien // The World. – 1998.- 494 p.

Bibliography (transliterated)

- 1 Walsh, M. Watson's Clinicak Nursing and Related Sciences, 2007.
- 2 Richmond, P. C., Watsons, A. T. Estimation of Multiphase Flow Functions From Displacement Experiments. Society of

- Petroleum Engineers*, 1990, **5**, 1, 121-127. – doi:10.2118/18569-PA.
- 3 **Watson, M., Greer, S., Young, J., Inayat, Q., Burgess, C., Robertson, B.** Development of a questionnaire measure of adjustment to cancer: The MAC scal. *Psychological Medicine*, 1988, **18**(1), 203-209. – doi: 10.1017/S0033291700002026.
 - 4 **Janet, E. Joy, Watson, J., Stanley, Jr., John, A. Benson.** Marijuana and Medicine: Assessing the Science. *Institute of medicine*, 1999, 288 p.
 - 5 Online - diagnostics [Electronic resource]. – 2016. – Source: <http://online-diagnos.ru/diagnostics>.
 - 6 Diagnosis of diseases [Electronic resource]. – 2016. – Source: <http://simptomus.ru>.
 - 7 **Pryves, M. G., Lysenkov, N. K., Bushkovich, V. I.** Human Anatomy. *St. Petersburg: Hippocrates*, 2001, 704 p.
 - 8 **Dey, A. K.** Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing J.* 2001, **5**, 1, 4–7. – doi: 10.1007/s007790170019.
 - 9 **Pomerol, J.-Ch., Brezillon, P.** About Some Relationships between Knowledge and Context. *Modeling and Using Context (CONTEXT-01)*. Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, 2001, 461–464. – doi: 10.1007/3-540-44607-9_44.
 - 10 **Brezillon, P.** Context in Problem Solving: a Survey. *The Knowledge Engineering Review*, 1999, **14**, 1, 1–34. – doi: 10.1017/S0269888999141018.
 - 11 **Verbytskyi, I. V., Kyselova, A. G., Osypenko, K. S.** Power grid context-aware control. Edited by Juikov V.J – K.: *Avers*, 2015, 187 p.
 - 12 **Russell, S., Norvig, P. M.** Artificial intelligence: a modern approach. *The Williams Publishing House*, 2006, 1408 p.
 - 13 **Verbitskyi, I. V., Kyselova, A. G.** Context approach for electric grid control. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18**(1190), 123-127. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.18.18.
 - 14 **Kyselova, A.** Context data analysis for microgrid control system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Informatics, control and IT technique*, 2013, **58**, 46-50.
 - 15 **Vasilyev, V. I., Pyasov, B. G., Valyeev, S. S., Jernakov, S. V.** Intelligent control systems with fuzzy logic. *Tutorial. Ufa: UGATU*, 1996, 80 p.
 - 16 **Tenz, A., Grnbomop, P., Julien, G.** A logical approach to artificial intelligence: From modal logic to the logic of databases: Per. With frants. *The World*, 1998, 494 p.

Дані про авторів (About authors)

Вербицький Євген Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри промислової електроніки, факультет електроніки, Київ, Україна; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Ievgen Verbytskyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Ларін Дмитро Анатолійович – студент кафедри промислової електроніки, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; e-mail: svk6c6zk1@gmail.com.

Dmytro Larin – student, The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: svk6c6zk1@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вербицький, Є. В. Онтологічний аналіз біометричних даних / **Є. В. Вербицький, Д. А. Ларін** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 89-94. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.14.

Please cite this article as:

Verbytskyi, I. V., Larin, D. A. Ontological Analysis of Biometric Data. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 89–94, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вербицкий, Е. В. Онтологический анализ биометрических данных / **Е. В. Вербицкий, Д. А. Ларин** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 89-94. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.14.

АННОТАЦИЯ Описаны перспективы использования носимых беспроводных датчиков для мониторинга жизненно важных показателей организма. Предложено концепцию платформы для обработки и анализа биометрических данных и взаимодействия с сетевыми узкоспециализированными сервисами, которые дают рекомендации по поддержке здоровья на надлежащем уровне, профилактике и лечения заболеваний, прогнозирования их развития. Приведено принцип построения системы, которая основывается на создании онтологической базы знаний, которая в компактной форме описывает состояние здоровья человека на основании измеренных биометрических данных и дает возможность на основании их числовых параметров описать состояние человека.

Ключевые слова: мониторинг; беспроводные сети датчиков; веб-сервис; персональная система здоровья человека; мониторинг.

Надійшла (received) 25.05.2017

УДК 004.9

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ ВЕБ-САЙТОВ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ WORDPRESS

И. Н. ЕГОРОВА^{1*}, А. А. ГЛАДКАЯ²

¹ кафедра МСТ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² кафедра МСТ, Харьков, УКРАИНА

*email: irinaiegorova@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье проведено исследование возможностей резервного копирования сайтов. Проведен анализ существующих плагинов. Предложен backup-плагин, разработанный на основе системы контроля версий GIT. Плагин позволяет осуществлять инкрементное и дифференциальное резервное копирование, восстанавливать backup из конкретной точки, а также автоматизировать процесс создания резервной копии посредством настройки расписания.

Ключевые слова: CMS; Wordpress; резервное копирование; плагины; облачные хранилища.

RESEARCH FOR BACKUP POSSIBILITIES OF WEBSITES CREATED IN WORDPRESS

I. IEGOROV^{1*}, A. GLADKAYA²

¹ department MST, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, UKRAINE

² MST, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT In order to simplify the process of creating and updating sites, content management systems (CMS) are used that provide the ability to jointly create, edit and publish content. One of the most popular CMS is WordPress. This article contains research details for backup possibilities of websites, developed in WordPress. Backup is the one of the essential components of site security. Backup is designed to restore data in case of loss or damage in the original location. Keeping only the development version is not sufficient, because the changes that are made to the site are often not reflected in its original version. Backing up sites involves creating a copy of the site's database or the site's file system. Backup should be performed regularly with frequency which is depending on the frequency of changes made to the site. To automate the backup process, special programs are used, as well as WordPress plugins that will allow to expand its capabilities.

The research of the possibilities of backing up Web sites developed with WordPress has made it possible to establish the main advantages and disadvantages of existing plug-ins for these purposes.

Existing backup plugins have been analyzed. None of the plugins considered allows to restore the backup from a specific point of time and can't do an incremental backup. The version control strategy is somewhat similar to the backup. Such systems allow you to track changes, and the files that led to the disruption of the site can be undone. Backup-plugin developed with GIT version control system is suggested in the article. Plugin allows to make incremental backup, restore backup from certain point of time and automate the process of backup creation with scheduling.

Keywords: CMS Wordpress; backup; plugins; cloud services.

Введение

Постановка проблемы. Современный Интернет наполнен огромным количеством различных сайтов. Проблема актуализации информации решается путем ее постоянного обновления. С целью упрощения процесса создания и обновления сайтов используют системы управления содержимым (CMS), которые предоставляют возможность совместного создания, редактирования и публикации контента. Одной из наиболее популярных CMS является WordPress. Несмотря на то, что изначально платформа WordPress создавалась для блоггинга, сейчас она используется для создания сайтов любой сложности и позволяет публиковать контент с помощью сторонних сервисов и программ.

Кроме самого процесса создания и поддержки сайта, очень важным является обеспечение его

безопасности. Сайты часто подвергаются взломам, DDoS-атакам, возникают технические неполадки на стороне хостинг-провайдеров, поломки оборудования - всё это может поставить под угрозу сайт. Одной из существенных составляющих безопасности сайта является резервное копирование.

Анализ последних исследований и публикаций. Резервное копирование (backup) - это создание копии данных на носителе, предназначенное для восстановления этих данных в случае их потери или повреждения в оригинальном месте расположения. Резервное копирование сайтов предусматривает создание копии базы данных сайта или файловой системы сайта. Резервное копирование бывает полным, дифференциальным и инкрементным [1-3].

Полное резервное копирование подразумевает создание полной копии сайта, которая включает файлы стилей, скриптов, различных документов и

базы данных. С помощью такой копии в случае поломки можно сразу восстановить сайт из резервной копии. Частичный backup - это создание копии определенной части сайта, например, базы данных.

Дифференциальное резервное копирование подразумевает создание новых копий только тех файлов, которые были изменены с прошлого процесса полного резервного копирования. При таком способе копирования старые файлы заменяются на новые измененные [4].

Инкрементное резервное копирование позволяет создавать резервную копию только тех файлов, которые изменились с момента последнего полного или инкрементного копирования. Эти файлы добавляются к уже существующим копиям.

Инкрементные backup намного меньше полных, но для восстановления нужен предыдущий полный backup и вся цепочка инкрементных копий заканчивая тем backup, из которого нужно восстановить данные. Дифференциальные backup меньше полных, но при этом больше инкрементных. Для того, чтобы осуществить восстановление потребуется как дифференциальный, так и полный предыдущий backup.

Wordpress предоставляет возможность сделать резервную копию базы данных вручную или воспользоваться специальными плагинами, которые предназначены для автоматизированного процесса создания backup.

Цель работы

Исследование возможностей и особенностей резервного копирования сайтов, разработанных с помощью CMS WordPress. Анализ причин, вызывающих необходимость резервного копирования сайтов. Анализ существующих плагинов для резервного копирования. Обоснование целесообразности создания собственного backup плагина на основе Git и изучение его функций.

Исследование возможностей резервного копирования веб-сайтов

Прежде всего необходимо проанализировать основные причины, которые побуждают создателей сайтов осуществлять резервное копирование.

Следует учитывать тот факт, что не все хостинги предоставляют возможность доступа к резервной копии сайта, поскольку обычно хостинг делает их ради своей безопасности. Кроме того, нерегулярность создания резервных копий создает трудности восстановления работоспособности сайта в кратчайшие сроки. Может оказаться, что резервная копия сделана месяц назад, а за это время произошло внесение огромного количества изменений на сайте, и придется вносить их заново.

Хранение лишь версии разработки не

является достаточным, поскольку те изменения, которые вносятся в сайт, зачастую не отражаются в его исходной версии. В связи с этим существует необходимость создания резервной копии не только самого сайта, но и его базы данных.

Резервное копирование можно рассматривать как один из инструментов защиты от вирусов. Такая процедура не предотвращает саму атаку, однако восстановление сайта из незараженной копии позволяет восстановить его работоспособность.

Резервное копирование необходимо осуществлять регулярно с периодичностью, зависящей от частоты вносимых на сайт изменений.

Так, для новостных сайтов backup делают несколько раз в день. Для сайтов, обновляющихся реже, backup файловой системы необходимо делать хотя бы один раз в месяц.

Резервное копирование необходимо осуществлять регулярно с периодичностью, зависящей от частоты вносимых на сайт изменений. Backup нужно создавать сразу после окончания процесса настройки сайта, перед большими его обновлениями, а также периодически с заданным интервалом.

Для максимальной защиты данных лучше хранить резервные копии на различных физических устройствах, например, на нескольких жестких дисках, также можно использовать флеш-накопители или диски. Рекомендуемый минимальный период хранения резервных копий – неделя. Как правило, чаще всего для восстановления данных необходима резервная копия за прошедшую неделю. Период хранения также зависит от актуальности данных и критичности их потери. Минимальное количество резервных копий – три. В случае утери одной из них всегда есть возможность использовать остальные. Наиболее безопасным вариантом считается использование облачных сервисов. Облачные сервисы - это онлайн-хранилища, в которых данные хранятся на распределённых в Сети серверах и предоставляются в пользование клиентам третьей стороной. Облачные сервисы обладают рядом неоспоримых преимуществ, таких как: доступность данных из любой точки мира при наличии подключения к Интернет, возможность организации совместной работы с данными и высокая вероятность сохранности информации в случае аппаратных сбоев.

Создание полной резервной копии предусматривает создание копии файловой системы и базы данных сайта. Сайт, разработанный в WordPress, включает следующие элементы: главное ядро, темы и плагины, изображения, файлы, статичные страницы; JavaScript и PHP скрипты.

Как известно, резервное копирование можно осуществлять вручную или в автоматизированном режиме. В первом случае используют FTP-клиент или UNIX Shell Skills. Недостатками ручного копирования являются: значительное время, необходимое для создания резервной копии, невозможность инкрементного копирования, необходимость самостоятельного отслеживания периодичности создания копий.

Автоматизировать процесс резервного копирования позволяют специальные программы, а также плагины WordPress. Плагин в общем понимании это независимый программный модуль, который динамически подключается к основной программе и позволяет расширить её возможности. Плагины на WordPress представлены PHP-скриптами, которые добавляют определенный набор возможностей или сервисов к веб-сайту и подключаются при помощи интерфейса программы приложения плагина.

Плагины для резервного копирования могут быть как платными, так и бесплатными. Такие плагины обладают разным функционалом. Среди наиболее популярных плагинов можно выделить: BackupBuddy, VaultPress, UpdraftPlus, BackUpWordPress, Duplicator, XCloner, BackWPup, WordPress Backup to Dropbox и другие.

BackupBuddy является премиум плагином для осуществления резервного копирования WordPress-сайтов. Он позволяет планировать ежедневные, еженедельные или ежемесячные резервные копии и хранить их в таких облачных сервисах как Dropbox, Amazon S3, Rackspace Cloud, FTP, Stash. Плагин поставляется на основе лицензии, а цена определяется количеством сайтов, для которых будет использоваться данный плагин. Плагин также предоставляет сервис поддержки, обновления, и 1 Гб облачного хранения резервных копий.

VaultPress также является платным решением, распространяется на основе подписки, цена за месяц начинается от пяти долларов в месяц. Плагин позволяет полное и инкрементное автоматическое резервное копирование с сохранением данных на облачное хранилище. Позволяет осуществлять восстановление из резервных копий в несколько кликов.

Плагины BackupBuddy и VaultPress являются хорошими решениями для резервного копирования, они позволяют составлять расписание бэкапов, делать полные резервные копии и позволяют заливать бэкапы на их собственное облачное хранилище или предоставляют поддержку популярных облачных сервисов, таких как Google Drive, Amazon S3, Dropbox, OneDrive, однако оба плагина являются платными. Не смотря на большое количество достоинств, естественным недостатком таких плагинов является их цена.

Бесплатные плагины обладают меньшим

количеством функций, например WP-DB-Backup рассчитан только на бэкап базы данных. Другие, например, Duplicator не позволяют создавать автоматические резервные копии с настройкой расписания, такие плагины как BackUpWordPress, позволяют скачивание копий только на ftp-сервер или непосредственно на компьютер, но не предоставляют возможности загрузить бэкап на облако, или выбрать для каких именно файлов необходимо сделать бэкап.

BackWPup представляет собой бесплатный плагин, который позволяет создавать полную резервную копию WordPress-сайта и хранить её на FTP, электронной почте или компьютере. Плагин позволяет планировать автоматическое резервное копирование. Платная версия добавляет возможность хранить резервные копии на облачных хранилищах.

Плагин XCloner хотя и обладает возможностью создания как полных, так и частичных бэкапов с установкой расписания и имеет возможность загрузки бэкапов на популярные облачные хранилища, все же имеет несколько существенных недостатков, а именно неудобное меню и невозможность сохранения настроек, из-за чего для настройки будущих резервных копирований нельзя применить использованные ранее настройки.

UpdraftPlus – бесплатный плагин, который позволяет создавать полные резервные копии и сохранять их на облачном хранилище. Плагин позволяет составлять расписание для автоматизации процесса копирования. Также существует платная версия плагина с дополнительными функциями и расширениями.

Недостатком Updraftplus, несмотря на широкий функционал, является плохо продуманный интерфейс, из-за его беспорядочности пользоваться плагином не очень удобно.

Известно, что наиболее эффективное резервное копирование основано на схеме, так называемого смешанного копирования, использующего как инкрементный, так и дифференциальный backup. Чтобы повысить надежность инкрементного копирования, необходимо создавать новый полный backup после нескольких инкрементных, исключая таким образом возможность влияния поврежденной копии на последующие backup. Аналогичная ситуация и с дифференциальным копированием - в зависимости от интенсивности изменения защищаемых данных новый полный backup рекомендуется создавать после двух-пяти дифференциальных. По достижении заданного количества копий весь цикл повторяется [5,6].

На основе проведенного исследования установлено, что ни один из рассмотренных плагинов не позволяет восстанавливать backup. из конкретной точки и делать инкрементный или дифференциальный

backup. на выбор. Таким образом, целесообразно создание собственного бесплатного плагина, который позволяет осуществлять смешанный backup. на популярные онлайн-хранилища, основываясь на изменениях файловой системы и базы данных сайта, а также предоставляет возможность настраивать расписание с целью автоматизации процесса создания резервных копий.

За время разработки сайт претерпевает множество изменений. При этом очень часто возникает необходимость иметь не только конечную версию сайта, но и промежуточные – предыдущие версии. Стратегия контроля версий несколько схожа с резервным копированием. В то время как создание резервной копии всего сайта для восстановления одного файла – далеко не идеальное решение, контроль версий может оказаться гораздо более удобным подходом.

Git является распределенной системой контроля версий, при этом сами разработчики называют его контент-трекером. Git следит за целостностью данных, перед сохранением любого файла Git вычисляет контрольную сумму, и она становится индексом этого файла. Для Git не имеет значения, что именно хранить, эта РСКВ определяет все файлы как набор байт. Следовательно, такую систему можно использовать и для хранения изображений, аудиофайлов и прочего. Если над конфигурационным каталогом осуществляется контроль версий, то нарушившие систему изменения можно легко отменить.

Для организации автоматического резервного копирования можно использовать скрипт, который будет автоматически добавлять резервную копию и осуществлять commit с её датой, а также делать push в нужный удаленный репозиторий. Далее добавляется задача для менеджера расписания и устанавливается необходимая периодичность создания резервных копий, т.е их расписание.

Реализация плагина осуществляется при помощи системы контроля версий Git. Такие системы позволяют отслеживать изменения, и файлы, приведшие к нарушению работы сайта можно отменить. Git предоставляет каждому пользователю локальную копию всей истории разработки, а изменения копируются из одного репозитория в другой. Достоинства использования распределенной системы контроля версий GIT в качестве инструмента для создания резервных копий в том, что помимо локальной копии мы имеем сразу же и удаленную, которую также можно хранить и в bitbucket – стороннем хранилище с бесплатными приватными репозиториями.

Таким образом, backup-плагин на основе GIT дает возможность восстанавливать данные на конкретный момент времени, а также делать инкрементный или дифференциальный backup. по выбору пользователя.

Выводы

Проведенное в работе исследование возможностей резервного копирования веб-сайтов, разработанных с помощью Wordpress, позволило установить основные достоинства и недостатки существующих для этих целей плагинов. Предложенный в работе backup-плагин разработан на основе системы контроля версий GIT. Плагин позволяет автоматизировать процесс создания резервной копии посредством настройки расписания, осуществлять полное или частичное копирование по выбору пользователя и восстанавливать backup из конкретной точки времени и удобно осуществлять мониторинг резервных копий благодаря используемой в плагине системе контроля версий GIT.

Список литературы

1. **Сергеев, А.** Создание сайтов на основе WordPress. Учебное пособие / **А. Сергеев.** – СПб.: Лань, 2015.–128с.
2. **Казakov, В. Г.** Резервное копирование данных / **В. Г. Казakov, С. А. Федосин** // *LAP Lambert Academic Publishing.* – 2010. – 144 с.
3. **Бережной, А.** Сохранение данных. Теория и практика данных / **А. Бережной.** – ДМК Пресс, 2016. – 318 с.
4. **Silverman, R.** Git Pocket Guide / **Silverman R.** – O'Reilly Media, 2013. – 195 с.
5. **O'Sullivan, B.** Mercurial: The Definitive Guide / **B. O'Sullivan.** – O'Reilly Media, 2009. – 284 с.
6. **Чакон, С.** Git для профессионального программиста / **С. Чакон, Б. Штрауб.** – Питер, 2016. – 496 с.
7. **Prelovac, V.** WordPress Plug-in Development (Beginner's Guide) / **V. Prelovac.** – Mapt, 2009. – 296 с.
8. **Колиснеченко, Д.** PHP 5/6 и MySQL 6. Разработка Web-приложений / – 2-е изд., перераб. и доп. **А. Колиснеченко.** – СПб.: БХВ-Петербург, 2010.– 560с.
9. **Веллинг, Л.** Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL / **М. Веллинг, Л. Томсон.** – Вильямс, 2016. – 848 с.
10. **Линн, Б.** Магия Git / **Б. Линн.** – Вильямс, 2010. – 64 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Sergeyev, A.** Sozdaniye saytov na osnove WordPress. Uchebnoye posobiye. - Spb.: Lan', 2015. - 128.
2. **Kazakov, V. G. Fedosin, S. A.** Rezervnoye kopirovaniye dannykh, *LAP Lambert Academic Publishing.* 2010, 144.
3. **Berezhnoy, A.** Sokhraneniye dannykh. Teoriya i praktika dannykh, *DMK Press*, 2016, 318.
4. **Silverman, R.** Git Pocket Guide. – O'Reilly Media, 2013, 195.
5. **O'Sullivan, B.** Mercurial: The Definitive Guide. *O'Reilly Media*, 2009, 284.
6. **Chakon, S., Shtraub, B.** Git dlya professional'nogo programmista, *Piter*, 2016, 496.
7. **Prelovac, V.** WordPress Plug-in Development (Beginner's Guide), *Mapt*, 2009, 296.
8. **Kolisnechenko, D.** PHP 5/6 i MySQL 6. Razrabotka Web-prilozheniy, Spb.: BKHV-Peterburg, 2010, 560.
9. **Velling, L., Tomson, L.** Razrabotka veb-prilozheniy s pomoshch'yu PHP i MySQL. *Velling*, 2016, 848.
10. **Linn, B.** Magiya Git, 2010, 64.

Сведения об авторах (About authors)

Егорова Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; Харьков, Украина; e-mail: irinaiegorova@gmail.com .

Irina Iegorova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: irinaiegorova@gmail.com.

Гладкая Анна Алексеевна – магистр, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; Харьков, Украина; e-mail: namikosamahime@gmail.com.

Anna Glagkaya – magister, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: namikosamahime@gmail.com.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Егорова, И. Н. Исследование возможностей резервного копирования веб-сайтов, созданных на основе WordPress / **И. Н. Егорова, А. А. Гладкая** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 95-99. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.15.

Please cite this article as:

Iegorova, I., Gladkaya, A. Research for backup possibilities of websites created in WordPress. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 95–99, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.15.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Егорова, І. М. Дослідження можливостей резервного копіювання веб-сайтів, створених на основі WordPress / **І. М. Егорова, А. О. Гладка** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 95-99. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.15.

АНОТАЦІЯ У статті проведено дослідження можливостей резервного копіювання сайтів. Виділено способи ручного і автоматичного створення резервних копій для сайтів, розроблених за допомогою CMS Wordpress. Розглянуто особливості резервного копіювання бази даних, файлів, а також тем та плагінів Wordpress. Сформульовані вимоги до періодичності створення резервних копій та кількості резервних копій і їх зберігання.

Ключові слова: CMS; Wordpress; резервне копіювання; плагіни; хмарні сховища.

Поступила (received) 29.05.2017

УДК 005.8:005.41

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.16

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ

Н. Ю. ЄГОРЧЕНКОВА

кафедра технологій управління, Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Київ, УКРАЇНА
email: realnata@ukr.net

АНОТАЦІЯ Запропоновано використовувати електронний проектний менеджмент (e-PM) для управління проектами створення та надання інформаційних ресурсів. Проаналізовано сучасні дослідження e-PM в світі. Показано, що на сьогодні існують як наукові так і комерційні розробки e-PM. Автором статті пропонується свій погляд на електронний проектний менеджмент. Надані основні поняття та визначення e-PM. Визначено, що для реалізації технології електронного проектного менеджменту необхідно застосувати електронний менеджер проектів (e-M), який є програмно-інформаційною системою, що реалізує процес управління проектами в e-PM в автоматичному режимі. Показані методи реалізації e-M, до яких відносяться моделі управління, розрахунок термінів та управління трудовими ресурсами проекту створення та надання інформаційних ресурсів.

Ключові слова: електронний проектний менеджмент; електронний менеджер проектів; інформаційний ресурс.

CONCEPTUAL BASES OF CREATION OF A SYSTEM OF INFORMATION PROJECTS ELECTRONIC MANAGEMENT.

N. YEHORCHENKOVA

Department of technology management, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT In practice not all projects are successfully completed. This is due to the negative impact of human factors on the project process. To reduce this effect, the author proposed to use an electronic project management (e-PM), which is used for projects of creation and provision of information resources management. It was analyzed current e-PM research in the world. It was shown that today there are both scientific and commercial development of e-PM. The author of the article offers his view of the electronic project management. It was provided basic concepts and determining of e-PM. It was noted that the creation and implementation of electronic project management is only possible when the management processes will be based on computer methods of data collection, processing and use of information for executing decision-making. Therefore, to implement the technology of electronic project management it is need to apply an electronic project manager, which is a program-information system that implements project management process in e-PM automatically. It was shown methods for implementing electronic project manager, which include management models, terms calculation and workforce management of project of creation and provision of information resources. Also electronic project manager functions that used as part of organization and methodological measures of project-oriented enterprise in project activity realization was defined. It was determined that for applied use of e-PM it is necessary to develop a knowledge models for project management of creation and provision of information resources through the electronic project management.

Keywords: electronic project management; electronic project manager; information resource.

Вступ

На сьогодні для управління проектами розроблено безліч методологій [1 – 3] та програмних засобів [4 – 6], які допомагають проектному менеджеру планувати та контролювати проект, вчасно приймати рішення, керувати командою, термінами, бюджетом та іншими процесами не залежно від типу та виду проекту. Науковці постійно розробляють нові методи та моделі управління, університети та навчальні центри – програми навчання проектних менеджерів та підвищення їх кваліфікації, розробники створюють нові інформаційні системи управління проектами. Все це разом повинно створювати умови для ефективного управління проектами та отримання запланованого результату вчасно, у виділений бюджет та з визначеною якістю. Але як показує практика, на сьогодні, далеко не всі проекти мають успішне завершення. Частіше за все це пов'язано не з якістю обраної методології чи з ефективністю інформаційної

технології, а з негативним впливом людського фактору. Як правило люди (учасники проекту) не точні, повільні, іноді їх особисті цілі не тільки не співпадають з цілями проекту, а іноді цим цілям суперечать.

Але, якщо ж згадати минуле, то літаками ще 20–30 років тому керували виключно пілоти. Комп'ютери їм допомагали. Сьогодні все по іншому. Літаки наскільки автоматизовані, що пілоти можуть лише спостерігати за тим, як літаком від злету до посадки керує комп'ютер. Чи не підійшов час більш повної автоматизації і проектного менеджменту. Звичайно, складні довготривалі проекти ще не під силу комп'ютерам. Але більш прості проекти, наприклад, інформаційні проекти, мета яких формування інформаційного ресурсу [7] підприємств і організацій можна було б автоматизувати в більшій мірі. А також автоматизувати управління ними. І таким чином прокласти шлях до **електронного проектного менеджменту (e-PM)**. Який з часом взагалі замінить людину.

Ціль роботи

Ціллю статті є опис концепції створення системи електронного управління інформаційними проектами.

Викладення основного матеріалу

На сьогодні існує велика кількість наукових досліджень та прикладних розробок, які присвячені електронному проектному менеджменту (е-РМ).

В роботі [8] е-РМ розглядається як веб-інструмент, який створює спільне робоче середовище для проектних і будівельних проектів. Цей інструмент дозволяє проектним командам об'єднати планування, проектування, закупівлі і будівництво в єдину спільну систему. Е-РМ забезпечує безпечний робочий простір який забезпечує взаємодію з промисловими партнерами і замовниками архітектурно-будівельної галузі.

Автори [9] пропонують розглянути електронний проект як будь-який проект, який включає в себе створення або зміну вихідного коду, розгорнутого в Інтернеті. Це включає в себе ряд проектів від розгортання нового контенту в HTML до удосконалень аплетів в Java і ActiveX.

В свою чергу робота [10] присвячена концептуальному розгляду використання електронного проектного менеджменту в будівельних проектах.

В [11] е-РМ – це потужна корпоративна онлайн система управління проектами та автоматизації документообігу проектів, розроблена на базі інтеграції хмарних платформ Microsoft: Project і Sharepoint.

Ось основні можливості цієї системи:

- можливість планувати проект за допомогою виділеного бюджету, потреб в ресурсах і обмежень в термінах інтуїтивно зрозумілими інструментами;
- зручні візуальні засоби для контролю відхилень при реалізації проекту;
- аналіз ризиків і створення необхідних резервів, моделювання управлінських рішень і аналіз їх впливів на проект.

В [12] у еРМ використовуються потужні імітаційні моделі SimVision®, щоб перевірити здатність команди фактично виконувати плани, які, як свідчить досвід, повинні працювати. Моделі дозволяють оптимізувати відповідність між людьми компанії, процесами, лідерством та інформацією. Результати бізнесу будуть передбачуваними.

еРМ виконує:

- використовує імітаційні моделі для кількісної оцінки майбутніх бізнес-результатів;
- оптимізація відповідності між командою і її роботою;
- узгодження роботи, людей, інформації та лідерства для досягнення успіху

Автором статті пропонуються наступний погляд на електронний проектний менеджмент.

Визначення 1. Електронний проектний менеджмент (далі - е-РМ) – форма проектного менеджменту, в якій основні процеси управління реалізуються в програмно-інформаційному середовищі сучасних комп'ютерів без залучення людини.

На сьогодні, не для всіх проектів можна застосувати е-РМ. Багато проектів інноваційних, управління якими не стандартне, чи складних, які вимагають постійної участі людини. І створити е-РМ для таких проектів досить складно. Але для проектів створення та надання інформаційного ресурсу [13] цей підхід можливий по кільком причинам:

1. Проекти майже повністю реалізуються з застосуванням сучасних інформаційних систем та інформаційних технологій. А це означає, що вони реалізуються в комп'ютерах. Відповідно простіше буде створювати і «комп'ютерну» систему управління цими проектами.

2. Можуть бути описані стандартами (шаблонами). А значить можна буде розробити моделі управління, які підходять під деякий клас проектів.

3. Процедури обробки інформації в таких проектах майже не відрізняються від процедур управління такими проектами. Тому створені для таких проектів засоби підходять і для управління цими проектами.

Створення та впровадження електронного проектного менеджменту можливе лише тоді, коли управлінські процеси будуть базуватися на комп'ютерних способах збору, обробки та використання інформації для прийняття управлінських рішень.

Реалізація е-РМ відбувається через електронний менеджер проектів.

Визначення 2. Електронний менеджер проектів (далі - е-М) – програмно-інформаційна система, яка реалізує процес управління проектами в е-РМ в автоматичному режимі.

Якщо е-РМ є технологією управління проектами, то е-М – це система, що реалізує цю технологію.

Під час управління ПСНІР е-М реалізує (рис.1):

1. Вибір моделі управління проектом створення та надання інформаційного ресурсу.

Для того, щоб електронний менеджер проектів (е-М) міг вирішувати задачі автоматичного управління процесом формування та контролю завдань по проектам створення та надання інформаційних ресурсів необхідно встановити зв'язок між описом такого проекту та моделями управління, які були розроблені для управлінських класів ПСНІР. Автором визначені наступні моделі управління: попродуктова модель [14], модель на основі дводольних графів [13], модель на основі сітьових моделей, ієрархічна, алгоритмічна та лінійна моделі.

2. Розрахунок термінів виконання проекту створення та надання інформаційних ресурсів.



Рис. 1 – Реалізація менеджера проектів



Рис.2 – Функції електронного менеджера проектів

Проекти створення та надання інформаційних ресурсів характеризуються, в більшості випадків, чіткою формалізацією дій по отриманню та обробці інформації. Ці дії, точніше – процедури, повторюються в різних проектах. І якщо працівники довгий час виконують ці процедури, то доводять свої дії до автоматизму. Що значно скорочує час виконання процедур, та підвищує їх якість. Тому при розрахунку термінів виконання проекту створення та надання інформаційних ресурсів необхідно враховувати хто буде виконувати ту чи іншу роль, і як він її виконував раніше.

Крім того це дозволяє електронному менеджеру проектів (e-MP) вести автоматично розрахунок термінів виконання як окремих

інформаційних процедур, так і всього проекту в цілому.

3. Управління трудовими ресурсами проекту створення та надання інформаційних ресурсів.

Для того, щоб електронний менеджер проектів міг вирішувати задачі автоматичного управління трудовими ресурсами, які будуть задіяні в проекті необхідно в моделях управління відобразити ролі, які зможуть реалізувати ті чи інші процедури обробки інформації. Крім того, конкретним фізичним особам необхідно прописати можливість та бажаність виконання тих чи інших ролей. В цьому випадку розподіл трудових ресурсів по процедурам моделей управління проектами буде виконуватись виходячи з того, чи вільний цей ресурс в заданий для виконання

процедури проміжок часу і чи доцільно йому виконувати цю роль.

Функції е-М показані на рис. 2. Ці функції застосовуються в рамках організаційно-методологічних заходів проектно-орієнтованого підприємства по реалізації проектно-орієнтованої діяльності

Висновки

В статті розглянуто концепцію побудови електронного проектного менеджменту (е-PM) для реалізації проектів створення та надання інформаційних ресурсів. В якості системи, що реалізує е-PM запропоновано використовувати електронний менеджер проектів.

Тепер, для прикладного застосування е-PM необхідно розробити моделі знань по управлінню проектами створення та надання інформаційними ресурсами через електронний проектний менеджмент.

Список літератури

1. **Bryde D. J.** Project management concepts, methods and application / **D. J. Bryde** // *International Journal of Operations & Production Management*. – 2003. - Vol. 23 (7). - С.775-793. – doi:10.1108/01443570310481559.
2. **Fitsilis, P.** Comparing PMBOK and Agile Project Management software development processes / **P. Fitsilis** // *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*. – 2008. – P. 378–383. – doi: 10.1007/978-1-4020-8741-7_68
3. **Терехова, А. Е.** Обзор методологий управления проектами / **А. Е. Терехова, Н. Ю. Верба** // *Вестник Университета*. – 2014. - №2. – С.64-70.
4. **Куперштейн, В. И.** Microsoft Project 2013 в управлении проектами / **В. И. Куперштейн**. — СПб: БХВ, 2014. — 432 с.
5. Системы управления проектами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://lms.tpu.ru/pluginfile.php/42674/mod_resource/content/0/IKT/g7/GLAVA_7.pdf
6. **Yehorchenkova, N.** Enterprise Information Planning – new class in information technologies of higher educational institutions of Ukraine / **N. Yehorchenkova, I. N. Teslia, A. V. Iegorchenkov, Y. I. Kataieva** // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – №4/2(82) – 2016. – С.11-24. – doi:10.15587/1729-4061.2016.74857.
7. **Yehorchenkova, N.** The conception of project-oriented enterprise information resources system management technology creation / **N. Yehorchenkova, O. Yehorchenkov, Y. Kataieva, G. Zaspа** // *Journal of technology and exploitation in mechanical engineering*. – Poland. – 2016. - №2. - С.60-66.
8. Electronic Project Management (ePM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gsa.gov/portal/category/26745>.
9. **Kulik, P.** E-project management of the new e-reality. / **P.Kulik, R.Samuelsen** // *PM Network*. – 2001. - 15(3). – P.33–39.
10. е-PM (electronic project management) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.graphicsystems.biz/gsi/articles/Electronic_PM_99July.PDF.
11. Система управления проектами: Проектный офис [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.aviscloud.ru/solutions/projectoffice.html>.

12. ePM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://epm.cc/default.php>.
13. **Сторченкова, Н. Ю.** Управление информационными ресурсами на основе дводольных графов / **Сторченкова Н. Ю.** // *Информационные процессы, технологии та системи на транспорті*. – К.: НТУ. – 2016. - №2. – С.35-45.
14. **Yehorchenkova, N. I.** Product model of information resources management of a project-oriented enterprise / **N.I. Yehorchenkova, O.V. Yehorchenkov, I.L. Khlevna, N.V. Oberemok** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. - №7(1229). – С. 131-136. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.18.

Bibliography (transliterated)

1. **Bryde, D. J.** Project management concepts, methods and application, *International Journal of Operations & Production Management*, 2003, Vol. 23, 7, 775-793, doi:10.1108/01443570310481559.
2. **Fitsilis, P.** Comparing PMBOK and Agile Project Management software development processes. *Advances in Computer and Information Sciences and Engineering*, 2008, 378–383, doi: 10.1007/978-1-4020-8741-7_68.
3. **Terekhova, A. Ye., Verba, N. Yu.** Obzor metodologiy upravleniya proyektami. *Vestnik Universiteta*. 2014, 2, 64-70.
4. **Kupershteyn, V.I.** Microsoft Project 2013 v upravlenii proyektami. Rossiya, Sankt-Peterburg, 2014, 432.
5. Systems of project management. Retrieved from: http://lms.tpu.ru/pluginfile.php/42674/mod_resource/content/0/IKT/g7/GLAVA_7.pdf.
6. **Yehorchenkova, N., Teslia, I.N., Iegorchenkov, A. V., Kataieva, Y. I.** Enterprise Information Planning – new class in information technologies of higher educational institutions of Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 4/2(82), 11-24, doi:10.15587/1729-4061.2016.74857.
7. **Yehorchenkova, N., Yehorchenkov, O., Kataieva, Y., Zaspа, G.** The conception of project-oriented enterprise information resources system management technology creation. *Journal of technology and exploitation in mechanical engineering*, Poland, 2016, 2, 60-66.
8. Electronic Project Management (ePM) Retrieved from: <https://www.gsa.gov/portal/category/26745>.
9. **Kulik, P., Samuelsen, R.** e-project management of the new e-reality. *PM Network*, 2001, 15(3), 33–39.
10. e-PM (electronic project management). Retrieved from: http://www.graphicsystems.biz/gsi/articles/Electronic_PM_99July.PDF.
11. System of project management: Project office. Retrieved from: <http://www.aviscloud.ru/solutions/projectoffice.html>.
12. ePM. Retrieved from: <http://epm.cc/default.php>.
13. **Yehorchenkova, N. Yu.** Upravlinnya informatsiynymi resursamy na osnovi dvodol'nykh hrafov. *Informatsiyni protsesy, tekhnolohiyi ta systemy na transporti*, 2016, 2, 35-45.
14. **Yehorchenkova, N. I., Yehorchenkov, O. V., Khlevna, I. L., Oberemok, N. V.** Product model of information resources management of a project-oriented enterprise. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 7(1229), 131-136, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.18.

Відомості про авторів (About authors)

Єгорченкова Наталія Юрїєвна – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, докторант кафедри технологій управління, м.Київ, Україна; e-mail: realnata@ukr.net.

Nataliia Yehorchenkova – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kyiv, doctoral student of technology management department, Kyiv, Ukraine; e-mail: realnata@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Єгорченкова, Н. Ю. Концептуальні основи побудови системи електронного управління інформаційними проектами / **Н. Ю. Єгорченкова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 100-104. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.16.

Please cite this article as:

Yehorchenkova, N. Conceptual bases of creation of a system of information projects electronic management. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU"KhPI", 2017, **23**(1245), 100–104, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.16.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Егорченкова, Н. Ю. Концептуальные основы построения системы электронного управления информационными проектами / **Н. Ю. Егорченкова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 100-104. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.16.

АННОТАЦИЯ Предложено использовать электронный проектный менеджмент (e-PM) для управления проектами создания и предоставления информационных ресурсов. Проанализированы современные исследования e-PM в мире. Показано, что на сегодня существуют как научные, так и коммерческие разработки e-PM. Автором статьи предлагаются свой взгляд на электронный проектный менеджмент. Предоставлены основные понятия и определения e-PM. Определено, что для реализации технологии электронного проектного менеджмента необходимо применить электронный менеджер проектов (e-M), который является программно-информационной системой, реализующей процесс управления проектами в e-PM в автоматическом режиме. Показаны методы реализации e-M, к которым относятся модели управления, расчет сроков и управления трудовыми ресурсами проекта создания и предоставления информационных ресурсов.

Ключевые слова: электронный проектный менеджмент; электронный менеджер проектов; информационный ресурс.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 005.8:005.41

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.17

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОТИВАЦІЇ УЧАСНИКІВ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛІННЯ КОМПАНІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ MS PROJECT ONLINE

В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ¹, І. І. ОБЕРЕМОК², Н. В. ОБЕРЕМОК^{1*}, Т. В. ЛАТИШЕВА³

¹ кафедра геоінформатики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

² кафедра управління проектами, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, УКРАЇНА

³ кафедра технологій управління, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

*email: oberemokn@gmail.com

АНОТАЦІЯ Для компаній із ієрархічною організаційною структурою для заохочення співробітників приймати участь у проєктах доцільно застосовувати систему мотивації. Система мотивації учасників проєктного управління складається із регламентованої процедури мотивації, реалізованого в корпоративній інформаційній системі управління проєктами методу розрахунку мотивації та залученого персоналу на проєктні ролі.

Ключові слова: процеси управління проєктом; корпоративна система управління проєктами; КСУП; мотивація учасників проєктного управління; MS Project; MS Project Online.

IMPLEMENTATION OF MOTIVATION SYSTEM FOR PROJECT TEAM USING MS PROJECT ONLINE

V. ZATSERKOVNYI¹, I. OBEREMOK², N. OBEREMOK¹, T. LATYSHEVA³

¹ Department of Geoinformatics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

² Department of Project management, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, UKRAINE

³ Department of Technology management, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Objective: formation towards implementation of motivating participants project management using MS Project Online in companies with functional, balanced or simplified organizational structure. For the companies with a hierarchical organizational structure to involve employees in the company's projects, it is advisable to use a system of motivation based on surcharge for the intensity. The motivation system for project team consists of a regulated motivation procedure implemented in the corporate project management information system, the method of calculating motivation and involved personnel on project roles. Operation of the system of motivation of participants provided key company employees involved in project management such as portfolio manager, head of project management office, project managers and administrators, highly specialized experts. Regulatory procedure is described in detail a process of motivation indicating responsible, incoming and outgoing documents motivation in project management. The proposed implementation of motivation by the application of the model calculation motivation of employees involved in the implementation of projects. The model was developed and implemented corporate project management information system MS Project Online, programmed report motivation MS Project Excel. The process motivate members of the project management system integrated into the corporate project management and account management features companies with functional, balanced or simplified organizational structure. The study has been determined by the introduction of motivating project management participants using MS Project Online in companies with functional, balanced or simplified organizational structure.

Keywords: processes of the project management; corporate project management system; cpms; motivation of participants of project management; MS Project; MS Project Online.

Вступ

Розвиток інформаційних технологій, ринкові відносини, інновації змушують навіть компанії із ієрархічною організаційною структурою задовольняти невластиві їй основній діяльності потреби. Наприклад, для компаній із налагодженим виробництвом виробів зі скла в реаліях сьогодення для збільшення ринку збуту необхідно створити інформаційний рекламний ресурс, портал, на якому клієнт зможе не лише ознайомитись із продукцією компанії, а і зробити замовлення, відстежити процес відвантаження, перевезення, доставки. Розробка інформаційного порталу абсолютно не відповідає профілю діяльності компанії. Для компанії інформаційний портал є інноваційним продуктом,

одержати який розумно шляхом реалізації проєкту, проєкту розвитку компанії. Однозначно, що для компанії з ієрархічною організаційною структурою [1-3] для реалізації проєкту доцільно застосовувати методи та інструменти управління проєктами, наділяти окремих співробітників додатковими повноваженнями та обов'язками. При реалізації подібних ініціатив керівники проєктів зіштовхуються із ситуацією абсолютного небажання співробітниками залучатись до виконання цих проєктів розвитку, оскільки ними вже виконуються призначені їм функціональні обов'язки та вони не зацікавлені додатково брати на себе виконання "забаганок" керівництва. Виникає важливе питання як мотивувати необхідних співробітників до виконання задач проєкту, які інструменти застосовувати. Відповідно

до теорій мотивації [13] більшість людей можливо мотивувати шляхом задоволення їх матеріальних потреб, виплатою премій, бонусів, доплати за інтенсивність [7]. Необхідні певні інструменти, моделі, методи забезпечення мотивації учасників проектного управління компанії з функціональною, слабкою чи спрощеною матричною організаційною структурою [8-12].

Ціль роботи

Мета дослідження: формування шляху впровадження системи мотивації учасників проектного управління з використанням MS Project Online в компаніях з функціональною, спрощеною чи збалансованою організаційною структурою.

Завдання дослідження:

1. Описати систему мотивації учасників управління проектом.
2. Описати відповідальність та повноваження учасників проектного управління в системі мотивації.
3. Визначити процеси забезпечення мотивації в управлінні проектом.
4. Сформувати модель розрахунку мотивації учасників.
5. Описати інтеграцію процесів мотивації учасників управління проектом у КСУП.

Виклад основного матеріалу

Для опису процесів, що виконуються на усіх етапах мотивації учасників проектного управління, описано рольову структуру [4-6].

Рольова структура визначає місце кожного учасника в проекті, їх відповідальність та повноваження. Так, у забезпеченні функціонування системи мотивації задіяні наступні ролі:

- Керівник портфелю проектів (посада – Керівник організації);
- Керівник офісу управління проектами (посада – Функціональний менеджер);
- Керівник проекту (посада – Функціональний менеджер);
- Адміністратор проекту (посада – Функціональний менеджер / Співробітник);
- Фахівці проекту (посада – Функціональний менеджер / Співробітник).

Авторами у статті розглядається мотивація учасників управління проектом, а саме залучених до виконання задач проекту фахівців.

Керівник портфелю проектів уповноважений приймати рішення щодо мотивації учасників проектного управління. Саме керівник проектів погоджує та візує план та звіт з мотивації учасників проектного управління.

Керівник офісу управління проектами відповідальний за дотримання процедури мотивації. Саме керівник офісу управління проектами уповноважений формувати план з мотивації,

визначати мотивацію учасників та формувати звіт з мотивації учасників проекту. А також відстежувати здійснення виплат з мотивації учасникам проекту.

Керівник проекту чи/та адміністратор проекту визначає задачі проекту та призначає їх учасникам, контролює виконання призначених задач учасниками, оцінює якість виконання проектних задач учасниками, приймає або ж відхиляє на доопрацювання задачі учасникам [14, 15].

В свою чергу фахівці проекту відповідають за якісне та належне виконання завдань в проекті.

Розглянемо процеси мотивації:

1. Процес «Планування».

До процесу Планування входять підпроцеси «Планування задач на період», «Призначення ресурсів на виконання задач», «Погодження плану витрат на мотивацію», «Розсилання задач ресурсам» (рис. 1).



Рис. 1 – Процес «Планування» мотивації в управлінні проектом

При виконанні під процесу «Планування задач на період» керівник проекту визначає які задачі плану-графіку проекту повинні бути виконані у наступному періоді.

Задачі, які повинні бути виконані у наступному періоді повинні бути деталізовані таким чином, щоб тривалість однієї задачі була не більшою ніж 5 календарних днів. Правило планування задач на період, встановлене КСУП: тривалість задач повинна бути не більшою ніж 5 робочих днів.

Для деталізації задач на період керівник проекту звертається до фахівців проекту, які в подальшому будуть призначені на їх виконання. Період встановлено КСУП - 1 місяць.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- керівник офісу управління проектами деталізує задачі відповідно до встановлених правил КСУП;
- адміністратором проекту у MS Project Online визначає перелік задач, які повинні бути виконані у наступному періоді в плані-графіку проекту.

Для виконання підпроцесу «Призначення ресурсів на виконання задач» керівник проекту призначає ресурси – фахівців проекту – на виконання задач на наступний період.

План витрат на мотивацію на період формується виходячи із вартості ресурсів призначених на виконання задач у наступному періоді.

Для реалізації задачі виконується наступний крок:

- адміністратор проекту у MS Project Online встановлює ресурси у обраних задачах в плані-графіку.

Виконання підпроцесу «Погодження плану витрат на мотивацію». Для погодження плану витрат на мотивацію керівником офісу управління проектами до 28 числа кожного періоду подається керівнику портфелю проектів план витрат на мотивацію.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- керівник офісу управління проектами формує план витрат на мотивацію;
- керівником портфелю проектів погоджується план витрат на мотивацію.

Для виконання підпроцесу «Розсилання задач ресурсам» керівник проекту розсилає ресурсам – учасникам проекту – на виконання задачі, що їм призначені.

Для реалізації задачі виконується наступний крок:

- адміністратор проекту у MS Project Online надсилає учасникам проекту задачі на виконання.

До результатів процесу Планування слід віднести:

- План-графік проекту;
- Перелік задач на період;
- План витрат на мотивацію;
- Перелік задач;
- Перелік ресурсів.

2. Процес «Реалізація».

До процесу *Реалізація* входять підпроцеси «Виконання задач», «Встановлення факту виконання задач», «Перевірка якості виконання задач» (рис.2).

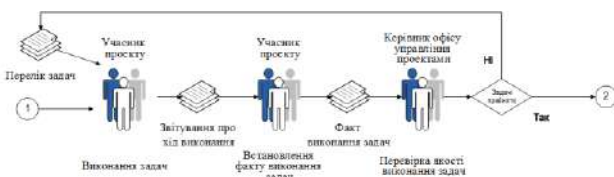


Рис. 2 – Процес «Реалізація» мотивації учасників проектного управління

При реалізації підпроцесу «Виконання задач» учасник проекту отримує у MS Project Online перелік задач, що повинні бути ним виконані та затверджені терміни виконання. У встановлений термін виконання учасник проекту виконує призначені задачі. В процесі виконання учасник проекту усно та в «Чат» на сайті проекту звітує перед керівником проекту про хід виконання поставлених задач.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- учасник проекту виконує призначені йому задачі;
- учасник проекту звітує про хід виконання задач проекту у MS Project Online використовуючи закладку «Чат» на сайті проекту.

Підпроцес «Перевірка якості виконання задач». Керівник проекту отримує результати виконання задач учасниками. Керівник проекту перевіряє належність виконання задач та отримані результати. У разі належного виконання задач вони приймаються. У разі неналежного виконання задачі повертаються учаснику проекту на доопрацювання.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- адміністратор проекту отримує в MS Project Online факт виконання задач від учасників;
- керівник проекту перевіряє належність виконання задач та отримані результати;
- керівник проекту чи адміністратор проекту приймає чи відхиляє факт виконання задач.

Кожен із представлених елементів є невід'ємною частиною.

До результатів процесу Планування слід віднести:

- Перелік задач;
- Звітування про хід виконання;
- Факт виконання задач;
- Прийняття чи повернення на доопрацювання задач.

3. Процес «Звітність».

До процесу Звітність входять підпроцеси «Оцінювання якості виконання задач», «Формування звіту про витрати на мотивацію», «Погодження звіту про витрати на мотивацію», «Виплата мотивації учасникам» (рис.3).



Рис. 3 – Процес «Звітність» мотивації учасників проектного управління

При здійсненні підпроцесу «Оцінювання якості виконання задач учасниками» Керівник проекту оцінює якість виконання задач учасниками за тривалістю їх виконання.

Мотивація розраховується виходячи із ставки співробітника компанії, яку він отримує в день, та кількості витрачених на виконання завдання днів. Оцінювання здійснюється за 5-бальною шкалою.

Оцінювання якості виконання задач за тривалістю передбачає, що у разі:

- а) своєчасного чи швидшого виконання роботи, якість виконання оцінюється як А, за що учасник отримує 100% мотивацію (100% * ставка в день * кількість затрачених днів на виконання завдання);

б) затримки виконання завдання на 1 день, якість виконання оцінюється як В, - учасник отримує 80% мотивацію (80% * ставка в день * кількість затрачених днів на виконання завдання);

с) затримки виконання завдання на 2 дні, якість виконання оцінюється як С, - учасник отримує 60% мотивацію (60% * ставка в день * кількість затрачених днів на виконання завдання);

д) затримки виконання завдання на 3 дні, якість виконання оцінюється як D, - учасник отримує 40% мотивацію (40% * ставка в день * кількість затрачених днів на виконання завдання);

е) затримки виконання завдання на 4 дні, якість виконання оцінюється як Е, - учасник отримує 20% мотивацію (20% * ставка в день * кількість затрачених днів на виконання завдання).

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки MS Project Online:

- керівник проектами встановлює кожному ресурсу оцінку за якість виконання призначеного йому завдання на підставі затвердженого у Таблиці 1 Розрахунку мотивації.

Таблиця 1 – Розрахунок мотивації учасників проекту

Шкала оцінювання	A	B	C	D	E
Відхилення	0 днів	1 день	2 день	3 день	4 день
% мотивації	100% * ставка/дн	80% * ставка /дн	60% * ставка /дн	40% * ставка /дн	20% * ставка /дн

Для виконання процесу «Формування звіту про витрати на мотивацію учасників» на основі оцінки якості виконання завдань учасниками керівник офісу управління проектами формує звіт про витрати на мотивацію учасників.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- керівник офісу управління проектами формує звіт про витрати на мотивацію учасників у MS Project Online та MS Project Excel Рис.4;
- керівник офісу управління проектами передає звіт про витрати на мотивацію учасників керівнику портфелю проектів до 28 числа кожного періоду.



Рис. 4 – Звіт про витрати на мотивацію

Для виконання процесу «Погодження звіту про витрати на мотивацію» керівник портфелю проектів вивчає, погоджує/не погоджує, затверджує звіт про витрати на мотивацію учасників.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- керівник портфелю проектів погоджує та візує звіт про витрати на мотивацію учасників;
- керівник офісу управління проектами відстежує та передає на візування ключовим особам та на виплату мотивації учасникам до закінчення періоду.

Для виконання процесу «Виплата мотивації учасникам» затверджений та завізований документ «Звіт про витрати на мотивацію» передається призначеному відповідальному фахівцю бухгалтерського відділу для виплати мотивації учасникам.

Для реалізації задачі виконуються наступні кроки:

- керівник офісу управління проектами передає до бухгалтерського відділу завізований Звіт про витрати на мотивацію.
- фахівець бухгалтерського відділу здійснює виплату учасникам управління проектами.

Обговорення результатів

Система мотивації учасників проектного управління складається із регламентованої процедури мотивації, інформаційної системи та залученого персоналу. Функціонування системи мотивації учасників забезпечується ключовими співробітниками компанії, залученими до проектного управління, а саме керівником портфелю проектів, керівником офісу управління проектами, керівником та адміністратором проекту, вузькоспеціалізованими фахівцями. Регламентована процедура описана у вигляді деталізації процесів мотивації з зазначенням відповідальних, вхідних та вихідних документів мотивації в управлінні проектом. Запропонована реалізація мотивації шляхом застосування розробленої моделі розрахунку мотивації співробітників компанії, залучених до реалізації проектів компанії. Модель розроблена та реалізована у корпоративній інформаційній системі управління проектами MS Project Online, запрограмований звіт з мотивації у MS Project Excel. Описані процеси мотивації учасників управління проектом інтегруються у корпоративну систему управління проектами та враховують особливості системи управління компаній з функціональною, спрощеною чи збалансованою організаційною структурою.

Висновки

В результаті проведеного дослідження було визначено шлях впровадження системи мотивації

учасників проектного управління з використанням MS Project Online в компаніях з функціональною, спрощеною чи збалансованою організаційною структурою.

Список літератури

1. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK) [Электронный ресурс]. – Project Management Institute, 2013. – 5-ое изд. – Режим доступа: \www/URL: http://kapponerko.ucoz.net/_ld/0/1_P-M-B-o-K-5-Rus.pdf.
2. Current PMI Standards Projects inShare [Electronic resource] // Project Management Institute. — 2016. — Available at: \www/ URL: <http://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/about/current-projects>.
3. Бушуев, С. Д. Креативные технологии управления проектами и программами / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев, В. Б. Яковенко, Е. В. Гриша, С. В. Дзюба, А. С. Войтенко. — К.: Саммит-Книга, 2010. — 768 с.
4. Lauffer, A. Mastering the Leadership Role in Project Management Practices that Deliver Remarkable Results /A. Lauffer. — FT Press, 2012. — 246 p.
5. Богданов, В. В. Управление проектами. Корпоративная система – шаг за шагом / В. 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. 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" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2010. – № 9. – С. 149-156.
8. Оберемок, И. И. Гибкий подход к внедрению корпоративной системы управления проектами / И. И. Оберемок // Управление развитием сложных систем. – 2014. – № 17. – С. 42–45.
9. Оберемок, И. И. Пути развития корпоративных систем управления проектами / И. И. Оберемок // Управление развитием сложных систем. – 2013. – № 15. – С. 49–52.
10. Оберемок, И.И. Развитие системы управления проектами на базе сбалансированной системы показателей оценки качества. / И. И. Оберемок, Н. В. Оберемок // Управление развитием сложных систем. – 2011. - №8. – С. 35 –38.
11. Бушуев, Д. А. Нелинейная динамика развития организаций / Д. А. Бушуев, С. Д. Бушуев // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПИ" зб. наук. пр. 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.
12. Внедрение корпоративной системы управления проектами на базе MS Project «под ключ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.oberemokii.com>.
13. Решение конфликтов. Мотивация [Электронный ресурс]// PM Way – управляй комфортно. – 2013. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.pm-way.com/materials/material/show/131>.

14. Зацерковный, В. И. Интеграция процессов управления проектами на этапе планирования в корпоративную систему управления / В. И. Зацерковный, И. И. Оберемок, Н. В. Оберемок, Н.Ю. Сторченкова // Technology Audit And Production Reserves. – 2016. – 6 (1(32)), С. 35-42.– doi:<http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2016.86176>.
15. 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», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 134-139. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42. 22.

Bibliography (transliterated)

1. Project Management Body of Knowledge (PMBOK®Guide). Ed. 5. (2013). Project Management Institute. Available: http://kapponerko.ucoz.net/_ld/0/1_P-M-B-o-K-5-Rus.pdf.
2. Current PMI Standards Projects inShare [Electronic resource] // Project Management Institute. — 2016. — Available at: \www/ URL: <http://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/about/current-projects>.
3. Bushuev, S., Bushueva, N., Babaev, I., Yakovenko, V., Grysha, I., Dzuba, S., Voitenko, A. Kreativnye tehnologi upravleniya proyektami i programmami, 2010, Kyiv: Sammit-Kniga, 768.
4. Lauffer, A. Mastering the Leadership Role in Project Management Practices that Deliver Remarkable Results, FT Press, 2012, 246 p.
5. Bogdanov, V. Upravleniye proyektami. Korporativnaya sistema – shag za shagom. M.: Mann, Ivanov & Ferber, 2012, 248 p.
6. Strategicheskoye planirovaniye dlya upravleniya proyektami s ispol'zovaniyem modeli zrelosti: per. s. Angl. M.: Company IT, M.: DMK Press, 2003, 320 p.
7. Kondrashchenko, V., Moskalenko, V., & Zakharova, T. Arkhitektura SPPR dlya postroyeniya skhemy finansirovaniya investitsionnogo proyekta. Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. Strategic management, portfolio, program and project management, 2010, 9, 149-156.
8. Oberemok, I. Flexible approach to the implementation of corporate project management system. Management of Development of Complex Systems, 2014, 17, 42–45.
9. Oberemok, I. Approaches of development of the corporate project management system. Management of Development of Complex Systems, 2015, 15, 49–52.
10. Oberemok, I., Oberemok, N. Razvitiye sistemy upravleniya proyektami na baze sbalansirovannoy sistemy pokazateley otsenki kachestva. Management of Development of Complex Systems, 2011, 8, 35 –38.
11. Bushuev, D., Bushuev, S. Nelineynaya dinamika razvitiya organizatsiy. Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. Strategic management, portfolio, program and project management, 2016, 1 (1173), 3-8, doi: 10.20998/2413-3000.2016.1173.1.
12. Introduction of the corporate project management system on the basis of MS Project. Available: <http://www.oberemokii.com>.
13. Reshenie konfliktov. Motivatsiia. PM Way – upravliai komfortno. 2013 Available: <http://www.pm-way.com/materials/material/show/131>.
14. Zatserkovnyi, V., Oberemok, I., Oberemok, N., & Egorchenkova, N. Integration of project management

processes at the planning stage to the corporate business processes. *Technology Audit And Production Reserves*, 2016, **6**(1(32)), 35-42, doi:<http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2016.86176>.

15. **Zatserkovnyi, V., Oberemok, I., Oberemok, N., Khlevna, Y.** Razvitiye elementov KSUP na baze rezul'tatov realizatsii protsessov upravleniya proyektami. *Bulletin of National*

Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. Strategic management, portfolio, program and project management, 2016, **42** (1214), 134-139, doi:[10.20998/2413-4295.2016.42.22](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2016.42.22).

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.

Vitalii Zatserkovnyi – doctor of science, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kiev, Chief of geoinformatics department, Kiev City, Ukraine; E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com.

Оберемок Іван Іванович – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри управління проектами, м. Київ, Україна; E-mail: oberemokii@gmail.com.

Ivan Oberemok – 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.

Natalia Oberemok – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of geoinformatics, Kiev City, Ukraine; E-mail: oberemokn@gmail.com.

Латишева Тетяна Володимирівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, асистент кафедри технологій управління, м. Київ, Україна; E-mail: latysheva550@gmail.com.

Tetiana Latysheva – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of technology management, Kiev City, Ukraine; E-mail: latysheva550@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Зацерковний, В. І. Впровадження системи мотивації учасників проектного управління компанії з використанням MS Project Online / **В.І. Зацерковний, І.І. Оберемок, Н.В. Оберемок, Т.В. Латишева** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 105-110. – doi:[10.20998/2413-4295.2017.23.17](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.23.17).

Please cite this article as:

Zatserkovnyi, V., Oberemok, I., Oberemok, N., Latysheva, T. Implementation of motivation system for project team using MS Project Online. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 105–110, doi:[10.20998/2413-4295.2017.23.17](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.23.17).

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Зацерковный, В. И. Внедрение системы мотивации участников проектного управления компании с использованием MS Project Online / **В.И. Зацерковный, И.И. Оберемок, Н.В. Оберемок, Н.Ю. Т.В. Латышева** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 105-110. – doi:[10.20998/2413-4295.2017.23.17](https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.23.17).

АННОТАЦИЯ Для компаний с иерархической организационной структурой для вовлечения сотрудников в проекты компании целесообразно использовать систему мотивации основанной на доплате за интенсивность. Система мотивации участников проектного управления состоит из регламентированной процедуры мотивации, реализованного в корпоративной информационной системе управления проектами метода расчета мотивации и вовлеченного персонала на проектные роли.

Ключевые слова: процессы управления проектом; корпоративная система управления проектами; КСУП; мотивация участников проектного управления; MS Project; MS Project Online.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 519.16:004.021

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.18

ПОБУДОВА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАТРИЦІ ВАРІАНТІВ ЛІНІЙНОГО РОЗКРОЮ

Г. М. КОДОЛА^{1*}, Б. Є. РОГОЗА²

¹ кафедра інформаційних систем, Українського державного хіміко-технологічного університету, Дніпро, УКРАЇНА

² кафедра інформаційних систем, Українського державного хіміко-технологічного університету, Дніпро, УКРАЇНА

*email:galina_kodola@udhtu.edu.ua

АНОТАЦІЯ В статті розглянутий комбінаторний алгоритм розрахунку раціональних варіантів лінійного розкрою матеріалів для побудови технологічної матриці варіантів розкрою малої та середньої розмірності. Наведені приклади розрахунків за алгоритмом

Ключові слова: лінійний розрій; технологічна матриця; алгоритм; варіант розкрою.

CONSTRUCTION A TECHNOLOGICAL MATRIX OF VARIANTS LINEAR CUTTING

G. KODOLA^{1*}, B. ROGOZA²

¹ Information Control Systems and Technology, The Ukrainian State Chemical-Technological University, Dnipro, UKRAINE

² Information Control Systems and Technology, The Ukrainian State Chemical-Technological University, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT The problem of linear cutting is found in many areas of industry: mechanical engineering, metallurgy, wood processing and garment industry, pulp and paper industry and others. Optimal cutting minimizes waste production, so this topic is relevant. The task of minimizing the waste production of cutting is preceded by the task of setting the maximum number of rational variants of cutting materials. The complexity of the problem, namely, the dimension of the cutting matrix and the number of variables for further optimization, is directly determined by the number of rational variants of cutting considered in the model. In the article a combinatorial algorithm for calculating rational variants of linear cutting of materials for constructing a technological matrix of small and medium dimension nesting variants is considered. The generating function for calculation the number of variants types of the cutting is used. The definition of all variants of cutting in the three-dimensional case is reduced to the search for all integer points of space near the plane constructed on the basis of the Diophantine equation. A block diagram of the algorithm for constructing the technological matrix of cutting in a general form is given. Numerical examples are considered. Carried out researches and computer calculations have shown that with a significant increase in the number of species parts that need to cut out the calculation card cutting increases geometrical progression law.

Keywords: line cutting; technological matrix; algorithm; variant of cutting.

Вступ

Задачі лінійного розкрою матеріалів виникають в багатьох галузях промисловості: машинобудуванні, металургії, деревообробній та швейній промисловості, целюлозно-паперовій промисловості та ін. Оптимальний розрій матеріалів дозволяє мінімізувати відходи виробництва, тому цій темі присвячені численні дослідження [1–3]. Близькою задачею до розкрою є задача лінійного пакування, яка виникає в різних галузях, зокрема в інформаційних системах [4].

Питання класифікації задач раціонального розкрою і пакування, були розглянуті в роботах [5–7]. В роботі [8] приведений огляд методів розв'язування класичних задач розкрою-пакування.

В роботі [9] розглянутий метод точної квадратичної регуляризації (EQR) розв'язку даного класу задач показав переваги для вирішення задач великої розмірності.

Постановка задачі лінійного розкрою матеріалів передбачає: маються вихідні заготовки заданого розміру L , які необхідно розкроїти на

m деталей заданої довжини q_1, q_2, \dots, q_m . Відома потреба b_1, b_2, \dots, b_m в заготовках відповідної довжини. Для математичної постановки задачі необхідно визначити технологічну матрицю варіантів розкрою («карта розкрою») вихідної заготовки на деталі заданої довжини. Дана матриця породжує матрицю A , де елемент a_{ij} означає кількість заготовках i -го виду, при j -тої технології розкрою. Пов'язуємо з кожною технологією позитивну цілу змінну x_j , яка показує скільки раз i -та технологія розкрою використовувалась. Для кожної технології розкрою визначим вектор залишків c . Тоді задача оптимального розкрою полягає в наступному:

Знайти

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n c_i x_i \mid \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq b_j, \right. \\ \left. \forall j = 1, \dots, m, x_i \geq 0, \text{ цілі} \right\}, \quad (1)$$

що дозволяє мінімізувати залишки розкрою.

Вирішенню задачі (1) передує робота по встановленню варіантів розкрою матеріалу. Оскільки

кількістю включених в модель варіантів безпосередньо визначається розмір матриці задачі і число змінних величин.

Ціль роботи

Розробити алгоритм, який дозволить сформуванню технологічну матрицю варіантів розкрою вихідної заготовки заданого розміру L на m видів деталей заданої довжини q_1, q_2, \dots, q_m .

Викладення основного матеріалу

На рис. 1 представлено варіанти розкрою вихідної заготовки на деталі заданої довжини.

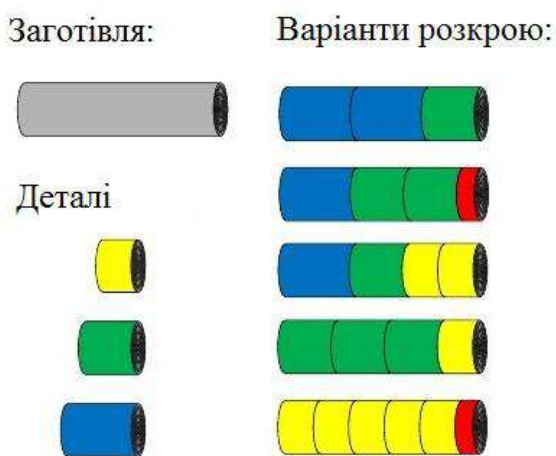


Рисунок 1– Формування варіантів розкрою

Для пошуку шуканого максимального набору варіантів розкрою необхідно організувати перебір всіх допустимих розкроїв. Але при великих значеннях m повний перебір є практично нерозв'язною задачею. У зв'язку з цим застосовують різні процеси обмеженого перебору. В окремих випадках це просто достроково перервний процес, тоді вектор a_i не обов'язково забезпечує мінімум функції (1) і отриманий розкрій є лише близьким к оптимальному (раціональний). В інших випадках організують цілеспрямований обмежений перебір, який забезпечує мінімум функції (1) за певну кількість кроків [2].

Доцільно заздалегідь виключити з розгляду явно нераціональні способи з настільки великим відходом, що вони майже напевно не увійдуть в оптимальний план.

Під великим відходом будемо розуміти, залишок заготовки після розкрою, який перевищує або дорівнює довжині мінімальної деталі, що повинні отримати. На такий крок доводиться йти свідомо, інакше число варіантів зросло б у багато разів.

Розглянемо алгоритм побудови технологічної матриці варіантів розкрою («карти розкрою»)

вихідної заготовки на деталі заданої довжини, який оснований на наступному жадному алгоритмі [10]:

Алгоритм

1. Відсортувати довжини деталей

$$q_1 \geq q_2 \geq \dots \geq q_m$$

2. Розкroїти заготовлю на максимальну кількість деталей 1-го виду:

$$a_{11} = \left\lfloor \frac{L}{q_1} \right\rfloor, i = 1$$

3. Обчислити довжину залишку матеріалу

$$y_1 = L \bmod q_1,$$

4. Перевірити довжину залишку

$$0 \leq y_i < q_m$$

якщо виконується умова, то перейти на шаг 5, інакше перейти на шаг 7.

5. Якщо $i < m$,

$$a_{i1} = 0,$$

тобто усіх інших деталей при даної технології буде 0.

6. Перейти на шаг 11.

7. $i = i + 1$, тобто перейти до деталі наступного виду

8. Залишок заготовки розкroїти на деталі i -го виду

$$a_{i1} = \left\lfloor \frac{y_{i-1}}{q_i} \right\rfloor$$

9. Обчислити довжину залишку матеріалу

$$y_i = y_{i-1} \bmod q_i,$$

Перейти на шаг 4.

11. Кінець. Отримана технологія розкрою.

Розглянемо приклад формування технології розкрою, використовуючи представлений алгоритм.

Приклад 1. Маємо заготовлю довжиною 21, яку необхідно розкroїти на деталі довжиною 2, 12 та 4.

Дотримуючись алгоритму, відсортуємо довжини деталей в порядку убавання, тобто отримаємо наступну послідовність довжин деталей: 12, 4, 2.

Розкroїмо заготовлю на деталі довжиною 12. Таких деталей вийде одна штука. Залишок від заготовки, рівний 9, більший від значення довжини мінімальної деталі, тому переходимо на сьомий крок алгоритму і використовуємо даний залишок для розкрою деталей довжиною 4. Таких деталей вийде 2

штуки із залишком заготівлі рівним 1, якого не вистачить для виготовлення деталей іншого виду, тобто виконується умова на четвертому кроці і переходимо на крок п'ять. Так як при побудові даної технології були розглянуті в повному обсязі не всі види деталей, то їх кількість встановлюємо рівним 0. Відповідно, отримали наступну технологію розкрою заготівлі довжиною 21 на деталі довжиною 12, 4, 2.

$$a_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Даний алгоритм дозволяє отримати технологію розкрою вихідної заготівлі тільки одного виду.

Для апріорного підрахунку кількості варіантів видів розкрою, використаємо математичний підрахунок, оснований на задачі про розмін [11].

Переформулюємо задачу про розмін до задачі про розкрій: визначити повне число варіантів розкрою заготовки довжиною L , на деталі довжиною q_1, q_2, \dots, q_m . Для чого необхідно побудувати твірну функцію (в комбінаториці генератриса, від англ. *generating function*) розкрою наступного загального виду:

$$f(x) = \frac{1}{(1-x^{q_1})(1-x^{q_2})(1-x^{q_3})\dots(1-x^{q_m})}$$

та розкласти її в ряд Тейлора. Шукана кількість варіантів розкрою точно дорівнює коефіцієнту перед x^L в ряду Тейлора.

Приклад 2. Заготівлю довжиною 12 розкrojти на деталі довжиною 2, 3 та 4. В даному випадку найкоротша деталь дорівнює 2, тоді максимальна довжина відходу дорівнює 1.

Складемо твірну функцію $f(x)$ та розкладемо її в ряд Тейлора:

$$f(x) = \frac{1}{(1-x^2)(1-x^3)(1-x^4)} = 1 + x^2 + x^3 + 2x^4 + x^5 + 3x^6 + 2x^7 + 4x^8 + 3x^9 + 5x^{10} + 4x^{11} + 7x^{12} + O(x^{13})$$

Тоді коефіцієнт при степені x^{12} встановлює кількість варіантів $N_1 = 7$ розкрою заготівлі з нульовими відходами. Аналогічно, кількість варіантів розкрою даної заготівлі з відходом 1 дорівнює коефіцієнту при x^{11} , тобто $N_2 = 4$. Загальна кількість варіантів дорівнює $N = N_1 + N_2 = 7 + 4 = 11$.

Розглянемо ще один приклад.

Приклад 3. Маємо заготівлю довжиною 21, яку необхідно розкrojти на деталі довжиною 2, 12 та 4.

Для підрахунку варіантів розкрою складемо твірну функцію та розкладемо її в ряд Тейлора:

$$f(x) = \frac{1}{(1-x^2)(1-x^4)(1-x^{12})} = 1 + x^2 + 2x^4 + 2x^6 + 3x^8 + 3x^{10} + 5x^{12} + 5x^{14} + 7x^{16} + 7x^{18} + 9x^{20} + 9x^{22} + O(x^{24})$$

З наведеної формули можна побачити, що всі степені членів ряду парні, оскільки потрібні довжини деталей парні. Задана заготівля довжиною 21 не може бути розкроєна безвідходно. При значенні відходів в 1 (тому що найкоротша деталь довжиною 2) число варіантів розкрою дорівнює коефіцієнту при x^{20} : $N = 9$.

Для побудови алгоритму, який дозволить побудувати усі варіанти розкрою, розглянемо геометричну інтерпретацію задачі в трьох вимірному випадку: знайти карту розкрою, тобто всі раціональні варіанти розкрою заготівлі довжиною L на деталі трьох видів довжиною a, b, c .

В строго безвідходному випадку кількість деталей в варіанті розкрою визначається з (діофантового) рівняння [12]:

$$ax + by + cz = L,$$

де x, y, z – невід'ємні цілі числа.

Геометрично рівняння являє собою площину в просторі. А задача зводиться до знаходження всіх точок площини, які мають цілочисельні координати.

Далі, якщо при розкрою допустимі відходи, наприклад, максимальної довжини h , то пошук цілочисельного розв'язку відбувається вже не на площині, а в просторовій області, що задається двома нерівностями:

$$L - h \leq ax + by + cz \leq L$$

Геометрично область являє собою прошарок між двома паралельними площинами товщиною:

$$\frac{h}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

Тоді пошук варіантів раціонального розкрою геометрично переформулюється так: знайти в області між двома паралельними площинами всі точки з цілочисельними координатами. Алгоритм реалізує послідовний перебір точок по кожному просторовому виміру.

Блок схема комбінаторного алгоритму для отримання всіх видів технологій представлена на рис. 1.

Підготовка до вирішення:

- відсортувати довжини деталей
-

$$q_1 \geq q_2 \geq \dots \geq q_m;$$

– визначити максимальне допустиме значення величини відходів. Для відсортованих довжин деталей, це деталь q_m ;

$$del < \min(q_i) = q_m, i = \overline{1, m};$$

– визначити максимальну кількість деталей по кожному виду, які можна отримати з початкової заготовки

$$a_i^{\max} = \left\lfloor \frac{L}{q_i} \right\rfloor, i = \overline{1, m}, j = j + 1;$$

– визначити максимальну кількість варіантів розкрою, використовуючи твірну функцію, N ;

– обнулити технологічну матрицю варіантів розкрою

$$a_{ij} = 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n.$$

Обговорення результатів

Використовуючи алгоритм, який представлений на рисунку 1 побудуємо технологічну матрицю варіантів розкрою для задачі, що розглянута в першому прикладі.

На етапі підготовки для вирішення:

відсортуємо довжини деталей в порядку убутання, тобто отримаємо наступну послідовність довжин деталей: 12, 4, 2;

максимальне допустиме значення величини відходів $del < \min(q_i) = q_m = 2$;

максимальна кількість деталей по кожному виду, які можна отримати з початкової заготовки

$$a^{\max} = \begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 10 \end{pmatrix};$$

з прикладу 3 нам відомо, що кількість варіантів розкрою дорівнює 9.

Результат формування матриці розкрою, використовуючи комбінаторний алгоритм розрахунку раціональних варіантів розкрою представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Технологічна матриця варіантів розкрою

Довжини деталей	Технології розкрою								
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
12	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	0	1	2	3	4	5	0	1	2
2	10	8	6	4	2	0	4	2	0

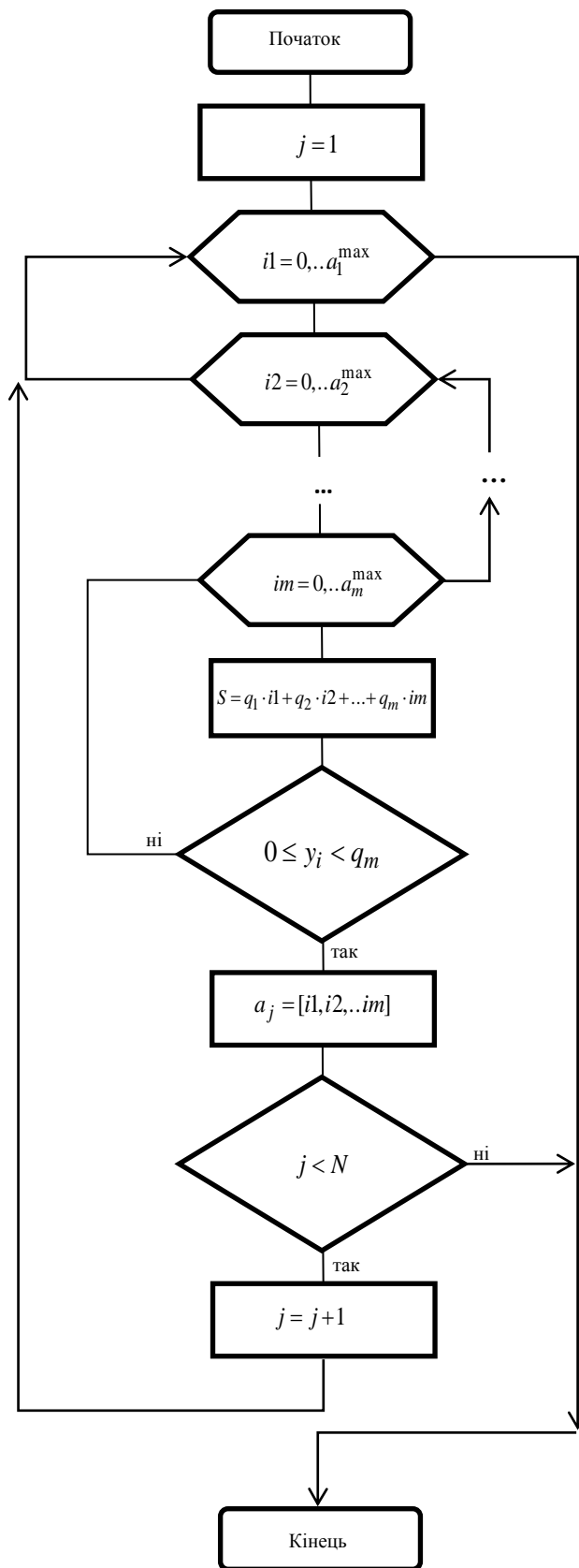


Рис. 1 – Блок-схема алгоритму побудови технологічної матриці варіантів розкрою

Висновки

Розглянутий в роботі комбінаторний алгоритм розрахунку раціональних варіантів розкрою дозволяє швидко і надійно будувати технологічні карти розкрою малого та середнього розміру.

Для підрахунку кількості варіантів видів розкрою використовується твірна функція. Кількість варіантів розкрою дорівнює коефіцієнту при степені довжини деталі при розкладанні твірної функції в ряд Тейлора.

Визначення всіх варіантів розкрою в тривимірному випадку зводиться до пошуку всіх точок простору біля площини, побудованої на основі діофантового рівняння.

Наведена блок-схема алгоритму побудови технологічної матриці розкрою в загальному випадку.

Розглянуті чисельні приклади.

При значному збільшенні кількості видів деталей m , що треба розкроїти, час розрахунку карт розкрою зростає за законом геометричної прогресії $t = O(a^m)$.

Список літератури

1. **Канторович, Л. В.** Рациональный раскрой промышленных материалов / **Л. В. Канторович, В. А. Залгаллер** // Изд. 3-е, испр. и доп. СПб.: [Невский Диалект], 2012. – 303 с.
2. **Мухачёва, Э. А.** Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ / **Э. А. Мухачёва** // Монография. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.
3. **Валиахметова, Ю. И.** Теория оптимального использования ресурсов Л. В. Канторовича в задачах раскрой-упаковки: обзор и история развития методов решения [Электронный ресурс] / **Ю. И. Валиахметова, А. С. Филиппова** // *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. – 2014. – № 1 (62). – 18. – С.186-197.
4. **Брейман, А. Д.** Рациональная организация данных аналитического компонента в индивидуальных информационных системах с использованием алгоритма упаковки с динамической внутренней границей объема [Электронный ресурс] / **А. Д. Брейман, М. В. Ульянов** // *Справочник. Инженерный журнал*. – 2004. – №12. – С. 17-22.
5. **Балабанов, В. Н.** Оптимизация раскроя рулонного металлопроката на слиттере / **В. Н. Балабанов., Ю. А. Скобцов** // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – 2010. – № 1(18). – С. 7-12.
6. **Dyckhoff, H.** Cutting and packing in production and distribution: A typology and bibliography / **H. Dyckhoff, U. Finke**. // Heidelberg: Physica-Verlag. – 1992. – 248 p.
7. **Wascher, G.** An improved typology of cutting and packing problems / **G. Wascher, H. Haussner, H. Schumann** // *European Journal of Operational Research*. – 2007. – Vol. 183. – 3. – P.1109-1130.
8. **Балабанов, В. Н.** Многокритериальная задача рационального планирования продольного раскроя

- рулонного материала [Электронный ресурс] / **В. Н. Балабанов** // *Проблемы информационных технологий*. – 2009. – №2 (006).
9. **Косолап, А. И.** Оптимизация в задачах линейного раскрою материалов / **А. И. Косолап, Г. М. Кодола** // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ"*. – 2016. – № 44 (1216) – С. 56-66. – doi:10.20998/2411-0558.2016.44.05.
10. **Кормен, Т.** Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. : Пер. с англ. / **Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн** // М. : Издательский дом «Вильямс», 2011. – 1296 с.
11. **Грэхем, Р.** Конкретная математика. Основание информатики: Пер. с англ. / **Р. Грэхем, Д. Кнут, О. Паташник** // М.: Мир, 1998. – 703 с.
12. Diophantine Equation – Режим доступу: <http://mathworld.wolfram.com/DiophantineEquation.html>.

Bibliography (transliterated)

1. **Kantorovich, L. V., Zalgaller, V. A.** Racional'nyj raskroj promyshlennyh materialov. Izd. 3-e, ispr. i dop. SPb.: [Nevskij Dialekt], 2012, 303.
2. **Muhachjova, Je. A.** Racional'nyj raskroj promyshlennyh materialov. Primenenie ASU Monografija. – M.: Mashinostroenie, 1984, 176.
3. **Valiahmetova, Ju. I., Filippova, A. S.** Teorija optimal'nogo ispol'zovanija resursov L. V. Kantorovicha v zadachah raskroja-upakovki: obzor i istorija razvitija metodov reshenija. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta*, 2014, № 1 (62), 18, 186-197.
4. **Brejman, A. D., Ul'janov, M. V.** Racional'naja organizacija dannyh analiticheskogo komponenta v individual'nyh informacionnyh sistemah s ispol'zovanijem algoritma upakovki s dinamičeskoj vnutrennej granicej ob'ema Spravochnik. *Inženernyj zhurnal*, 2004, 12, 17-22.
5. **Balabanov, V. N., Skobcov, Ju. A.** Optimizacija raskroja rulonnogo metalloprokata na slittere. *Vіsник Donbas'koї derzhavnoї mashinobudivnoї akademії*, 2010, 1(18), 7-12.
6. **Dyckhoff, H.** Cutting and packing in production and distribution. A typology and bibliography Heidelberg: Physica-Verlag, 1992, 248.
7. **Wascher, G.** An improved typology of cutting and packing problems *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 183, 3, 1109-1130.
8. **Balabanov, V. N.** Mnogokriterial'naja zadacha racional'nogo planirovanija prodol'nogo raskroja rulonnogo materiala *Problemy informacionnyh tehnologij*, 2009, 2 (006).
9. **Kosolap, A. I., Kodola, G. M.** Optimizacija v zadachah linijnogo rozkroju materialiv. *Bulletin of NTU "KhPI"*, 2016, 44 (1216), 56-66, doi:10.20998/2411-0558.2016.44.05.
10. **Kormen, T., Lejerson, Ch., Rivest, R., Shtajn K.** Algoritmy: postroenie i analiz, 2-e izdanie. : Per. s angl. Moskva, Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2011, 1296.
11. **Grjehem, R., Knut, D., Patashnik, O.** Konkret'naja matematika. Osnovanie informatiki: Per. s angl. Moskva, Mir, 1998, 703.
12. Diophantine Equation. Rezhim dostupu: <http://mathworld.wolfram.com/DiophantineEquation.html>.

Відомості про авторів (About authors)

Кодола Галина Миколаївна – викладач кафедри Інформаційних систем, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет»; м. Дніпро, Україна; e-mail: galina_kodola@udhtu.edu.ua.

Galyna Kodola – Information Control Systems and Technology, The Ukrainian State Chemical-Technological University, Dnipro, UKRAINE; e-mail: galina_kodola@udhtu.edu.ua.

Рогоза Борис Євгенійович – старший викладач кафедри Інформаційних систем, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет»; м. Дніпро, Україна; e-mail: boris_rogoza@udhtu.edu.ua.

Boris Rogoza – Information Control Systems and Technology, The Ukrainian State Chemical-Technological University, Dnipro, UKRAINE; e-mail: boris_rogoza@udhtu.edu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кодола, Г. М. Побудова технологічної матриці варіантів лінійного розкрою / **Г. М. Кодола, Б. Є. Рогоза** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.18.

Please cite this article as:

Kodola, G., Rogoza, B. Construction a technological matrix of variants linear cutting. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 111–116, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.18.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кодола, Г. Н. Построение технологической матрицы вариантов линейного раскроя / **Г. Н. Кодола, Б. Е. Рогоза** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 111-116. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.18.

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрен комбинаторный алгоритм расчета рациональных вариантов линейного раскроя материалов для построения технологической матрицы вариантов раскроя малой и средней размерности. Приведены примеры расчетов с помощью алгоритма.

Ключевые слова: линейный раскрой; технологическая матрица; алгоритм; вариант раскроя.

Надійшла (received) 29.05.2017

УДК 004.051

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.19

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

В. Л. КОСТЕНКО^{1*}, С. Б. КОНДРАТЬЕВ², М. В. ЯДРОВА², Д. А. ПОПОВ³

¹ кафедра металлообрабатывающих станков, метрологии и сертификации, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

² кафедра информационных систем, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

³ кафедра электронных средств и информационно-компьютерных систем, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, УКРАИНА

*email: kvl777@ukr.net

АННОТАЦИЯ В статье представлены результаты исследований по созданию информационно-измерительной системы контроля параметров воздушной среды и обеспечения комфортного состояния человека. Показана возможность повышения эффективности системы – расширения функциональных возможностей, снижения энергопотребления в автономном режиме, массогабаритных показателей и стоимости, за счет использования современной элементной базы, в том числе микроконтроллера STM32F100. Приведены результаты разработки программного обеспечения микроконтроллера и визуализации параметров на мониторе. Результаты исследования могут иметь практическое применение при контроле и регулировании параметров воздуха и обеспечения комфорта в помещениях.

Ключевые слова: воздушная среда; измерение; микроконтроллер; код программы; датчик; система; эффективность.

INFORMATION SYSTEM OF MEASUREMENT AND CONTROL PARAMETERS OF THE AIR FRAMEWORK

V. KOSTENKO¹, S. KONDRATYEV², M. YADROVA², D. POPOV³

¹ department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

² department information systems, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

³ department electronic means and information-computer systems, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The article presents the results of studies on the creation of an information and measuring system for controlling air parameters and ensuring a comfortable human condition. Based on the analysis of known information on the air quality monitoring devices on the market, the possibility of improving the efficiency of such devices based on modern components of information and measurement equipment and microcontrollers STM32F100 is shown. Since the measurement of individual air parameters does not allow to provide such important indicators as the comfort of the environment and the informative nature of the results, special attention is paid to the expansion of the system's functionality in the framework of the system approach. The possibility of increasing the efficiency of the system is shown – the expansion of functionality, the reduction in power consumption in standalone mode, the mass-dimensional parameters and the cost of components compared to the known ones, due to the use of the STM32F100 microcontroller and the modern element base. The results of the software development of the microcontroller based on the IDE Coocox platform.. The main algorithm includes the interrogation of sensors, keyboards, the output of measurement results on the display and the color indicator, data processing and decision-making for switching on and off two or more relays for ventilation and air conditioning control. For visualization of parameters on the computer screen in the form of graphs, EXCEL tables, accumulation of a large amount of statistical data in the long-term analysis, the microcontroller is connected to a personal computer (PC) via a USB port for additional statistical processing of the received data. The front panel on the PC screen, created in the software package LabView. The results of the study can have practical application in controlling and regulating air and providing comfort in the premises.

Key words: air environment; measurement; microcontroller; code of the program; sensor; system; efficiency.

Введение

Состояние воздушной среды, ее температура, влажность, уровень CO₂ оказывает большое влияние на производительность труда, безопасность, физиологическое состояние человека, в том числе на скорость реакции и логичность мышления в работах, связанных с большим количеством обработки информации [1]. Особую актуальность контроль параметров воздушной среды имеет в городах и на промышленных предприятиях с учетом высокого

уровня загрязнений [2]. Системы измерения и контроля параметров воздушной среды имеют широкое применение на производстве и в быту, при этом такие системы в современном исполнении должны не только измерять параметры воздушной среды, но и регулировать их, а также иметь возможность длительно работать в автономном режиме при отключении питания в сети электроснабжения.

В настоящее время известна достаточно обширная номенклатура устройств измерения и

контроля параметров воздушной среды, в том числе, с выводом показаний на мобильный телефон [3–7]. Известны устройства контроля параметров воздуха в составе систем контроля санитарно-гигиенических факторов на рабочем месте на основе цифрового прибора Дельфин-1М [8, 9]. Из сравнительных исследований таких устройств можно сделать вывод о недостаточном представлении на рынке информационно-измерительной техники недорогих, экономичных, малогабаритных систем с широкими функциональными возможностями, что ограничивает широкое распространение таких систем в быту и на производстве.

Исходя из сказанного, одним из направлений дальнейших исследований в технике контроля параметров воздушной среды является повышение эффективности используемых в этой области устройств. Современные технологии позволяют расширить функциональные возможности таких устройств, снизить их себестоимость, энергопотребление и размеры, что даст возможность поставить системы измерения и контроля воздушной среды в каждый офис и дом [10 – 12].

Цель и задачи работы

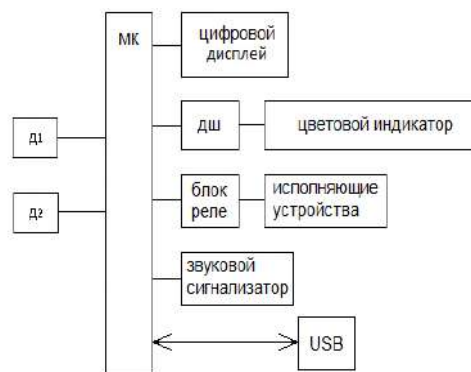
Целью данной работы является расширение функциональных возможностей устройства, снижение массогабаритных показателей, энергопотребления, себестоимости прибора за счет использования современной элементной базы и современных информационных технологий.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- анализ известных устройств контроля параметров воздушной среды;
- разработка структурной схемы системы измерения и контроля параметров воздушной среды;
- реализация аппаратной части системы контроля параметров воздушной среды;
- разработка программной модели и кода программы работы микроконтроллера на базе языка C;
- организация связи микроконтроллера с персональным компьютером.

Разработка информационной системы измерения и контроля параметров воздушной среды

Структурная схема системы измерения и контроля параметров воздушной среды представлена на рис. 1



ДТ – датчик температуры и влажности; Д2 – датчик уровня CO₂; МК – микроконтроллер; ДШ – дешифратор; USB – универсальный последовательный интерфейс

Рис. 1 – Структурная схема системы измерения и контроля параметров воздушной среды

Для построения системы использованы современные комплектующие, которые позволяют решить поставленные задачи.

В устройстве использован 32-х разрядный микроконтроллер STM32F100RB фирмы STMicroelectronics, оснащенный современным быстродействующим ARM ядром, с максимальной тактовой частотой 24 МГц. Микроконтроллер имеет встроенный 16 канальный 12 разрядный АЦП, обеспечивающий подключение не только цифровых, но и аналоговых датчиков, обладает двумя 12 разрядными ЦАП, обеспечивающими работу исполняющих устройств, имеет семь коммуникационных интерфейсов, в том числе UART, обеспечивающий передачу данных в ПК, диапазон питающих напряжений 2,0–3,6 В, имеет энергосберегающий режим.

В процессе измерений микроконтроллер производит опрос датчиков температуры и влажности ДТ и уровня CO₂, подключенных через цифровую шину WIRE, и получает значения этих параметров. Для измерения температуры и влажности выбран цифровой датчик DHT22, измеряющий температуру в диапазоне от –40 до +80 °С с погрешностью не более 0,5 °С, влажность в диапазоне от 0 до 100 % с погрешностью не более 0,1 %, а в качестве датчика уровня CO₂ – цифровой датчик MH-Z19, рабочий диапазон которого 0–5000 ppm, погрешность измерения 50 ppm. Микроконтроллер производит прием данных, их обработку по заданному алгоритму, сравнение с определенными уровнями нормы для принятия решения по включению/выключению реле, управляющих исполнительными устройствами (вентиляционными заслонками, вентиляторами, кондиционерами и др.). Полученные значения параметров выводятся на цифровой дисплей в виде текстовой информации и на цветовой индикатор уровня CO₂ в виде светящейся линии, разделенной на 3 сектора – норма (зеленый), завышенный уровень CO₂ (желтый) и превышающий заданную норму

(красный). При превышении допустимых уровней микроконтроллер также подает сигнал на звуковой сигнализатор.

Для визуализации параметров на экране компьютера в виде графиков, таблиц EXCEL, накопления большого объема статистических данных при долговременном анализе, для дополнительной статистической обработки полученных данных, микроконтроллер подключен к персональному компьютеру (ПК) через USB порт.

Для реализации целей исследования были разработаны алгоритм работы микроконтроллера STM32F100RB, программа обработки данных и передачи их в ПК на языке C.

Алгоритм работы микроконтроллера представлен на рис. 2.

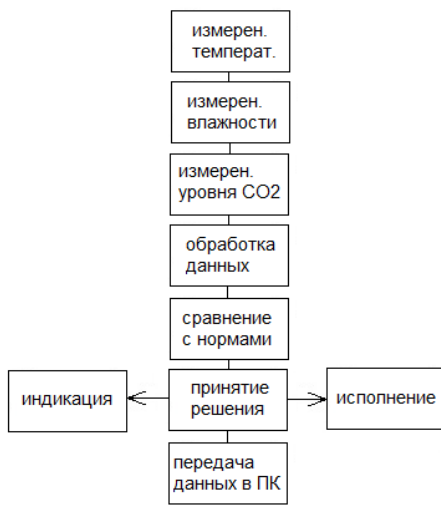


Рис.2 – Алгоритм работы микроконтроллера

Программная реализация базируется на основном фрагменте, который обеспечивает измерение температуры и передачу данных в персональный компьютер через последовательный интерфейс UART (USB). Код программы представлен на рис. 3.

```

while(1)
{
    //Блок приема температуры
    send_presence();
    delay(1600);
    one_wire_write_byte(0xCC);
    one_wire_write_byte(0x4E);
    one_wire_write_byte(0x4B);
    one_wire_write_byte(0x46);
    one_wire_write_byte(0x5F);
    send_presence();
    delay(1400);
    one_wire_write_byte(0xCC);
    one_wire_write_byte(0x44);
    delay(1500000);
    send_presence();
    delay(1400);
    one_wire_write_byte(0xCC);
  
```

```

    one_wire_write_byte(0xBE);
    delay(1000);
    uint16_t data = 0;
    for(uint8_t i = 0; i < 16; i++) data +=
    (uint16_t)one_wire_read_bit() << i;
    //Получаем истинное значение
    температуры, как /16
    float currentTemperature = data/16.0;
    //Преобразуем переменную float
    currentTemperature в 3 байта для передачи
    int temperatureWholePart =
    currentTemperature;
    int temperatureDecade =
    currentTemperature / 10;
    int temperatureOne =
    temperatureWholePart % 10;
    int temperatureFraction =
    (currentTemperature - temperatureWholePart + 0.01) * 10;
    char temper_tens = temperatureDecade +
    '0';
    char temper_ones = temperatureOne + '0';
    char temper_fraction = temperatureFraction
    + '0';
    //Выдаем в UART 3 байта температуры
    send_to_uart(temper_tens);
    send_to_uart(temper_ones);
    send_to_uart(',');
    send_to_uart(temper_fraction);
  }
  
```

Рис. 3 – Основной фрагмент программной реализации

Программируемая логика работы микроконтроллера на основе языка C позволяет гибко перенастраивать и модернизировать прибор в плане увеличения функциональности и алгоритмов обработки входных данных, а также позволяет программно реализовать такой новый параметр, как «температура комфорта», получаемый на основе датчика температуры и влажности.

Внешний вид системы измерения и контроля параметров воздушной среды без корпуса представлен на рис. 4.

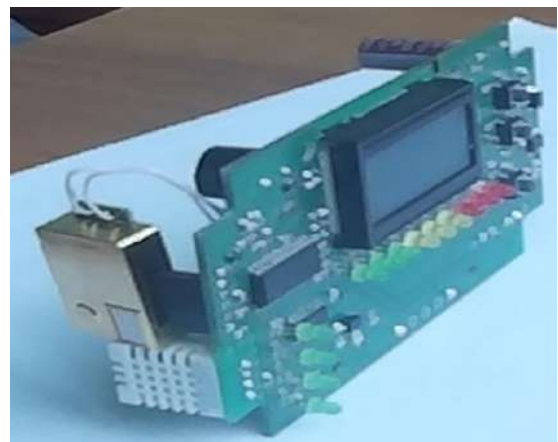


Рис. 4 – Внешний вид системы измерения и контроля параметров воздушной среды

Анализ результатов исследования

Калибровка и проверка работоспособности информационной системы измерения и контроля параметров воздушной среды проводились в камере холода, температуру в которой заранее доводили до нижнего значения номинальной температуры с учетом времени достижения теплового равновесия, в камере тепла, температуру которой заранее доводили до верхнего значения номинальной температуры с учетом времени достижения теплового равновесия, а также в камере влаги с допустимыми отклонениями относительной влажности и температуры. Уровень CO₂ проверялся в закрытом помещении. Калибровка цифрового датчика уровня CO₂ осуществлялась на открытом воздухе. Достоверность результатов контроля параметров воздушной среды предлагаемым цифровым измерителем обеспечивалась калибровкой прибора и сравнением результатов с результатами измерений с помощью разработанной нами ранее и тестированной измерительной системы [8].

На основании анализа результатов исследований установлено что энергопотребление системы по сравнению с аналогами [3–9] и время работы без заряда снижены в 1,5–2 раза. Микроконтроллер, при тактовой частоте 8 МГц, потребляет ток 2 мА и в промежутках между измерениями переходит в энергосберегающий режим. Датчик уровня CO₂ MH-Z19 в рабочем режиме потребляет ток не более 18 мА, его напряжение питания составляет 5 В. Датчик температуры и влажности DHT22 потребляет ток не более 2,5 мА при напряжении питания от 3 до 5 В. Результаты натурных испытаний показали, что суммарный ток потребления устройства в автономном режиме не превышает 20 мА. С учетом суммарного энергопотребления, при использовании литий-полимерного аккумулятора емкостью 2000 мАч, время работы устройства без заряда составит не менее 100 часов, что в 1,5–2 раза больше, чем у аналогов, при этом представленный нами прибор позволяет обеспечить достоверный контроль таких параметров воздушной среды, как температура в диапазоне от –40 до +80 °С, влажность в диапазоне от 0 до 100 %, CO₂ в диапазоне от 0 до 5000 ppm при габаритах 120x80x30 мм, весе 0,17 кг, что меньше габаритно-весовых показателей известных аналогичных устройств. Себестоимость устройства без учета персонального компьютера составляет 1500 грн, что меньше себестоимости аналогов [3–9].

В системе аппаратно и программно обеспечено подключение персонального компьютера через USB интерфейс, что значительно расширяет функциональные возможности устройства, а именно, обеспечивается возможность дистанционного получения измерительных данных с последующей их обработкой, возможность накопления большого объема статистических данных для долговременного анализа, ведения статистики зависимости состояния

персонала от условий воздушной среды (как материал для медицинских исследований), визуализации параметров на экране компьютера в виде графиков на базе программы LabView и преобразования накопленных данных в таблицы формата EXCEL.

Лицевая панель на экране ПК, созданная в программном пакете LabView, представлена на рис. 5.

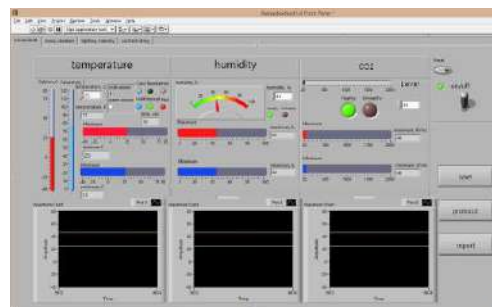


Рис. 5 – Лицевая панель, созданная в программном пакете LabView

Выводы

В работе проведен анализ представленных на рынке устройств измерения и контроля параметров воздушной среды и сделан вывод о возможности повышения эффективности таких устройств – расширения функциональных возможностей, снижения энергопотребления в автономном режиме, массогабаритных показателей и стоимости за счет использования современной элементной базы.

Разработана структурная схема и реализована аппаратная часть системы измерения и контроля параметров воздушной среды на основе современной элементной базы, в том числе микроконтроллере STM32F100RB. Предусмотрен вывод параметров на цифровой дисплей в виде текстовой информации и на цветовой индикатор уровня CO₂ – в виде светящейся линии. При превышении допустимых уровней сигнал подается на звуковой сигнализатор. Системы не только измеряют параметры воздушной среды, но и регулирует их, управляя исполнительными устройствами (вентиляционными заслонками, вентиляторами, кондиционерами и др.). Предусмотрена возможность подключения к системе персонального компьютера.

Разработан алгоритм работы микроконтроллера STM32F100RB, программа обработки данных и передачи их в ПК на языке C.

Предложенная система за счет использования современной элементной базы и соответствующего программного обеспечения имеет более высокую по сравнению с аналогами эффективность, пониженное энергопотребление при автономном выполнении оперативного контроля температуры, влажности и уровня CO₂, уменьшенными массогабаритными показателями и себестоимостью.

Подключение персонального компьютера значительно расширяет функциональные

возможности устройства, а именно, обеспечивается возможность дистанционного получения данных с последующей их обработкой, возможность накопления большого объема статистических данных для последующего анализа, ведения статистики зависимости состояния персонала от условий воздушной среды, визуализации параметров на экране компьютера в виде графиков и таблиц формата EXCEL. Внедрение предложенной системы позволит повысить производительность труда и обеспечить безопасность и комфортное состояние человека.

Список литературы

1. Sokolova, H. Evaluation of thermo-hygic microclimate parameters in the work environment / H. Sokolova, R. Kralikova, A. Peskova // *The Holistic Approach to Environment*. – 2013. – №3 (1). – P. 53-59.
2. Kalibatas, D. Multiple criteria analysis of indoor climate at the workplace / D. Kalibatas, E. K. Zavadskas // *In Proc. of the 9-th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"*, Vilnius: Technika. – 2007. – P.141-142.
3. Приборы контроля параметров воздушной среды. Метеометры МЭС200 А [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.sovpribor.ru/images/stories/OtherImages/2/upload/manuals/Pasport_mes-200.pdf.
4. Портативный гигрометр HygroPalm 2 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.analitlab.ru/hydropalm2>.
5. MS6702 цифровой термогигрометр [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/MS6702-digital-thermo-hygrometer-of-multifunction/32463472607.html?spm=2114.41010508.4.19.u8pqGW>.
6. Промышленный термогигрометр testo 645 [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.testo.com.ru/catalog/parameter/humidity_handheld_devices/736/.
7. Whitesell, K. A System for Determining Indoor Air Quality from Images of an Air Sensor Captured on Cell Phones [Электронный ресурс] / K. Whitesell, B. Kutler, N. Ramanathan // Режим доступа: http://www.cs.cornell.edu/~destrin/resources/conferences/2008-Nov-4-Whitesell_Kutler_Raman.pdf.
8. Поперека, Е. Д. Совершенствование аппаратного и программного обеспечения контроля нормированных параметров производственных факторов / Е. Д. Поперека, В. Л. Костенко, Д. И. Зайцева, К. С. Тыманюк // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 4/3 (30). – С. 32-39.
9. Костенко, В. Л. Информационно-измерительная система контроля нормированных параметров производственных факторов / В. Л. Костенко, А. А. Николенко, Е. Д. Поперека, М. В. Ядрова, К. С. Тыманюк // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2014. – Вып. 3, № 9 (69). – С. 51-56.
10. Palmius, J. Criteria for measuring and comparing information system / J. Palmius // *Proceedings of the 30th Information Systems Research Seminar in Scandinavia IRIS*. – 2007. – Vol. 1. – P. 102-126.
11. Henne, S. Assessment of parameters describing representativeness of air quality in-situ measurement sites /

- D. Brunner, D. Folini, S. Solberg, J. Klausen, B. Buchmann // *Atmos. Chem. Phys.* – 2010. – № 10. – P. 3561-3581. – doi:10.5194/acp-10-3561-2010.
12. Kasar Amol R. WSN Based Air Pollution Monitoring System / Amol R. Kasar, Dnyandeo S. Khemnar, Nagesh P. Tembhurnikar // *International Journal of Science and Engineering Applications (IJSEA)*. – 2013. – V. 2 – № 4, – P. 55-59, 2013.

Bibliography (transliterated)

1. Sokolova, H., Kralikova, R., Peskova, A. Evaluation of thermo-hygic microclimate parameters in the work environment, *The Holistic Approach to Environment*, 2013, №3 (1), 53-59.
2. Kalibatas, D., Zavadskas, E. K. Multiple criteria analysis of indoor climate at the workplace, *In Proc. of the 9-th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques"*, Lithuania. Vilnius: Technika, 2007, 141-142.
3. Pribory kontrolya parametrov vozduшной sredy. Meteometry MES200 A [Yelektronniy resurs] / Rezhim dostupa: http://www.sovpribor.ru/images/stories/OtherImages/2/upload/manuals/Pasport_mes-200.pdf.
4. Portativnyy gigrometr HygroPalm 2 [Yelektronniy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.analitlab.ru/hydropalm2>.
5. MS6702 tsifrovoy termogigrometr [Yelektronniy resurs] / Rezhim dostupa: <https://ru.aliexpress.com/item/MS6702-digital-thermo-hygrometer-of-multifunction/32463472607.html?spm=2114.41010508.4.19.u8pqGW>.
6. Promyshlennyy termogigrometr testo 645 [Yelektronniy resurs] / Rezhim dostupa: http://www.testo.com.ru/catalog/parameter/humidity_handheld_devices/736/.
7. Whitesell, K. A., Kutler, B., Ramanathan, N. System for Determining Indoor Air Quality from Images of an Air Sensor Captured on Cell Phones [Yelektronniy resurs], Rezhim dostupa: http://www.cs.cornell.edu/~destrin/resources/conferences/2008-Nov-4-Whitesell_Kutler_Raman.pdf.
8. Popereka, Ye. D., Kostenko, V. L., Zaytseva, D. I., Tymanyuk K. S. Sovershenstvovaniye apparatnogo i programmnoho obespecheniya kontrolya normirovannykh parametrov proizvodstvennykh faktorov, *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva*, 2016, 4/3 (30), 32-39.
9. Kostenko, V. L., Nikolenko, A. A., Popereka, Ye. D., Yadrova, M. V., Tymanyuk, K. S. Informatsionno-izmeritel'naya sistema kontrolya normirovannykh parametrov proizvodstvennykh faktorov, *Skhidno-Evropeys'kiy zhurnal peredovikh tekhnologiy*, №3/9 (69). – 2014, 51-56. doi:10.15587/1729-4061.2014.25419.
10. Palmius, J. Criteria for measuring and comparing information system, *Proceedings of the 30th Information Systems Research Seminar in Scandinavia IRIS*, 2007, 1, 102-126.
11. Henne, S., Brunner, D., Folini, D., Solberg, S., Klausen, J., Buchmann, B. Assessment of parameters describing representativeness of air quality in-situ measurement sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 2010, 10, 3561-3581, doi:10.5194/acp-10-3561-2010
12. Kasar Amol R., Dnyandeo S. Khemnar, Nagesh P. Tembhurnikar WSN Based Air Pollution Monitoring System, *International Journal of Science and Engineering Applications (IJSEA)*, 2013, 2, 4, 55-59.

Сведения об авторах (About authors)

Костенко Виталий Леонидович – доктор технических наук, профессор, Одесский национальный политехнический университет; кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации; г. Одесса, Украина; e-mail: kv1777@ukr.net.

Vitaliy Kostenko – doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa National Polytechnic University, department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Odessa, Ukraine; e-mail: kv1777@ukr.net.

Кондратьев Сергей Борисович – старший преподаватель, Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем, г. Одесса, Украина, e-mail: kv1777@ukr.net.

Sergey Kondratyev – major teacher, Odessa National Polytechnic University, department of Information Systems, Odessa, Ukraine; e-mail: kv1777@ukr.net.

Ядрова Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем, г. Одесса, Украина; e-mail: yadrova@opu.ua.

Marina Yadrova – Associate Professor, Odessa National Polytechnic University, Department of Information Systems, Odessa, Ukraine; e-mail: yadrova@opu.ua.

Попов Дмитрий Александрович – аспирант, Одесский национальный политехнический университет, кафедра электронных средств и информационно-компьютерных систем, г. Одесса, Украина; e-mail: popov.d@ukr.net.

Dmitry Popov – graduate student, Odessa National Polytechnic University, Department electronic means and information-computer systems, Odessa, Ukraine; e-mail: popov.d@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Костенко, В. Л. Информационная система измерения и контроля параметров воздушной среды / **В. Л. Костенко, С. Б. Кондратьев, М. В. Ядрова, Д. А. Попов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.19.

Please cite this article as:

Kostenko, V., Kondratyev, S., Yadrova, M., Popov, D. Information system of measurement and control parameters of the air framework. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.19.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Костенко, В. Л. Інформаційна система вимірювання та контролю параметрів повітряного середовища / **В. Л. Костенко, С. Б. Кондратьєв, М. В. Ядрова, Д. О. Попов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 117-122. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.19.

АНОТАЦІЯ В статті наведено результати досліджень по створенню інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів повітряного середовища та забезпечення комфортного стану людини. Показана можливість підвищення ефективності системи – розширення функціональних можливостей, зниження енергоспоживання в автономному режимі, масогабаритних показників та вартості за рахунок використання сучасної елементної бази. Наведено результати розробки програмного забезпечення мікроконтролера та візуалізації параметрів на моніторі. Результати дослідження можуть мати практичне використання при контролі та регулюванні параметрів повітря та забезпеченні комфорту в приміщеннях.

Ключові слова: повітряне середовище; вимірювання; мікроконтролер; код програми; датчик; система; ефективність.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 378.4:004.65

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.20

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА У ПРОВІДНИХ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ УКРАЇНИ

А. М. ПЕЛЕЩИШИН¹, Н. С. ВОВК^{2*}

¹ кафедра соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ «Львівська політехніка, Львів, УКРАЇНА

² кафедра соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ «Львівська політехніка, Львів, УКРАЇНА

*email: gnatyska@gmail.com

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена аналізу основних компонентів інформаційного середовища в університетах. Автори дають характеристику основних документних потоків в університетах. Проведено порівняльний аналіз наявної освітньої системи в Україні з аналогами провідних країн світу. Пропонуються інформаційно-аналітичні системи, які будуть використовуватися для управління інформаційними і документальними середовищами в університеті. Як висновок запропоновано технічні рішення щодо впровадження інформаційних систем в основні структурні підрозділи університетів. **Ключові слова:** освіта; університети; інформаційне середовище; інформаційно-аналітична система; електронний документ; електронний архів.

FORMATION OF THE INFORMATION ENVIRONMENT IN UKRAINIAN LEADING UNIVERSITIES

A. PELESHCHYSHYN¹, N. VOVK²

¹ Department of Social Communications and Information Activities, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

² Department of Social Communications and Information Activities, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The article considers the actual problem of analysis of the main components of informational environment in the universities. The characteristics of the chief documents load at universities are provided. The comparative analysis of existing educational systems in Ukraine with the educational systems of leading world countries is carried out. The information and analysis systems that will be used to manage information and documentary environment at the university is provided by researchers. The informational and analytical systems, which use in order to manage the informational and documental environment at the university, are proposed. The aim of the study is the research of present stage of formation of information environment leading universities of Ukraine, which have a long history and large array of documentary information. Such arrays are currently semistructured and required not theoretical research, practical application, and various information systems for their regulation. The main problem in the organization of document-information space of modern higher education is a lack of technical and financial resources and paying insufficient attention to the lack of paper documents. A significant disadvantage of working with paper carriers is complicated scanning their further inclusion in the information system. These defects can be solved by developing clear rules for systematization and structuring the storage of paper documents and their electronic versions. In summary, technical solution for implementing information systems in main university department is proposed.

Keywords: education; universities; information environment; information-analytical system; electronic document; electronic archive

Вступ

Багаторічний досвід діяльності провідних вищих навчальних закладів України тісно пов'язаний із накопиченням документної бази. В умовах стрімкого розвитку сучасного інформаційного суспільства сьогодні гостро постає проблема упорядкування інформаційно-документаційного простору сучасної вищої школи. Нагромаджений протягом років науковий, освітній, дослідний та інший потенціал потребує чіткої класифікації та систематизації. Однією з необхідних умов подальшого розвитку університетів є визначення основних критеріїв структуризації документальної бази діяльності, виділення підсистем та компонентів і встановлення між ними зв'язків. Такий підхід дасть можливість провадити якісне управління університетом та виділити основні шляхи вдосконалення управлінської документації.

Мета роботи

Мета роботи полягає у дослідженні сьогоденного етапу формування інформаційного середовища провідних вищих навчальних закладів України, які володіють не лише багаторічною історією, а й великим масивом документної інформації. Такі масиви на сьогодні є слабоструктуровані і вимагають не лише теоретичного дослідження, а й практичного застосування різноманітних інформаційних систем для їх впорядкування.

Виклад основного матеріалу

Сьогодні проблема визначення інформаційно-документаційного поля університетів постає перед усіма без винятку вищими навчальними закладами. Проте дослідники у цій галузі не є консолідованими,

чим і пояснюється брак якісних наукових публікацій з цієї тематики.

Практики у своїй діяльності трохи ширші теоретичних досліджень.

Потужною відкритою навчальною платформою є спільнота Moodle, яка призначена для забезпечення педагогів, адміністраторів та студентів єдиною надійною, безпечною та інтегрованою системою для створення персоналізованого середовища навчання. Дана спільнота рієнтована на організацію взаємодії між викладачем та учнями, хоча підходить і для організації традиційних дистанційних курсів, а також підтримки очного навчання. Moodle має широкий набір функціональності, притаманний платформам електронних систем навчання, системам управління курсами (CMS), системам управління навчанням (LMS) або віртуальним навчальним середовищам (VLE).

Крім того, часто університети застосовують вже наявні на ринку ІТ інформаційні системи, адаптувавши їх до свого виду діяльності. Однією із провідних систем, якою користується, зокрема, ряд польських ВНЗ є System Oriented University Study (USOS) – система, яка використовується для управління курсом навчання в середній школі.

Невід'ємною частиною глобальної консалтингової фірми Public Consulting Group є PCG Academia, створена з метою забезпечення впровадження ефективних рішень консалтингу та технічної підтримки ВНЗ в удосконаленні прийнятті управлінських рішень за рахунок використання надійних даних і аналітичних інструментів.

Попри те, що управлінська, кадрова, освітня та інша політика керівництва провідних ВНЗ України різняться між собою, на сьогодні не існує чітких критеріїв систематизації документної бази університетів. За таких умов аналіз інформаційного простору сучасного вищого навчального закладу є вкрай актуальним.

Дослідження сучасного стану документно-інформаційної бази університетів здійснювалося на основі одного із провідних вищих навчальних закладів в Україні та у Східній Європі – Національного університету «Львівська політехніка». За роки існування університету нагромадився не лише колосальний досвід підготовки кваліфікованих фахівців, а й документна база, яка є суттєвим доказом у свідченнях щодо престижності ВНЗ. Попри такий позитивний інформаційний вклад документів в історію університету, все ж постає проблема негайного структурування усього масиву даних: від початку заснування до сучасного стану розвитку університету.

Управлінська діяльність вищих навчальних закладів здійснюється відповідно до основної мети їх діяльності – надання якісної вищої освіти та розвиток потенціалу науково-педагогічних кадрів [1].

Характер наповнення документно-інформаційного простору окремих структурних підрозділів університету цілком відрізняється один від одного. Попри широке застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема окремих засобів електронного документообігу, більша частина масиву даних усіх університетів зберігається на паперових носіях. Це ускладнює підвищення якості управління Університетом.

На рис. 1. зображено типову схему електронно-паперового документообігу сучасних університетів. Аналізуючи запропонований варіант розподілення документів, можна чітко окреслити основні проблеми такого змішаного документообігу, зокрема:

- відсутність чіткого місця зберігання як електронних, так і паперових документів;
- відсутність злагодженої роботи між структурними підрозділами;
- наявність дублювання інформації у паперовому та в електронному вигляді.

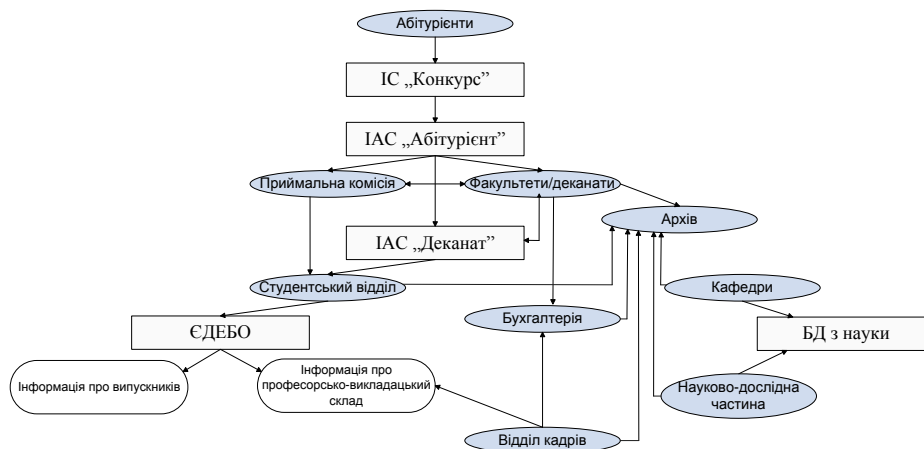


Рис. 1 – Типова схема взаємодії інформаційно-аналітичних систем і працівників Університету

На сьогодні в Україні вже існує система, запроваджена Міністерством освіти, яка об'єднує дані з усіх університетів в країні та забезпечує дотримання

стандартів. Це – Єдина державна електронна база освіти (ЄДЕБО) – це, свого роду, автоматизована система збирання, сертифікації, оброблення,

зберігання та захисту даних, у тому числі персональних, щодо надавачів та отримувачів освітніх послуг в Україні. Дані з цієї бази використовуються під час виготовлення: документів про освіту державного зразка, документів про вчені звання та наукові ступені, ліцензій на надання освітніх послуг та сертифікатів про акредитацію, учнівських (студентських) квитків. Для виконання вказаних функцій у БД повинна бути внесена інформація про студентство та викладацький склад ВНЗ.

Прототипом такої системи у Європі варто назвати польську інтегровану інформаційну систему науки і вищої освіти POL-ON. Проект реалізується як система партнерського проекту в рамках програми людського капіталу. POL-ON вміщує дані про всі польські наукові установи та базу даних наукових

публікацій і показників оцінки вищої освіти. Частина системи доступна тільки для державних службовців. Дана ІС складається з 21 модуля, розділених на основі тематичні області. Особливими тематичними напрямки системи POL-ON є: реєстр дослідників і науковців (створений з метою перевірки виконання наукового мінімум персоналу для окремих областей дослідження); перелік видів діяльності, популяризація науки (збір даних про премії і нагороди, отримані університетами або його співробітників); збір інформації про конференції); перелік патентів і досягнень (інформація про отримані патенти, винаходи, авторські права та ін.).

Отже, основною відмінністю між інформаційними системами ЄІОЕБО та POL-ON є наявність в останньої окремої БД про наукову діяльність ВНЗ.

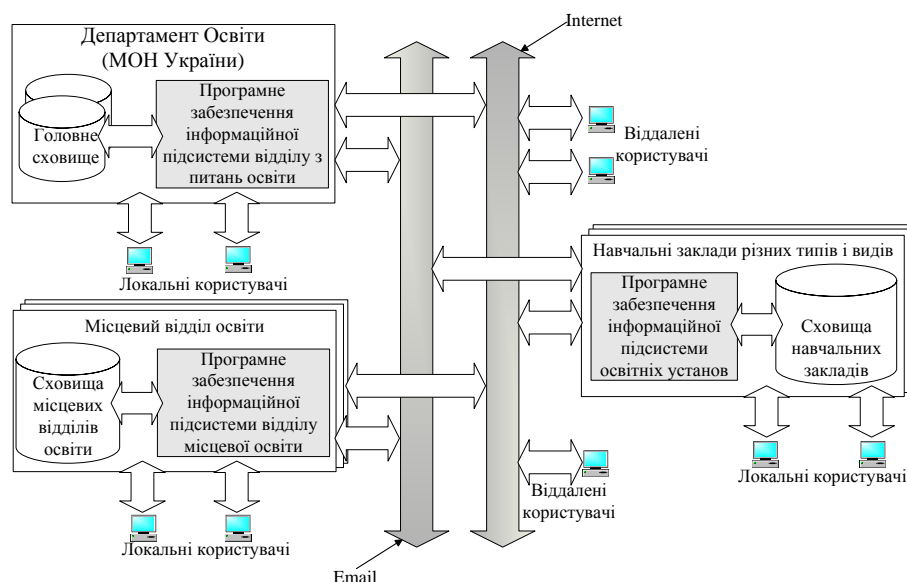


Рис. 2. – Загальна архітектура інтегрованої інформаційної системи освіти

Використовуючи згадану ІС Moodle, у ВНЗ України вже створені локальні ІС для підтримки, перш за все, дистанційного навчання. Зокрема, у НУ «Львівська політехніка» створено віртуальне навчальне середовище, як частина ІАС цілого Університету.

Для аналізу усього масиву даних сучасних університетів доцільно розділити його на окремі категорії, які чітко взаємопов'язані між собою (табл. 1).

З метою визначення характеру масиву даних варто детальніше розглянути та проаналізувати інформаційне наповнення кожного з них.

З метою визначення характеру масиву даних варто детальніше розглянути та проаналізувати інформаційне наповнення кожного з них.

Інформаційне поле адміністративної документації представлено організаційно-розпорядчими документами. Характер створення таких документів та організації їх руху чітко висвітлює основні етапи паперового документообігу. В результаті виконання такі документи структурують

у справі, які підшиваються та зберігаються у відповідних структурних підрозділах. Такий принцип документообігу не лише вимагає затрати часу, а й сприяє нераціональному використанню трудових ресурсів. Застування в даному випадку чіткої структуризації даних сприятиме налагодженню співпраці між структурними підрозділами як у адміністративній ланці, так і між іншими відділами ВНЗ.

Вагомою частиною адміністративної документації є кадрова складова. Попри важливість здійснення ефективної кадрової політики, у Львівській політехніці кадрова документація теж відображена паперовими носіями. У зв'язку із зміною характеру роботи Міністерства освіти у науки України частина бази даних про якісний та кількісний склад професорсько-викладацького складу занесена працівниками вишу до Єдиної державної електронної бази освіти (ЄДЕБО). Така політика МОН дозволяє проводити якісні порівняльні характеристики з питань

якості надання вищої освіти різними вищими навчальними закладами України.

Таблиця 1 – Характеристика документно-інформаційного простору університетів

Вид документації	Склад документації
Адміністративна	Накази МОН, накази та розпорядження по університету; кадрові та архівні документи; номенклатури справ та ін.
Програмно-освітня	Стандарти вищої освіти; освітньо-професійні програми.
Навчальна	Особові справи студентів; накази із студентського складу; звіти про студентський контингент; особові картки студентів; відомості; різноманітні інформаційно-аналітичні системи.
Наукова	Звіти про НДР; документація з міжнародних грантів та наукових проєктів; документація НДР в межах кафедральної тематики; дисертації; автореферати дисертацій; наукові статті; монографії; особова інформація про аспірантів і докторантів тощо.
Фінансова	Відомості про нарахування заробітної плати, стипендій; спеціальні бухгалтерські програми.

Таблиця 2 – Характеристика документних масивів структурних підрозділів з кадрової роботи

Ознака	Характеристика
Періодичність створення документів	Щодня
Періодичність реєстрації документів	Щодня
Навчальна документація	Особові справи студентів; накази по студентському складу; звіти про студентський контингент; особові картки студентів; відомості; різноманітні інформаційно-аналітичні системи.
Засоби створення документів	Microsoft Word
Характер вхідних документів	Заяви, подання, листок непрацездатності.
Характер вихідних документів	Довідки, звіти, посвідчення, витяги з наказів, листи, повідомлення
Характер внутрішніх документів	Трудова книжка, листок обліку кадрів, особові справи, накази, номенклатура справ структурного підрозділу.

Місце зберігання електронних версій документів	Окремі ПК
--	-----------

Попри це, окремої локальної бази даних кадрової документації у Львівській політехніці не існує. Це призводить до вагомого навантаження працівників структурних підрозділів із кадрового забезпечення університету і знижує рівень якості управління університетом. Частина інформації (лише про професорсько-викладацький та науково-допоміжний персонал університету) є структурована засобами MS Excel [2]. Це, певною мірою, полегшує роботу в пошуку інформації з одного боку, та є затратним з погляду ручного внесення інформації – з іншого боку. За підсумками роботи структурних підрозділів університету, що займаються кадровими питаннями, за рік вони формують близько 3 тис наказів, з них більшість – у травні-серпні. Такий ж великий обсяг вхідної документації для відділу кадрового забезпечення (близько 1600 заяв за перше півріччя, з них 1000 – у травні-червні) свідчить про необхідність впровадження електронного документообігу.

Розробка і впровадження системи електронного документообігу у структурних підрозділах кадрової роботи в університетах вже сьогодні повинно здійснюватися поетапно, оскільки цей процес у майбутньому зумовить виникнення ряду проблем:

- внесення інформації у бази даних вимагатиме залучення додаткових кваліфікованих кадрів;
- ускладнення процесу сканування паперових документів за попередні роки;
- ускладнення пошуку документів для оцифрування у зв'язку із відсутністю єдиного сховища даних.

Окремим напрямом раціоналізації документообігу в університетах мало б стати повне інформаційне забезпечення відомчого архіву [3].

До основних проблем функціонування архівного підрозділу варто віднести:

- брак приміщення для зберігання документів (у НУ «Львівська політехніка» на сьогодні зберігається понад 300 тисяч одиниць зберігання);
- великий обсяг інформаційних запитів (до 100 запитів в день);
- неможливість повного оцифрування всіх документів (документи до 2000 року створені за допомогою друкарської машинки або вручну).

На сьогодні, одним із важливих завдань діяльності університетського архіву є створення та вдосконалення довідкового апарату до архівних документів [4].

Саме в межах виконання цього завдання доцільно розробити інформаційну систему, яка б чітко структурувала усю архівну документацію [3]. Вагомою проблемою на даному етапі буде

оцифрування старих документів. Це вимагатиме від керівництва залучення додаткових трудових, фінансових та інших матеріальних ресурсів.

Таблиця 3 – Характеристика документних масивів університетських архівів

Ознака	Характеристика
Періодичність створення документів	Щодня
Періодичність надходження документів	Вкінці діловодного року; на практиці – протягом року.
Засоби ведення обліку документів	Microsoft Word.
Характер вхідних документів	Запити; звернення від громадян; різноманітні інформаційні запити.
Характер вихідних документів	Довідки, відповіді на інформаційні запити.
Характер внутрішніх документів	Зведена номенклатура справ; номенклатура справ структурного підрозділу; особові справи працівників та студентів; накази; протоколи; інші документи постійного і тривалого терміну зберігання.
Місце зберігання електронних версій документів	Окремі ПК.
Місце зберігання оригіналів	Архівні фонди.

Ціль створення електронного архіву університету – забезпечення оперативного і повноцінного доступу до архівних документів як усіма працівниками та студентами вишу, так й інших осіб, які цікавляться питаннями Університету. Для досягнення цілі необхідно вирішити два завдання:

- ввести в бази дані увесь масив наявних документів за минулі роки;
- забезпечити можливість повнотекстового доступу до електронних документів.

Для створення такої високопродуктивної мережі для введення документів з паперових носіїв низької якості (а саме такими є документи з часів створення університетів) та використання сканерів потокового введення відповідних програмних засобів. Така система повинна забезпечувати ефективне індексування і повнотекстовий пошук неструктурованої інформації великого обсягу [5].

Програмно-освітня документація сучасних ВНЗ представлена, в першу чергу, стандартами вищої освіти та освітньо-професійними програмами спеціальностей. Ця частина інформаційного поля регламентує якість надання вищої освіти. Вона є чітко встановлена та структурована правовими актами та основоположними документами Університету. Паперовий характер її існування та розміщення

документів такого роду на університетських сайтах чітко зумовлені вимогами МОН України [6].

Більш структурованими документами, різноманітними базами даних та інформаційно-аналітичними системами (далі – ІАС) представлена навчальна документація. Як правило, ІАС розроблені фахівцями університетів відповідно до вимог МОН і є внутрішніми інформаційними системами для організації навчальної діяльності студентів. Наприклад, Львівською політехнікою розроблена ІАС «Абітурієнт» відповідно до чинних стандартів та є композитом інформаційної системи «Конкурс», запропонованою Міністерством освіти та науки України для проведення вступної кампанії. Прототипні ІАС надають персоналізований доступ до інформації про вступ абітурієнтів до Університету з метою набору студентів на навчання на I-II курс ОКР «Бакалавр» та на I курс ОКР «Магістр» [7].

Відповідно до рис. 1 на основі даних вступної кампанії з ІАС «Абітурієнт» дозволяється генерація даних про студентів, зарахованих на навчання на I курс, у ІАС «Деканат». Доступ до таких ІАС надається працівникам факультету (деканату). Ця функція запобігає втраті даних, яка можлива при ручному внесенні інформації про студентів. Основним призначенням таких систем є облік інформації про навчання студентів; формування основних наказів з організації навчання; видача студентських довідок; оформлення та видача додатків до диплому; формування різноманітних звітів.

У деканатах науково-навчальних інститутів (факультетів) університетів окремо ведеться слабо структурована паперова документація, яка частково відображає відомості про студентів, внесені в електронній формі у інформаційно-аналітичні системи [3]. Крім того, в деканатах досі змушені організовувати формування таких наказів та звітів засобами MS Word та MS Excel [2].

Окремим видом навчальної документації є кафедральна. На кафедрах усіх університетів вона ведеться на паперових носіях відповідно до чинних стандартів та нормативних документів вишу. В окремих випадках така документація є структурована у вигляді бази документів, яка зберігається на головному сервері кафедри [7].

Найбільш вагомим доробком у веденні навчальної документації у НУ «Львівська політехніка» є створення віртуального навчального середовища (далі – ВНС). ВНС – це програмна система, створена для підтримки процесу дистанційного навчання з наголосом саме на навчання, на відміну від керованого навчального середовища, для якого властивий акцент на управлінні процесом навчання. Даний сервіс призначений для щоденного користування, що містить усі необхідні елементи теоретичних і практичних знань, контролю і самооцінки навчальної діяльності, форми організації адаптації, мотивації і творчої спрямованості.

Щодо наукової документації університетів, то у Львівській політехніці її інформаційний простір представлений ІАС «ScienceLP». Комплексна інформаційно-аналітична система «ScienceLP» призначена для автоматизації функцій з організації та управління науково-дослідної роботи. До складу системи «ScienceLP» входить ряд підсистем: підсистема автоматизації обліку підготовки наукових; підсистема автоматизації наукової звітності підрозділів; підсистема автоматизації обліку науково-дослідної роботи; підсистема автоматизації обліку науково-дослідної роботи студентів; підсистема автоматизації обліку міжнародної науково-технічної співпраці; підсистема автоматизації синхронізації даних з базою даних відділу кадрів університету [8].

На стику наукової та навчальної діяльності перебуває університетська бібліотека. Якщо брати до уваги її інформаційний простір, як джерело знань для студентства, то він повинен бути представлений не лише книжковими фондами, а й електронними каталогами, розміщеними на офіційному сайті університетської бібліотеки.

Яскравим прикладом у систематизації інформаційних ресурсів університетів повинен бути веб-сайт – це офіційне представлення університету у

глобальній системі WWW [9]. Консолідація даних, яка відображена на сторінках сайту університету, повинна чітко визначати принципи організації правильного інформаційного простору управлінських документних потоків. Основною метою представлення університетів у WWW [10] є просування їх іміджу для отримання виграшних позицій під час щорічних вступних кампаній.

Підсумовуючи, варто відзначити, що головною проблемою в організації документно-інформаційного простору сучасних вищих навчальних закладів є не лише брак технічних та фінансових ресурсів, а й приділення недостатньої уваги паперовим документам. Вагомим недоліком у роботі з паперовими носіями є ускладнене сканування для подальшого їх внесення у ІС. Ці недоробки можна вирішити шляхом розроблення чітких правил систематизації і структуризації зберігання паперових документів та їх електронних варіантів.

Висновки

Як висновок, у таблиці 4 запропоновано технічні рішення щодо впровадження інформаційних систем в основні структурні підрозділи університетів.

Таблиця 4 – Технічні характеристики пропонованих інформаційних систем

ІС	Форма	Основні функціональні можливості	Технологія створення	Доступ
Абітурієнт	Локальна мережа	Облік абітурієнтів; генерування наказів про зарахування; взаємодія з ІС «Конкурс».	Використання основних засобів технології «клієнт-сервер»	Персоніфікований доступ працівників приймальної комісії, деканатів, факультетів; доступ абітурієнтів через ІС «Конкурс».
Деканат	Локальна мережа	Облік студентського складу; генерування наказів по студентському контингенту; видача довідок; генерування студентської успішності і додатків до дипломів; формування рейтингових списків для нарахування стипендій; взаємодія із ІС «Абітурієнт».	Використання основних засобів технології «клієнт-сервер»	Персоніфікований доступ працівників деканатів, факультетів;
Відділ кадрів	Локальна мережа	Облік кадрів; генерування наказів; видача довідок; створення звітів.	Використання основних засобів технології «клієнт-сервер»	Персоніфікований доступ працівників відділу кадрів
Архів	Електронний архів	Облік архівних документів; пошук за запитом користувачів; видача архівних довідок.	Використання основних засобів технології «клієнт-сервер»	Персоніфікований доступ працівників архіву та інших осіб
БД з науки	Локальна мережа	Облік науково-дослідної роботи студентів та викладачів; генерування звітів та статистичних діаграм.	Використання основних засобів технології «клієнт-сервер»	Персоніфікований доступ працівників кафедр та структурних підрозділів з науково-дослідної роботи.

Список літератури

Bibliography (transliterated)

1. **Korz R.** Analysis of Integrity and Coverage Completeness of the Informational Image of a Higher Education Institution / **R. Korzh, A. Peleschshyn, Z. Holub** // *13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*. – 2016. – P. 825-827. – doi: 10.1109/TCSET.2016.7452196.
2. **Ткач, З.** Обробка персональних даних у вищих навчальних закладах засобами електронних таблиць / **З. Ткач, Н. Вовк** // *Матеріали VI Міжнародної наукової конференції Інформація, комунікація, суспільство*. – 2017. – С.250-251.
3. **Moreira, W.** An archival controlled vocabulary for university archives: the experience of VTArc (UNESP, Brazil) / **W. Moreira, M. S. L. Fujita, and L. B. P. dos Santos** // *Scire-Representacion Y Organizacion Del Conocimiento*. – 2016. – 22, no. 2. – P. 107-112.
4. **Jones, M.** Documenting things: bringing archival thinking to interdisciplinary collaborations / **M. Jones** // *Australian Library Journal*. – 2016. – 65, no. 3. – P. 213-223. – doi: 10.1080/00049670.2016.1204976.
5. **Heath, F.** Confronting challenges of documentation in the digital world: the Human Rights Documentation Initiative at the University of Texas (Transforming Research Libraries for the Global Knowledge Society) / **F. Heath, C. Kelleher, T. K. Sangwand, and K. Wood** // *Sawston: Chandos Publ.* – 2010. – P. 165-178. – doi: 10.1016/B978-1-84334-594-7.50012-0.
6. **Uribe-Tirado, A.** Moodle learning management system as a tool for information, documentation, and knowledge management by research groups / **A. Uribe-Tirado, L. M. Melgar-Estrada, and J. A. Bornacelly-Castro** // *Profesional De La Informacion*. – 2007. – 16, no. 5. – P. 468-474.
7. **Peleschshyn, A.** Basic features and a model of university units: University as a subject of information activity / **A. Peleschshyn, R. Korzh** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. – 2(2). – 27-34. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.40898.
8. **Dassler, R.** From "Information and Documentation" to "Information and Data Management" - realignment of the documentation study program at the FH Potsdam / **R. Dassler and A. Schreyer** // *Information-Wissenschaft Und Praxis*. – 2016. – 67, no. 5-6. – P. 317-323. – doi: 10.1515/iwp-2016-0056.
9. **Korz R.** Methods for forming an informational image of a higher education institution / **R. Korzh, S. Fedushko, A. Peleschshyn** // *Webology*. – 2015. – 12(2).
10. **Пелецишин, А.** Формування суспільного авторитету ВНЗ через онлайн-енциклопедію Вікіпедія / **А. Пелецишин, Ю. Пероганич** // *Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції CSIT-2009 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»*. – 2009. – С. 31-33.
1. **Korz R., Peleschshyn A., Holub Z.** Analysis of Integrity and Coverage Completeness of the Informational Image of a Higher Education Institution, *13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, 2016, 825-827. doi: 10.1109/TCSET.2016.7452196.
2. **Tkach, Z., Vovk, N.** Processing of personal data means spreadsheets in higher education institutions, *Materials of VI International Conference of Information, Communication and society*, 2017, 250-251.
3. **Moreira, W., Fujita, M. S. L., and dos Santos, L. B. P.** An archival controlled vocabulary for university archives: the experience of VTArc (UNESP, Brazil), *Scire-Representacion Y Organizacion Del Conocimiento*, 2016, 22, 2, 107-112.
4. **Jones, M.** Documenting things: bringing archival thinking to interdisciplinary collaborations, *Australian Library Journal*, 2016, 65, 3, 213-223. doi: 10.1080/00049670.2016.1204976.
5. **Heath, F., Kelleher, C., Sangwand, T. K., and Wood, K.** Confronting challenges of documentation in the digital world: the Human Rights Documentation Initiative at the University of Texas (Transforming Research Libraries for the Global Knowledge Society), *Sawston: Chandos Publ.*, 2010, 165-178. doi: 10.1016/B978-1-84334-594-7.50012-0.
6. **Uribe-Tirado, A., Melgar-Estrada, L. M., and Bornacelly-Castro, J. A.** Moodle learning management system as a tool for information, documentation, and knowledge management by research groups, *Profesional De La Informacion*, 2007, 16, 5, 468-474.
7. **Peleschshyn, A., Korzh, R.** Basic features and a model of university units: University as a subject of information activity, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 2(2), 27-34. doi: 10.15587/1729-4061.2015.40898.
8. **Dassler, R., and Schreyer, A.** From "Information and Documentation" to "Information and Data Management" - realignment of the documentation study program at the FH Potsdam, *Information-Wissenschaft Und Praxis*, 2016, 67, 5-6, 317-323. doi: 10.1515/iwp-2016-0056.
9. **Korz R., Fedushko, S., Peleschshyn, A.** Methods for forming an informational image of a higher education institution, *Webology*, 2015, 12(2).
10. **Peleschshyn, A., Peroganich, Yu.** The Formation of public authority institutions through online encyclopedia Wikipedia. *Materials of 4th International Scientific Conference CSIT-2009 "Computer Science and Information Technology"*, 2009, 31-33.

Відомості про авторів (About authors)

Пелецишин Андрій Миколайович – д.т.н., професор, завідувач кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ "Львівська політехніка"; м. Львів, Україна; e-mail: andrii.m.peleshchshyn@lpnu.ua.

Andrij Peleschshyn – Doctor of Technical Sciences, prof., Lviv, Ukraine; e-mail: andrii.m.peleshchshyn@lpnu.ua.

Вовк Наталія Степанівна – к.і.н., асистент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності НУ "Львівська політехніка"; м. Львів, Україна; e-mail: gnatyska@gmail.com

Nataliia Vovk – Candidate of Historical Sciences, Lviv, Ukraine; e-mail: gnatyska@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пелешишин, А. М. Формування інформаційного середовища у провідних вищих навчальних закладах України / **А. М. Пелешишин, Н. С. Вовк** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 123-130. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.20.

Please cite this article as:

Peleshchyn, A., Vovk, N. Formation of the information Environment in Ukrainian leading Universities. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23**(1245), 123–130, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.20.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пелешишин, А. М. Формирование информационной среды в ведущих высших учебных заведениях Украины / **А. М. Пелешишин, Н. С. Вовк** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 123-130. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.20.

АННОТАЦИЯ Статья посвящена анализу основных компонентов информационной среды в университетах. Авторы дают характеристику основных документных потоков в университетах. Проведено сравнительный анализ имеющейся образовательной системы в Украине с аналогами ведущих стран мира. Предлагаются информационно-аналитические системы, которые будут использоваться для управления информационными и документальными средами в университете. Как вывод предложено технические решения по внедрению информационных систем в основные структурные подразделения университетов.

Ключевые слова: образование; университеты; информационную среду; информационно-аналитическая система; электронный документ; электронный архив.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 621.313.333

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.21

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОГО ТА БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

І. В. ХОМЕНКО*, І. О. ОМЕЛЬЧЕНКО, І. В. СТАСЮК

Кафедра «Передача електричної енергії», НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА
*email: igor.v.khomenko@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуто питання реалізація ефективних засобів контролю і управління параметрами електричної мережі та її основних елементів. Розробка базується на широкому використанні математичного моделювання електромагнітних процесів, засобів вимірювальної техніки, оптимізації і керування режимами електричних мереж в режимі реального часу. Основними результатами роботи є теоретична та практична розробка інформаційно-керуючої системи «Спектр» комплексного контролю параметрів електричних мереж та її основних елементів в процесі експлуатації.

Ключові слова: інформаційно керуюча система; багатопараметричний контроль; вимірювальний модуль; розрахунковий модуль; модуль управління; канали передачі даних gsm/gprs; індикатор параметрів енергоспоживання.

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF MULTI AND CONTINUOUS MONITORING AND CONTROL OF ENERGY CONSUMPTION IN ELECTRIC NETWORKS

I. KHOMENKO, I. OMELCHENKO, I. STASIUK

Department "electricity transmission", NTU "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article shows the urgency of the development of an operational information management system that performs continuous multi-parameter monitoring of the parameters of the electrical network and its modes in real time. The functions and the concept of constructing this system are considered. The structure of the operational system is presented, consisting of three modules: measuring, calculation and control. The measurement module provides measurement, collection, accumulation, processing, display and storage of information about the parameters of the electric network mode. The calculation module performs: calculation and analysis (modeling) of parameters of individual EM elements; Calculation and analysis (modeling) of normal EM modes, calculation of electric energy costs; Optimization of the mode and condition of the electrical network. The control module implements: the optimal composition of power equipment and electrical installations; Optimal structure of the electric network; Power management; Optimal control of the electric network mode by n , U і Q . The main measuring parameters of the electric network modes are determined. The issue of information support and data transfer between these modules is considered. The modern methods of data transmission are analyzed. The creation of a data transfer system from the measuring device to the data collection server of the operational system "Spectrum" in the online mode using a wireless GSM / GPRS communication channel, as cost-effective, reliable and high-speed. The main technical means and variants of the specific implementation of the information and control system "Spectrum" are given. The main results of the development are the theoretical and practical foundations for constructing a system for integrated monitoring of energy consumption parameters during operation.

Keywords: information management system; multiparameter control; measuring module; calculation module; control module; data transmission channels gsm/gprs; energy consumption indicator.

Вступ

Впровадження ринкових відносин в енергетику України потребує вирішення проблеми якісного, надійного і ефективного енергоспоживання. Вирішення цього питання неможливе без розробки ефективних заходів контролю основних параметрів електричної мережі та її об'єктів (рис. 1). Проблема загострюється суттєвим старінням енергетичного обладнання, великими витратами на його ремонт, жорсткими умовами енергоринку України. Все це робить актуальним розробку і впровадження засобів контролю і діагностики електроенергетичного обладнання та їх режимів експлуатації [1].

На сьогодні розроблено багато спеціальних систем і приладів діагностики, контролю та управління в енергосистемах. Це і системи АСДУ, АСКОЕ, різноманітні методи і пристрої контролю якості електричної енергії (ЕЕ), діагностика окремих параметрів об'єктів енергетики. Деякі з них відрізняються своєю багатфункціональністю і ефективністю, але мають велику вартість, інші не зовсім технологічні [2].

Впровадження таких технологій дасть змогу ефективно керувати енергоспоживанням, зберігати електроенергію і енергетичне обладнання. Поставлені завдання можуть бути вирішені за допомогою широкого використання математичних методів обробки статистичного матеріалу та впровадження

нових технологічних рішень [3]. Розробки мають на меті теоретичні та експериментальні дослідження в теорії електричних кіл та електричних машин. Кінцевим результатом роботи повинна стати розробка ефективної і технологічної системи контролю стану електричної мережі та управління її параметрами режиму. Питання практичної реалізації базуються на використанні ефективних засобів вимірювальної техніки з використанням мікропроцесорних пристроїв [4].

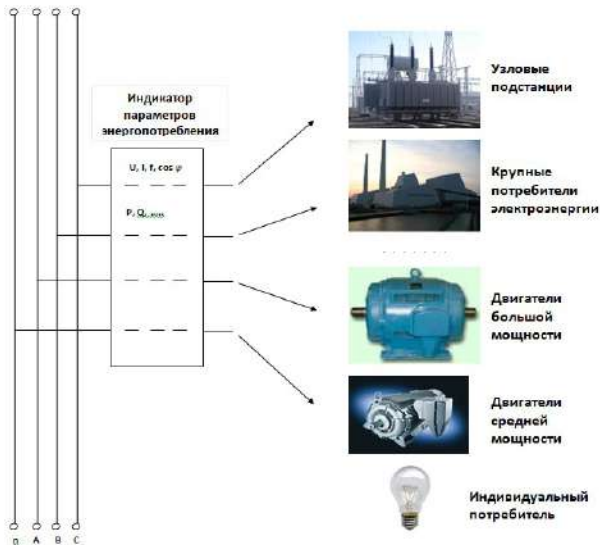


Рис. 1 - Контроль параметров электрической сети та її об'єктів

Основна частина

Оперативна інформаційно-керуюча система «Спектр» створюється для багато параметричного контролю та управління станом електричної розподільчої мережі. Стан електричної розподільчої мережі повністю визначається співвідношенням параметрів режиму (ПР) та параметрами цієї електричної мережі (ПЕМ) [5]. Вимірювання та визначення ПР і ПЕМ виконується у режимі реального часу. Контрольованими параметрами режиму є:

- фазні і лінійні струми та напруги;
- $\cos\phi$;
- частота;
- активні та реактивні потужності електричної мережі;
- активні та реактивні потоки енергії електричної мережі;
- гармонійні складові електричного струму та напруги.

Контрольованими параметрами електричної мережі є активні та реактивні провідності (опори) повздовжніх та поперечних елементів.

Інформаційно-керуюча система «Спектр» складається з трьох модулів: вимірювального, розрахункового і модуля керування (рис.2).



Рис. 2 - Інформаційно-керуюча система «Спектр»

Модуль вимірювання забезпечує вимірювання, збір, накопичення, обробку, відображення, та збереження інформації про параметри режиму електричної мережі. Цей модуль може складатися з елементів деяких автоматизованих систем, таких як: ЛОСОД, АСКУЕ, EMS, УУП та інші [6].

Модуль розрахунку виконує: розрахунок і аналіз (моделювання) параметрів окремих елементів ЕМ; розрахунок і аналіз (моделювання) нормальних режимів ЕМ, розрахунок витрат електричної енергії; оптимізацію режиму та стану електричної мережі.

Розрахунковий модуль може складатися зі стандартних програмно - розрахункових комплексів (РАСТР, МУСТАНГ, ДАКАР, АНАРЕС, КОСМОС, EUROSTAG, PSS/E) та спеціальних програмних комплексів (програмний комплекс «Режим»)[7].

Розрахунковий модуль визначає заходи, що до підвищення надійності та ефективності роботи розподільчої електричної мережі та її окремих елементів.

Модуль керування реалізує: оптимальний склад енергетичного обладнання та електроустановок; оптимальну структуру електричної мережі; управління електроспоживанням; оптимальне керування режимом електричної мережі по n , U і Q .

Модуль керування може бути побудований на базі добре відомих автоматизованих систем, таких як: АСДУ, SCADA, АСУТП ПС та інші [8].

В якості первинних джерел інформації можуть використовуватися спеціально розроблені індикатори параметрів енергоспоживання (ІПЕ) [4], або різноманітні засоби контролю потоків електроенергії, зокрема сучасні лічильники електроенергії [9].

Оперативна система «Спектр» передбачає ряд заходів по управлінню персоналом. В першу чергу ці заходи стосуються питання професійної підготовки і перепідготовки електротехнічного персоналу. Розробляються і впроваджуються спеціалізовані текстові програми, тренажери, активні методи навчання [10].

Ефективність роботи інформаційно-керуючої системи суттєво залежить від впровадження сучасних інформаційних технологій, за допомогою яких здійснюється функціонування і зв'язок між її окремими модулями [11].

Розглянемо створення системи передачі даних від вимірювального пристрою із сервером збору даних оперативної системи «Спектр» в режимі онлайн за допомогою бездротового GSM/GPRS каналу зв'язку, як економічно вигідного, надійного і швидкісного. Реалізація системи схематично показана на (рис. 3).

Інформація з пристроїв надходить в локальний центр - концентратор, в пам'яті якого вона зберігається у вигляді масивів даних.

При використанні бездротової технології GSM дані можуть передаватися трьома основними способами: за допомогою служби коротких повідомлень SMS, по голосовому каналу GSM і з використанням пакетної передачі даних GPRS. Служба SMS для передачі масивів даних підходить найменше. За допомогою SMS-повідомлень доцільно передавати команди або службову інформацію малого обсягу. Ця служба можна використовувати для передачі тривожних повідомлень про нештатні ситуації в енергомережі.

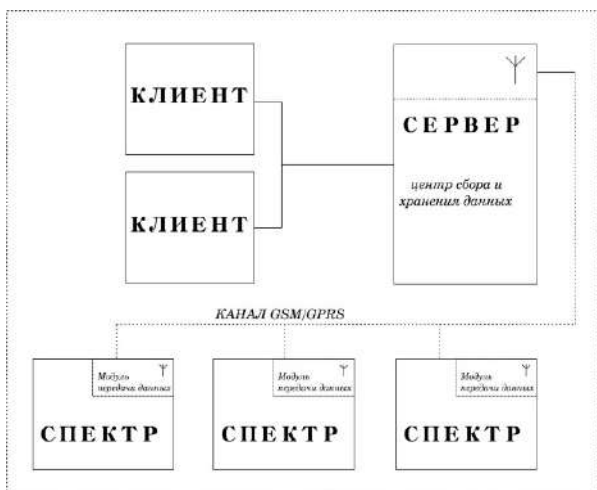


Рис. 3 - Реалізація каналів GSM/GPRS в бездротових системах збору та передачі інформації

Високошвидкісну передачу даних з комутацією каналів HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) недоцільно використовувати виходячи з економічних міркувань. Також час передачі 20 Кбіт інформації приблизно 2 с, а час організації сеансу може варіюватися від 2 до 16 с.

Технологія GPRS оптимальна для застосування в системі моніторингу параметрів мережі. Головною її особливістю є можливість постійного підключення до мережі, тобто наявність активного віртуального каналу зв'язку. Реальний (фізичний) радіоканал надається на час передачі пакета даних і тому тарифікація відбувається тільки за трафік, а не за весь час сеансу зв'язку. В результаті істотно знижується вартість передачі мегабайта інформації. Максимально можлива швидкість обміну даними за допомогою

технології GPRS теоретично може досягати 170 Кбіт/с.

Як пристрій передачі даних доцільно використовувати модеми, вбудовані модулі, з точки зору вартості, ефективності і надійності роботи, а також стійкості до несприятливих впливів навколишнього середовища (висока температура, вологість, тощо).

Вбудований модуль GSM/GPRS - це безкорпусний елемент (ОЕМ-модуль), для функціонування якого необхідні засоби електроживлення цифрового і радіочастотного блоків, інтерфейси для зв'язку з зовнішніми пристроями, корпус, антена і т. д. Основна перевага вбудованого модуля полягає в можливості його інтеграції в індикатор параметрів енергоспоживання (ІПЕ) трифазних ланцюгів змінного струму «Спектр». Це дозволяє уникнути появи зайвих корпусів на пристрої, проте на платі пристрою «Спектр» необхідно розмістити додаткові схемотехнічні компоненти, що забезпечують працездатність модуля.

Модулі різних фірм-виробників схожі за своїми архітектурними і функціональними можливостям, але відрізняються один від одного за способом підключення. Поряд з базовою функцією реалізації каналу передачі даних за технологіями GSM і GPRS модуль, як правило, надає більш широкі можливості. По суті такі модулі є керуючими контролерами. Настільки широка функціональність досягається завдяки відкритості архітектури модулів і надання виробниками спеціалізованих програмних і апаратних засобів розробки, завантаження і налагодження власних програм. Цьому сприяє і наявність в модулях широкого набору інтерфейсів: практично всі вони мають один або кілька послідовних інтерфейсів UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit) і USB (Universal Serial Bus). Додаткові можливості для вирішення тих чи інших завдань в рамках програм реалізуються за допомогою різноманітних ліній введення-виведення загального призначення, каналів АЦП і ЦАП [12].

Крім способу підключення і різноманітності інтерфейсів, модулі відрізняються діапазонами робочих температур. Деякі виробники гарантують роботу своїх виробів при температурах від -40 °С до +85 °С, більшість же обмежується діапазоном від -20 °С до +60 °С. Стандартний діапазон живлячих напруг модулів - від 3 до 4,5 В.

Завдання реалізації каналу GPRS значно спрощується, якщо модуль має вбудований стек TCP/IP, який дозволяє за допомогою декількох АТ-команд організувати канал передачі даних за технологією GPRS.

Для підключення до пристрою «Спектр» більшість моделей терміналів GSM/GPRS обладнані стандартним інтерфейсом RS-232, є моделі, забезпечені USB-інтерфейсом.

Технологія пакетної передачі GPRS використовує в якості механізму доставки пакетів даних по протоколу TCP/IP, в разі застосування якого кожному з пристроїв мережі присвоюється унікальна IP-адреса. Існує два види IP-адреси: статична і динамічна. Статична IP-адреса може надаватися або інтернет-провайдером, або оператором стільникової мережі. Найбільш простий спосіб отримання статичних IP-адрес - звернутися до інтернет-провайдера. Динамічну IP-адресу видає оператор при приєднанні до мережі GPRS і тільки на час сеансу зв'язку. Якщо з яких-небудь причин сеанс перервався, то при повторному приєднанні пристрій, що не має статичної IP-адреси, отримує новий динамічний, відмінний від попереднього. Необхідно згадати той факт, що якщо пристрій, в тому числі модем GSM/GPRS, авторизувався в мережі і отримав динамічну IP-адресу, то для підтримки віртуального GPRS-каналу в активному стані потрібно через певні часові інтервали передавати сигнальні пакети на будь-яку відому IP-адресу.

Найбільш поширений варіант виділення IP-адреси серверу і концентраторам мереж пристрою - наявність у сервера статичної IP-адреси, а у модулів - динамічної. Причому статичну IP-адресу виділяє сервер інтернет-провайдера при підключенні сервера до Інтернету по виділеному каналу доступу.

При такій організації системи можливі два сценарії встановлення з'єднання між пристроями з метою передачі даних. Якщо з'єднання ініціює концентратор, то він організовує GPRS-сеанс з інфраструктурою стільникового оператора, отримує від нього динамічну IP-адресу і встановлює TCP/IP-з'єднання з сервером (якщо «знає» його статичну IP-адресу). Останній повинен бути налаштований на прийом (і обробку) запитів на з'єднання по виділеному каналу доступу в Інтернет. Під час отримання запиту на з'єднання від концентратора його динамічна IP-адреса стане «відомою» серверу (в IP-заголовку пакета з'єднання інформація про адресу відправника), що зробить можливим двосторонній обмін інформацією.

Якщо ж ініціатором зв'язку є сервер, то він додзвонюється до віддаленого модему по голосовому каналу GSM або надсилає SMS-повідомлення на його номер. Концентратор сприймає вхідний дзвінок (або SMS-повідомлення) з відомого номера як команду на встановлення з'єднання з сервером і далі діє так, як було описано раніше. Мінімальна вимога при організації з'єднання з сервером є «знання» концентратором статичної IP-адреси. Якщо ж концентратор не «знає» цю адресу, то його можна повідомити по голосовому каналу GSM або за допомогою служби SMS.

При необхідності організувати зв'язок з концентратором, який має статичну IP-адресу, сервер звертається до нього за цією адресою, встановлюючи GPRS-з'єднання. Для цього модеми GSM/GPRS концентратора повинні бути налаштовані на прийом (і

обробку) запитів на з'єднання по каналу TCP/IP. Такий спосіб організації каналу передачі даних можливий, однак на практиці майже не зустрічається через складність отримання статичних IP-адрес у стільникових операторів для всіх віддалених пристроїв системи.

Існуючі на ринку апаратні засоби, їх доступність і простота використання дозволяють ефективно вирішувати завдання по реалізації каналів GSM і GPRS в бездротових системах збору та передачі інформації. Для цього досить представляти процеси передачі інформації в мережах GSM/GPRS і способи конфігурації модемів GSM/GPRS за допомогою AT-команд [13].

Конкретний варіант реалізації оперативної системи так її технічні засоби представлені на (рис.4).

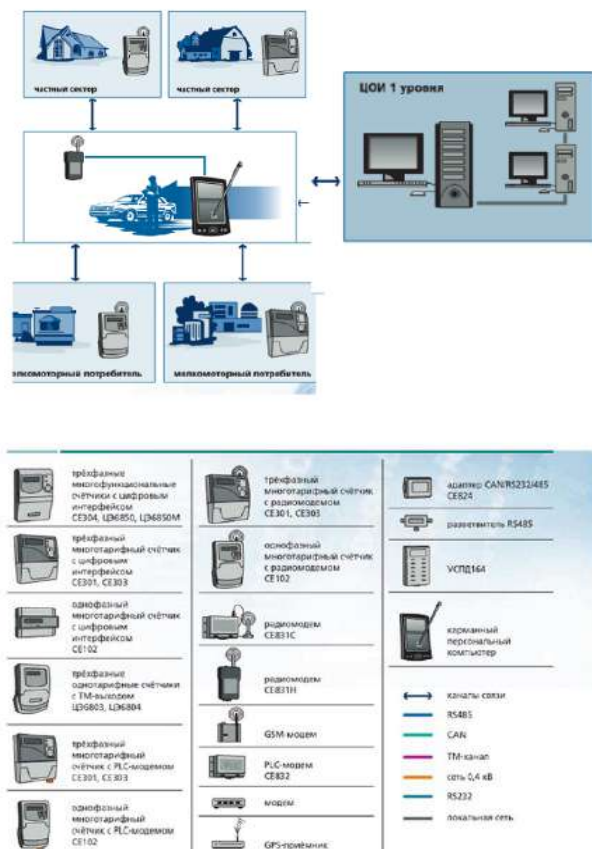


Рис.4 - Схема реализации и технические средства оперативной системы

Висновки

Таким чином, розглянута концепція побудови інформаційно-керуючої системи, розглянуті її основні функції і можливості. Розроблено питання інформаційного забезпечення роботи окремих модулів оперативної системи.

Список літератури

1. **Авраменко, А. В.** Методики і програмні засоби для забезпечення автоматичного та диспетчерського керування електроенергетичними системами / **В. А. Авраменко, В. О. Крилов, В. Л. Прихно** // *Праці Інституту електродинаміки НАНУ*. – 2010. – Вип. 26. – С. 31-37.
2. Анализатор напряжений и токов в электрических сетях «АНТЭС АК-3Ф». Паспорт и руководство по эксплуатации 411187.001 РЭ. // ООО «АНТЭС АК», 2004. - 23 с.
3. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040. - 2006. - 44 . - doi:10.1177/095574909400600106.
4. **Хоменко, І. В.** Розробка і впровадження індикатора параметрів енергоспоживання в розподільчих електричних мережах / **І. В. Хоменко** // *Вісник НТУ«ХПІ»*. Серія: *Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. – Х.: НТУ«ХПІ». – 2015. – №42 (1151). – С. 67-70.
5. **Аюев, Б. И.** Анализ эффективности вычислительных моделей расчета установившихся режимов электрических систем / **Б. И. Аюев, В. В. Давыдов, В.Г. Неуймин** // *Электричество*. – 2008. – № 8. – С. 2-14.
6. **Вошинский, Ю. К.** Стан впровадження автоматизованих систем обліку електроенергії в магістральних і міждержавних мережах України. / **Ю. К. Вошинський** // *Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансууючого ринку: спеціальний випуск збірника наукових праць Інституту електродинаміки НАН України*. – 2009. – С. 22-30.
7. **Кириленко, А. В.** Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка электроэнергии / **А. В. Кириленко, В. Л. Прихно** // *Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансууючого ринку: спеціальний випуск збірника наукових праць Інституту електродинаміки НАН України*. – 2009. – С. 3-10.
8. **Кириленко, О. В.** Ієрархічний оперативно-керуючий комплекс автоматизованої системи диспетчерського керування / **О. В. Кириленко, Б. С. Стогній, В. Л. Прихно** // *Збірник наукових праць Інституту електродинаміки НАН України*. – 2008. – Вип. 20. – № 2.
9. **Тубинис, В.** Как выбрать электросчетчик / **В. Тубинис** // *Новости электротехники*. – 2005. – № 5.
10. **Хоменко, І. В.** Методика игрового обучения и тестирования для электроэнергетиков / **І. В. Хоменко** // *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2009. – №12.
11. **Chakraborty, A.** Control and Optimization Methods for Electric Smart Grids / **A. Chakraborty, M. D. Plic** – Springer, N.Y., 2012 – 363 pp. – doi:10.1007/978-1-4614-1605-0.
12. **Baran, M.E.** Load estimation for load monitoring at distribution substations / **M.E. Baran, L.A.A. Freeman, F.Hanson, V. Ayers** // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2005 – V. 20. – № 1. – P. 164–170. – doi:10.1109/PES.2005.1489653.

13. **Федоров В.** Стандарты обмена данными в электроэнергетике / **В. Федоров**. – Открытые системы. – № 9. – 2005.

Bibliography (transliterated)

1. **Avramenko, A. V., Krylov, V. L., Pryhno, V. L.** Methods and software for the automatic and supervisory control of electric power systems. Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences, 2010, Vol. 26, P. 31-37.
2. Analyzer of voltages and currents in electric networks "ANTES AK-3F". Passport and user manual 411187.001 РЭ. // LLC "ANTES AK", 2004, 23 p.
3. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006, 44 p, doi:10.1177/095574909400600106.
4. **Khomenko, I. V.** Development and implementation of indicator parameters in energy distribution grid. *Vestnik NTU "KhPI". Series: Issues of improvement of electrical machinery and apparatus. Theory and Practice*. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015, №42 (1151), P. 67-70.
5. **Ayuyev, B. I., Davydov, V. V., Neumin, V. G.** Analysis of the efficiency of computational models for calculating the steady-state regimes of electrical systems. *Electricity*, 2008, No. 8, P. 2-14.
6. **Voshinsky, Y. K.** Status of the automated systems of electricity transmission and interstate networks of Ukraine. *Energy Markets: the transition to a new model of bilateral market contracts and balancing market: a special edition collection of scientific works of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine*, K, 2009, P. 22-30.
7. **Kirilenko, A. V., Prikhno, A. V.** Optimization of power system modes in the electricity market conditions. *Energy Markets: the transition to a new model of bilateral market contracts and balancing market: a special edition collection of scientific works of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine*, K, 2009, P. 3-10.
8. **Kirilenko, A. V., Stogniy, B. S., Prykhno, V. L.** hierarchical operational and control complex automated system of dispatching. *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine*, 2008, Vol. 20, 2.
9. **Tubinis, V.** How to choose an electricity meter. *News of electrical engineering*, 2005, № 5.
10. **Khomenko, I. V.** The Methodology of Game Learning and Testing for Power Industry. *Energy Saving. Power engineering. Energy audit*, Kharkov, 2009, № 12.
11. **Chakraborty, A., Plic, M. D.** Control and Optimization Methods for Electric Smart Grids, Springer, N.Y., 2012, 363, doi:10.1007/978-1-4614-1605-0.
12. **Baran, M.E., Freeman, L. A. A., Hanson, F., Ayers, V.** Load estimation for load monitoring at distribution substations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2005, V. 20, № 1, 164–170, doi:10.1109/PES.2005.1489653.
13. **Fedorov, V.** Standards of data exchange in the electric power industry. *Open systems*, № 9, 2005.

Сведения об авторах (About authors)

Хоменко Ігор Васильович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра «Передача електричної енергії», НТУ "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна; e-mail: igor.v.khomenko@gmail.com.

Igor Khomenko – candidate of technical sciences, associate professor, Department "electricity transmission", NTU "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine; e-mail: igor.v.khomenko@gmail.com.

Омельченко Ігор Олегович – магістр, кафедра «Передача електричної енергії», НТУ "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна; e-mail: omelchenko@gmail.com.

Igor Omelchenko – master, Department "electricity transmission", NTU "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine; e-mail: omelchenko@gmail.com.

Стасюк Іван Володимирович – аспірант, кафедра «Передача електричної енергії», НТУ "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна; e-mail: brokeyourbike@gmail.com.

Ivan Stasiuk – graduate student, Department "electricity transmission", NTU "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine; e-mail: brokeyourbike@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Хоменко, І. В. Розробка концепції багатопараметричного та безперервного контролю і управління енергоспоживанням в електричних мережах / **І. В. Хоменко, І. О. Омельченко, І. В. Стасюк** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 131-136. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.21.

Please cite this article as:

Khomenko, I., Omelchenko, I., Stasiuk, I. Development of the concept of multi and continuous monitoring and control of energy consumption in electric networks. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkov: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 131–136, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.21.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом

Хоменко, И. В. Разработка концепции многопараметрического и непрерывного контроля и управления энергопотреблением в электрических сетях / **И. В. Хоменко, И. О. Омельченко, И. В. Стасюк** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 131-136. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.21.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены вопросы реализации эффективных средств контроля и управления параметрами электрической сети и ее основных элементов. Разработка базируется на широком использовании математического моделирования электромагнитных процессов, средств измерительной техники, оптимизации и управления режимами электрических сетей в режиме реального времени. Основными результатами работы являются теоретическая и практическая разработка информационно-управляющей системы «Спектр» комплексного контроля параметров электрических сетей и ее основных элементов в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: информационно управляющая система; многопараметрический контроль; измерительный модуль; расчетный модуль; модуль управления; каналы передачи данных gsm/gprs; индикатор параметров энергопотребления.

Надійшла (received) 29.05.2017

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФАТА КАРБАМИДА

Ю.И. ВЕЦНЕР^{1*}

¹ Отдел снабжения, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

*email: vetsner7@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрено получение азотно-фосфорного удобрения (фосфат карбамида) из карбамида и ортофосфорных кислот различной чистоты. Определены особенности растворения карбамида в ортофосфорной кислоте и кристаллизации фосфата карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты. Представлены рентгенограммы и дериватограммы полученных образцов фосфата карбамида ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$). Показана зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса. Установлена оптимальная концентрация ортофосфорной кислоты для получения фосфата карбамида.

Ключевые слова: удобрения; карбамид; ортофосфорная кислота; фосфат карбамида; кристаллизация.

RESEARCH OF THE PROCESS OF OBTAINING CARBAMIDE PHOSPHATE

Yu. VETSNER^{1*}

¹ Supply department, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (NTU "KhPI"), Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the article is to study the process of obtaining fertilizer in the systems urea-orthophosphoric acid-water. A typical example of such a fertilizer can be carbamide phosphate. In connection with this, it is of interest to obtain urea phosphates depending on the concentration of orthophosphoric acid. The following methods were used in the studies: X-ray phase analysis, visual-polythermal, differential-thermal analysis. As a result of the studies, the characteristics of carbamide dissolution in orthophosphoric acid and the crystallization of carbamide phosphate were determined depending on the concentration of orthophosphoric acid, X-ray diffraction patterns and thermograms of carbamide phosphates were obtained. The general procedure for the preparation of urea phosphate from orthophosphoric acid and urea. As a result, a solid fraction was obtained - crystals of carbamide phosphate. X-ray analysis showed that the composition of carbamide phosphate obtained from orthophosphoric acid (analytically pure) is identical to the composition of carbamide phosphate obtained from orthophosphoric acid (commercially pure). Differential thermal analysis (thermographic studies) showed that the endothermic effect for orthophosphoric acid (analytically pure) and orthophosphoric acid (commercially pure), respectively, at 110 °C and 115.1 °C, characterizes the fusion of carbamide phosphate followed by the formation of ammonium pyro- and metaphosphate. It was established that irrespective of the purity of the phosphoric acid used, the product of the interaction is carbamide phosphate. The optimal concentration of phosphoric acid ($\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$) for the production of carbamide phosphate is 80 %. Since at this concentration the loss of moisture is faster than with $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 86\%$, and the yield of the product is almost the same, while at phosphoric acid concentrations of 75 and 60 %, the yield of the product is much lower.

Keywords: fertilizer; urea; orthophosphoric acid; carbamide phosphate; crystallization.

Введение

Использование минеральных удобрений - один из главных критериев повышения урожайности в сельском хозяйстве. Особое значение имеют комплексные удобрения, которые содержат как азот так и фосфор [1 - 5].

Для обеспечения сельского хозяйства комплексными удобрениями перспективными являются технологии, базирующиеся на использовании фосфоросодержащего сырья, которое находится в Украине. Особый практический интерес представляет использование карбамида из-за его способности образовывать комплексные удобрения практически со всеми неорганическими кислотами и солями. Это способствует получению комплексных удобрений, с различными формами питательных веществ, которые медленно разлагаются под действием грунтовых растворов или воды, что

приводит к переходу закрепленных в почве форм фосфатов в усваиваемые [6].

Изучение взаимодействия карбамида с различными солями и кислотами имеет как теоретическое, так и прикладное значение в связи с получением сложных удобрений.

Карбамид - наиболее богатое азотом удобрение; он содержит 46,6 % азота в легко усвояемой форме. Обладает способностью образовывать кристаллические соединения-включения как с органическими так и неорганическими соединениями. Структуры всех соединений включения мочевины идентичны и представляют собой гексагональные бесконечные призмы, внутри которых имеются каналы, где и размещаются молекулы - «гости». В отсутствие молекул - гостей мочевины кристаллизуется в тетрагональной решетке. Соединения включения карбамида весьма устойчивы, что связано, с одной

стороны, со стабилизацией канальной структуры водородными связями, а с другой – с заполнением каналов и максимальной реализацией ван-дер-ваальсовского взаимодействия. С кислотами мочевины образует в процессе гидролиза легко диссоциирующие кристаллические солеобразные соединения, имеющие кислую реакцию [7].

Цель работы

Целью статьи является изучение процесса получения удобрения в системах карбамид - ортофосфорная кислота - вода. Характерным примером такого удобрения может служить фосфат карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$.

В связи с этим представляет интерес получение фосфатов карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты. При исследованиях применялись следующие методы: рентгенофазовый анализ и дифференциально-термический.

Изложение основного материала

Исследования проводились с использованием реактивов марки ч.д.а ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и H_3PO_4) и тех. (H_3PO_4).

Состав и свойства исходных реагентов представлены в таблицах 1 (карбамид) [8] и 2 (ортофосфорная кислота).

В результате исследований были определены особенности растворения карбамида в ортофосфорной кислоте и кристаллизации фосфата карбамида в зависимости от концентрации ортофосфорной кислоты, получены рентгенограммы и термограммы фосфатов карбамида.

Кинетические зависимости изменения массы конечного продукта от времени взаимодействия карбамида с ортофосфорной кислотой, представленные в таблицах 3 - 6.

Таблица 1 - ГОСТ 2081 – 2010. Карбамид. Технические условия

Наименование показателя	Марка Б		
	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
1. Внешний вид	Гранулы или кристаллы белого цвета или слегка окрашенные		
2. Массовая доля азота в пересчете на сухое вещество, %, н/м	46,2	46,2	46,2
3. Массовая доля биурета, %, н/б	1,4	1,4	1,4
4. Массовая доля воды, %, н/б гигроскопическая общая	0,3	0,3	0,3
	0,5	0,5	0,6
5. Рассыпчатость, %	100	100	100
6. Гранулометрический состав: массовая доля гранул размером, мм: от 1 до 4, н/м от 2 до 4, н/м менее 1, н/б остаток на сите 6 мм	94	94	94
	70	50	–
	3	5	5
	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
7. Статическая прочность гранул, МПа (кг/см ²), н/м	1,4 (14)	1,2 (12)	1,2 (12)

Таблица 2 - Ортофосфорная кислота, использованная в данной работе

№ п/п	Концентрация H_3PO_4	Общее содержание P_2O_5 (вес %)	R ($\text{H}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$)	pH
1	86	61,8	0,23	1,57
2	80	58,0	0,35	1,64
3	75	54,3	0,46	1,71
4	60	43,5	0,92	1,89

Общая методика приготовления фосфата карбамида заключалась в следующем: к растворам ортофосфорной кислоты, концентрацией 60 – 86 %, медленно добавляли кристаллический карбамид. Затем при температуре, равной 25-55 °С, проводилось перемешивание смеси при $\tau = 0-30$ мин.

Далее горячий раствор фильтровали с помощью воронки Бюхнера. Полученный фильтрат охлаждали до 0 °С и снова отправляли на фильтрование с помощью воронки Бюхнера. В результате получали твердую фракцию – кристаллы фосфата карбамида ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$).

Таблица 3 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 86 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °С	40 °С	55 °С
0	129,96	129,92	129,84
5	129,76	129,37	128,90
10	129,74	128,62	127,90
15	129,65	128,16	127,13
20	129,62	127,83	126,61
25	129,54	127,59	125,87
30	129,53	127,30	125,20

Таблица 4 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 80 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °С	40 °С	55 °С
0	121,72	121,63	121,52
5	121,55	120,94	120,68
10	121,54	120,39	119,57
15	121,16	119,88	118,64
20	120,90	119,52	117,70
25	120,74	119,13	116,48
30	120,58	118,76	115,82

Таблица 5 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ 75 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °С	40 °С	55 °С
0	115,15	115,02	114,86
5	114,82	114,21	113,79
10	114,66	113,90	112,85
15	114,45	113,49	111,89
20	114,33	113,10	111,02
25	114,10	112,65	110,31
30	113,99	112,24	109,40

Таблиця 6 - Зависимость изменения массы фосфата карбамида от времени взаимодействия и температуры процесса при $C_{H_3PO_4}$ 60 %

Время взаимодействия, мин	Масса фосфата карбамида, г		
	25 °C	40 °C	55 °C
0	97,53	97,21	96,31
5	97,08	96,61	95,60
10	96,80	96,17	94,73
15	96,62	95,72	93,78
20	96,44	95,35	92,75
25	96,26	94,88	91,88
30	96,07	94,44	90,93

Полученные образцы фосфата карбамида были подвергнуты рентгенографическому и термогравиметрическому анализу, в результате чего был установлен состав и механизм разложения фосфата карбамида, что полностью совпало с литературными данным. С целью сравнения были сделаны образцы фосфата карбамида из ортофосфорной кислоты, загрязненной примесями (тех.).

Рентгенограмма фосфата карбамида представлена на рис. 1 (H_3PO_4 ч.д.а.) и рис. 2 (H_3PO_4 тех.).

Термограммы фосфата карбамида представлены на рис. 3 (H_3PO_4 ч.д.а.) и рис. 4 (H_3PO_4 тех.).

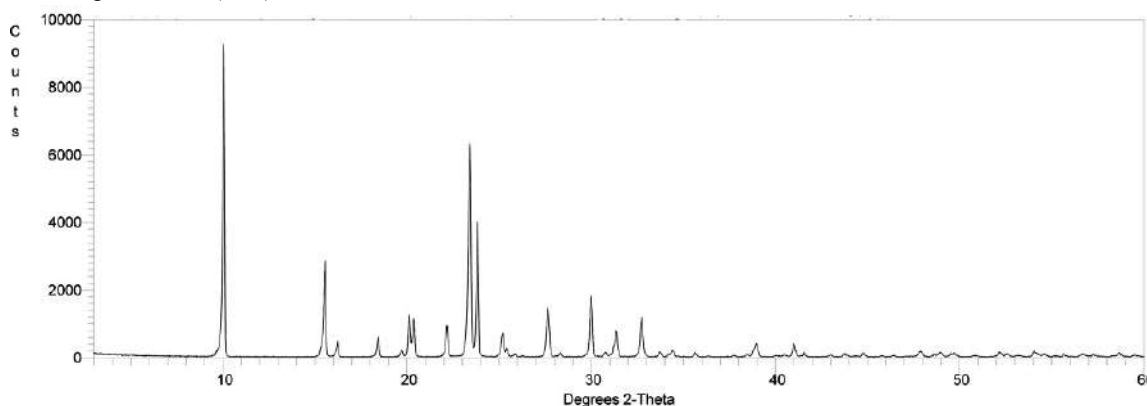


Рис. 1 – Рентгенограмма фосфата карбамида из H_3PO_4 ч.д.а.

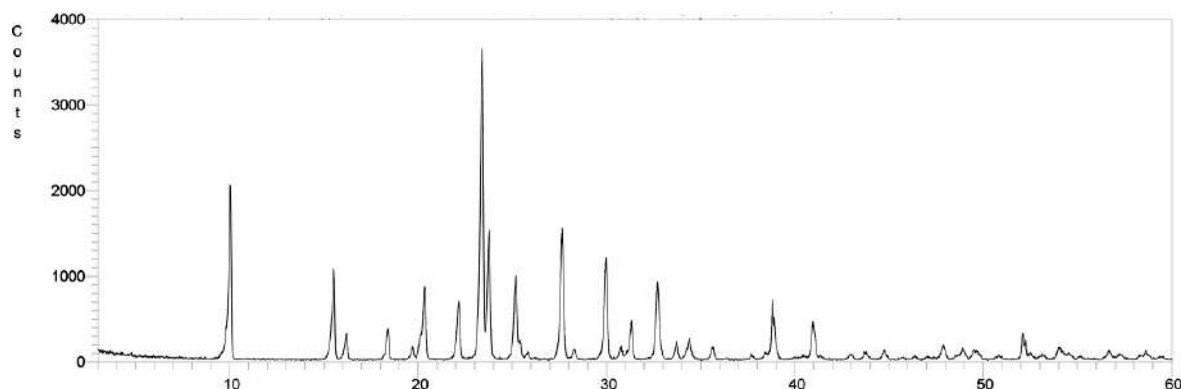


Рис. 2 – Рентгенограмма фосфата карбамида из H_3PO_4 , тех.

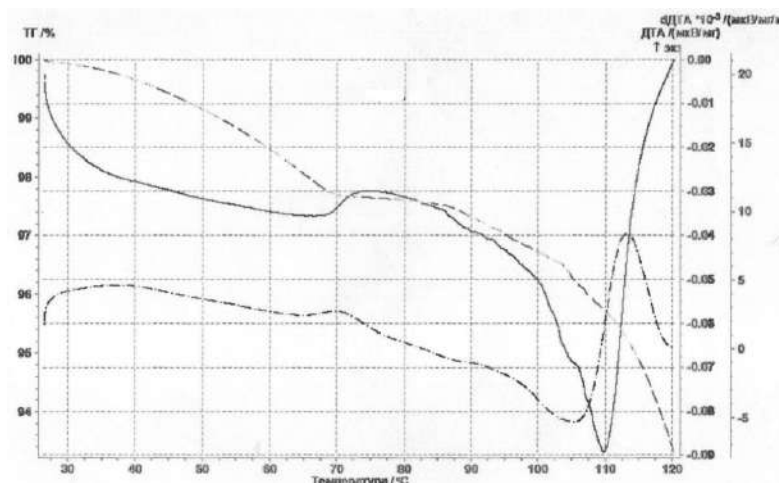


Рис. 3 – Фосфат карбамида, полученный с применением H_3PO_4 ч.д.а.

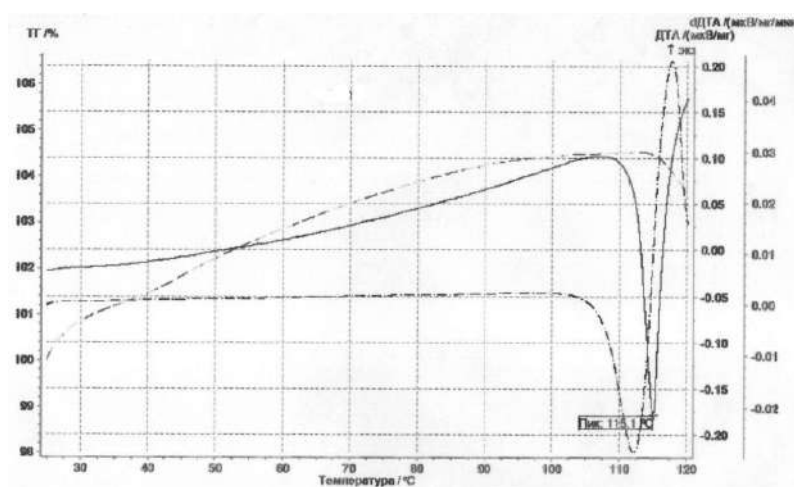


Рис. 4 – Фосфат карбамида, полученный с применением H_3PO_4 тех.

Обсуждение результатов

При выполнении исследований дифрактограммы исследуемых образцов получены на рентгеновском дифрактометре «Siemens D500» по схеме Брегга-Брентано в интервале углов $2^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ (излучение $CuK\alpha$, графитовый моно-хроматор на вторичном пучке, сканирование с шагом 0,02 град, время накопления 20 сек. в каждой точке, горизонтальная разбежность первичного пучка 1 град, приемная щель 0,1 град). Расчет рентгенограмм сделан с помощью программы WinPLOTR и FullProf с использованием функции Фойгта для описания профиля [9 - 13].

Анализ показал, что состав фосфата карбамида, полученного из ортофосфорной кислоты (ч.д.а) идентичен составу фосфата карбамида, полученного из ортофосфорной кислоты (тех).

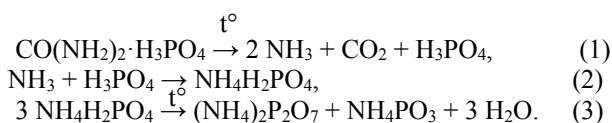
Дифференциальный термический анализ (термографические исследования) проводили на дериватографе P. Paulik, I.

Paulik, L. Erdely фирмы MOM (Венгрия). Прибор на дериватограммах автоматически фиксирует одновременно: температуру печи, скорость

измерения температуры (ДТА), изменение массы образца (ТГ) и скорость изменения массы вещества (ДТГ). Погрешность изменения массы образца в процессе нагревания $\pm 0,5\%$. Исследования проводили в диапазоне температур $0 \div 120^\circ C$ [14].

Из литературных источников [15] известно, что температура плавления фосфата карбамида равна $117,5^\circ C$. При этом разложение начинается уже при температуре ниже указанной, а для полного разложения требуется несколько часов.

Из сопоставления термограмм на рис. 3 и рис. 4 следует, что эндотермический эффект при $110^\circ C$ и $115,1^\circ C$, соответственно, характеризует плавление фосфата карбамида с последующим образованием пиро- и метафосфата аммония по следующим реакциям:



Согласно данным таблиц 3–6 вычислена скорость изменения массы фосфата карбамида (Δm). Результаты представлены в табл. 7.

Таблиця 7 – Швидкість зміни маси фосфата карбаміда

С _{НЗРО₄} , %	Δm		
	25 °C	40 °C	55 °C
86	0,43	2,62	4,64
80	1,14	2,87	5,70
75	1,16	2,78	5,46
60	1,46	2,77	5,38

Из приведенных в табл. 7 данных следует, что скорость изменения массы фосфата карбаміда (Δm) при 25 °C увеличивается с уменьшением концентрации фосфорной кислоты, в то время как при 40 и 55 °C наблюдается увеличение Δm лишь для концентраций фосфорной кислоты с 86 % до 80 %, а затем Δm уменьшается с уменьшением концентрации Н₃Р₀₄. Проанализировав данные табл. 7 можно сделать вывод, что наибольшая скорость изменения массы фосфата карбаміда (Δm) наблюдается в образце, полученном из фосфорной кислоты, концентрацией 80 %.

Выводы

Методами рентгенофазового и термографического анализа твердых фаз, полученных в системе 3Н⁺, СО(НН₂)₂ // Р₀₄⁻ + Н₂О, установлено, что независимо от чистоты используемой фосфорной кислоты, продуктом взаимодействия является фосфат карбаміда (СО(НН₂)₂·Н₃Р₀₄).

Разложение фосфата карбаміда представляет собой многостадийный процесс, конечными продуктами которого являются пиро- и метафосфат аммония.

Оптимальной концентрацией фосфорной кислоты (С_{НЗРО₄}) для производства фосфата карбаміда является 80 %. Поскольку при данной концентрации потеря влаги происходит быстрее, чем при С_{НЗРО₄} = 86 %, а выход продукта практически одинаковый, в то время как при концентрациях фосфорной кислоты 75 и 60 % выход продукта значительно меньше.

Список литературы

1. **Вецнер, Ю. І.** Визначення кінетичних параметрів для низькосортної фосфатної сировини України / **Ю. І. Вецнер, А. С. Савенков, І. С. Білогур, І. М. Рищенко** // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - 2015. - № 4/2015 (93). - С. 148 - 154.
2. **Vetsner, Yu. I.** New ways of receipt NP-fertilizers from low-grade phosphates of Ukraine / **Yu. I. Vetsner, A. S. Savenkov, I. S. Belogur** // *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2014. - №3(22). - Ч.2. - 12 - 13.
3. **Blanchet, G.** Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system / **G. Blanchet, K. Gavazov, L.**

4. **Bragazza, S. Sinaj** // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. - 2016. - Vol. 230. - P. 116-126.
4. **Khan, N. M.** Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater / **M. N. Khan, M. Mobin, Z. K. Abbas, S. A. Alamri** // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. - 2017. - doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2.
5. **Scherer, H. W.** fertilizers and fertilization / **H. W. Scherer** // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Soils in the Environment*. - 2005. - P. 20-26. - doi:10.1016/B0-12-348530-4/00229-0.
6. **Вецнер, Ю. І.** Технологія NPCa-добрив з використанням карбаміду та фосфоритів з низьким вмістом фосфору (V) оксиду: дис. на здобуття вченого ступеня кандидата техн. наук: 05.17.01 / **Вецнер Ю. І.** - Х., 2015. - 165 с.
7. **Korrapati, M. C.** Urea / **M. C. Korrapati, H. M. Mehendale** // *Reference Module in Biomedical Sciences*. - 2014. - № 3. - P. 885 - 888. - doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00357-2.
8. **ГОСТ 2081 - 2010.** Карбамід. Технічні умови.
9. **Українець, І. В.** Кристалічне строення 2- оксо-4-(1-фенілетіламіно)-1,2-дигідрохінолін-3-карбонових кислот як фактор, визначаючий їх анальгетичну активність / **І. В. Українець, Е. В. Моспанова, В. Н. Баумер** // *Журнал органічної та фармацевтичної хімії*. - 2012. - Т. 10. - Вип. 1 (37). - С. 66-71.
10. **Баумер, В. Н.** Рентгендіфракційні методи дослідження біологічних активних сполучень / **В. Н. Баумер, О. В. Шишкін** // *Аналітична хімія в створенні, стандартизації та контролі якості лікарських засобів*: Харків, "НТМТ". - 2011. - Т.1. - С. 403-426.
11. **Voloshyna, O. V.** New, dense, and fast scintillators based on rare-earth tantalum-niobates / **O. V. Voloshyna, I. A. Boiaryntseva, V. N. Baumer, A. I. Ivanov, M. V. Korjik, O. Ts. Sidletskiy** // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. - 2014. - Vol. 764. - P. 227-231. - doi:10.1016/j.nima.2014.07.044.
12. **Baum, M.** X-Ray Reflectivity analysis of SiO₂ nanochannels filled with water and ions: a new method for the determination of the spatial distribution of ions inside confined media / **M. Baum, D. Rébiscoul, S. Tardif, N. Tas, L. Mercury, F. Rieutord** // *Procedia Earth and Planetary Science*. - 2017. - Vol. 17. - P. 682 - 685. - doi: 10.1016/j.proeps.2016.12.146.
13. **Johnson, T. F.** X-ray computed tomography of packed bed chromatography columns for three dimensional imaging and analysis / **T. F. Johnson, P. R. Levison, P. R. Shearing, D. G. Bracewell** // *Journal of Chromatography A*. - 2017. - V. 1487. - P. 108-115. - doi: 10.1016/j.chroma.2017.01.013.
14. **Lesnych, N.** Dicht oder undicht? Tomografische Analytik von Injektionsmittel-Horizontalabdichtungen an verschiedenen Objekten / **N. Lesnych, E. Fedorenko, L. Koss, M. Ryshchenko, L. Shchukina, H. Venzmer** // *Abdichten im Holz-und Bautenschutz: Normen, Regeln und Entwicklungen*. - 2011. - P. 29 - 54.
15. **Harrison, R.** A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions / **R. Harrison, J. Webb** // *Advances in Agronomy*. - 2001. - Vol. 73. - P. 65-108. - doi: 10.1016/S0065-2113(01)73005-2.

Bibliography (transliterated)

1. **Vetsner, Yu. I., Savenkov, A. S., Bilohur, I. S., Ryshchenko, I. M.** Vyznachennya kinetychnykh parametriv dlya nyz'kosortnoyi fosfatnoyi syrovyny Ukrainy. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*, 2015, 4/2015 (93), 148 - 154.
2. **Vetsner, Yu. I., Savenkov, A. S., Belogur, I. S.** New ways of receipt NP-fertilizers from low-grade phosphates of Ukraine. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2014, № 3 (22), Chast' 2, 12 – 13.
3. **Blanchet, G., Gavazov, K., Bragazza, L., Sinaj S.** Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, **230**, 116-126.
4. **Khan, N. M., Mobin, M., Abbas, Z. K., Alamri, S. A.** Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2.
5. **Scherer, H. W.** fertilizers and fertilization. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Soils in the Environment*, 2005, 20-26, doi: 10.1016/B0-12-348530-4/00229-0.
6. **Vetsner, Yu. I.** Tekhnolohiya NPCa-dobryv z vykorystannyam karbamidu ta fosforytiv z nyz'kym vmistom fosforu (V) oksydu: dys. na zdobuttya vchenoho stupinya kandydata tekhn. nauk: 05.17.01 / **Vetsner Y. I.**, KH., 2015, 165 p.
7. **Korrapati, M. C., Mehendale, H. M.** Urea. *Reference Module in Biomedical Sciences*, 2014, № 3, 885 – 888, doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00357-2.
8. **GOST 2081 - 2010.** Karbamid. Tekhnicheskiye usloviya.
9. **Ukrainets, I. V., Mospanova, Ye. V., Baumer, V. N.** Kristallicheskoye stroyeniye 2-okso-4-(1-feniletilamino)-1,2-digidrokhinolin-3-karbonovykh kislot kak faktor, opredelyayushchiy ikh anal'geticheskuyu aktivnost'. *Zhurnal orhanichnoyi ta farmatsevtichnoyi khimiyi*, 2012, **10**, 1 (37), 66-71.
10. **Baumer, V. N., Shishkin, O. V.** Rentgendifraktsionnyye metody issledovaniya biologicheskii aktivnykh soyedineniy. *Analiticheskaya khimiya v sozdanii, standartizatsii i kontrole kachestva lekarstvennykh sredstv*: Khar'kov, "NTMT", 2011, **1**, 403-426.
11. **Voloshyna, O. V., Boiaryntseva, I. A., Baumer, V. N., Ivanov, A. I., Korjik, M. V., Sidletskiy, O. Ts.** New, dense, and fast scintillators based on rare-earth tantaloniobates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2014, **764**, 227-231, doi:10.1016/j.nima.2014.07.044.
12. **Baum, M., Rébiscoul, D., Tardif, S., Tas, N., Mercury, L., Rieutord, F.** X-Ray Reflectivity analysis of SiO₂ nanochannels filled with water and ions: a new method for the determination of the spatial distribution of ions inside confined media. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2017, **17**, 682 – 685, doi: 10.1016/j.proeps.2016.12.146.
13. **Johnson, T. F., Levison, P. R., Shearing, P. R., Bracewell, D. G.** X-ray computed tomography of packed bed chromatography columns for three dimensional imaging and analysis. *Journal of Chromatography A*, 2017, **1487**, 108–115, doi: 10.1016/j.chroma.2017.01.013.
14. **Lesnych, N., Fedorenko, E., Koss, L., Ryshchenko, M., Shchukina, L., Venzmer H.** Dicht oder undicht? Tomografische Analytik von Injektionsmittel-Horizontalabdichtungen an verschiedenen Objekten. *Abdichten im Holz-und Bauenschutz: Normen, Regeln und Entwicklungen*, 2011, 29 – 54.
15. **Harrison, R., Webb, J. A.** A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, 2001, **73**, 65-108, doi: 10.1016/S0065-2113(01)73005-2.

Сведения об авторах (About authors)

Вецнер Юлана Игоревна – кандидат технических наук, инженер 1-ой категории отдела снабжения; Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: vetsner7@gmail.com.

Yulana Vetsner – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Engineer of the 1st category of the supply department; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: vetsner7@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Вецнер, Ю. И. Исследование процесса получения фосфата карбамида / **Ю. И. Вецнер** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 137-143. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.22.

Please cite this article as:

Vetsner, Yu. Research of the process of obtaining carbamide phosphate. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 137–143, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.22.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вецнер, Ю. І. Дослідження процесу отримання фосфату карбаміду / **Ю. І. Вецнер** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». - 2017. - № 23(1245). - С.137-143. - doi:10.20998/2413-295.2017.23.22.

АННОТАЦІЯ У статті розглянуто отримання азотно-фосфорного добрива (фосфат карбаміду) з карбаміду та ортофосфорної кислоти різної чистоти. Визначено особливості розчинення карбаміду в ортофосфорній кислоті та кристалізації фосфату карбаміду в залежності від концентрації ортофосфорної кислоти. Представлені рентгенограми та дериватограми отриманих зразків фосфату карбаміду (CO(NH₂)₂-H₃PO₄). Показана залежність зміни маси фосфату карбаміду від часу взаємодії і температури процесу. Встановлено оптимальну концентрацію ортофосфорної кислоти для отримання фосфату карбаміду.

Ключові слова: добрива; карбамід; ортофосфатна кислота; фосфат карбаміду; кристалізація.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 663.916:640432

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.23

ВПЛИВ СТУПІНЮ ПОДРІБНЕННЯ СЛАНЕЙ ВОДРОСТЕЙ ВАКАМЕ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНИХ БАТОНЧИКІВ «ALGAE BAR WAKAME»

В. В. ЄВЛАШ, В. А. АКМЕН, С. В. НІКІТИН*

¹ Харківський державний університет харчування і торгівлі, Харків, УКРАЇНА
*email: s.nikitin@hduht.edu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено режими подрібнення сланей водорості вакаме та вплив їх ступеню подрібнення на формування показників якості батончиків білково-мінеральних «Algae bar wakame». Встановлено, що кращі органолептичні показники якості білково-мінеральних батончиків «Algae bar wakame» забезпечуються при введенні порошку водоростей вакаме із ступенем подрібнення (20...40) $\times 10^{-6}$ м, які подрібнювались протягом 7 хвилин.

Ключові слова: слані; бурі водорості; вакаме; ступінь подрібнення; білково-мінеральний батончик.

INFLUENCE DEGREE OF MILLING OF ALGAE WAKAME THALLUS ON THE QUALITY INDICATORS OF THE PROTEIN-MINERAL BARS "ALGAE BAR WAKAME"

V. YEVLASH, V. AKMEN, S. NIKITIN*

Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Since recently the share of products with a high content of artificial additives and a low content of micronutrients (for example, iodine), the problem of correcting iodine deficiency among the population is becoming urgent. To replenish the body deficiencies micronutrients, according to many scientists, it is advisable to enrich with natural supplements containing deficiencies of microelements in large quantities. It was found that the content of iodine in algae is a maximum - up to 1% of the minerals. This is the reason for their frequent use for enrichment of products intended for the prevention of iodine deficiency among the population. As a significant proportion of introduced additives in foods in powdered state to determine the optimal fractional composition of the powder held thallus milling seaweed wakame and investigated different modes of milling.

Purpose. The influence of the degree of milling thallus wakame seaweed in quality protein-mineral bars.

Method. The study of particle size was done by microscopic method. This takes into account the principle of main fraction of at least 50%. The resulting fractions wakame seaweed powder is added into the prototypes of protein-mineral bars.

Results. Through organoleptic evaluation samples of finished bars was selected optimal regimes grinding 7 minutes, providing maximum yield fractions (20...40) $\times 10^{-6}$ meters. Found that the selected mode provides: fine-structure on the cut; uniform distribution of components; the smell is sweet with a hint of fruit components; fruit taste is pleasant, without specific nuances characteristic for seaweed; characteristic color is dark brown with a slight greenish tint; consistency viscous, semi-solid.

Conclusions. Studied the effect of milling time change in particle size dried wakame brown seaweed and the organoleptic quality protein-mineral bars, which include powders dried wakame brown seaweed.

Keywords: thallus; brown algae; wakame; degree of milling; protein-mineral bar.

Вступ

У напрямку вирішення проблеми нестачі мінеральних елементів в організмі людини працюють вчені медичного напрямку, знавці нутриціології, гігієни харчування і, звичайно, науковці з технології харчових продуктів. Це відноситься й до переліку мікроелементів, яких організму людини потребується менш 1 мг на добу, але без них відбуваються збої у роботі майже всіх функціональних систем і органів. Особливу увагу викликає йод, який входить до складу гормонів щитовидної залози (тироксину та трийодтироніну), які каталізують реакції обміну речовин, впливають на функціонування практично всіх систем організму, регулюють розумову діяльність тощо.

Нестачі йоду в організмі завжди приділялась значна увага. Але в епоху розвитку індустрії, коли збільшується у повітрі кількість газів та токсичних елементів, а з прилавків магазинів зникають натуральні морські продукти, споживання яких сприяло збалансованій роботі всіх систем і тканин людини, актуальність корекції йододефіциту набула особливого значення.

Аналіз останніх досліджень. Для вирішення проблеми надходження до організму дефіцитних нутрієнтів, ще в минулому столітті, фахівці і науковці співробітники харчової галузі запропонували корегувати склад харчових продуктів шляхом введення різних збачувальних компонентів до їх рецептури. Аналіз показав, що до продуктів, які потребують коригування відноситься група кондитерських виробів. Продукти цієї групи

традиційно користуються попитом у населення, мають різноманітний склад та приємний насичений смак, який здатен нівелювати смакові відтінки добавок. До того ж нові кондитерські вироби збагачені фруктовими, овочевими та іншими добавками зазвичай мають інтерес серед споживачів, що стимулює виробників до впровадження розробок у технологічний процес.

Найбільш перспективним напрямом рішення проблеми йододефіцититу є розробка функціональних продуктів на основі природної йодвміщуючої сировини [1]. У якості такої сировини вчені використовують морські водорості, які є джерелом органічного йоду, а також мають високий вміст речовин з властивостями сорбентів та антиоксидантів.

Збагаченню кондитерських виробів йодовмісними добавками присвячено ряд робіт вчених ХДУХТ (Г.І. Дюкарева, Г.В. Дейничко, А.Е. Гасанова та інші). Завдяки їх дослідженням розроблено технології цукрових, пастильних, бісквітних виробів збагачених на йод шляхом введення порошків еламіну, цистозіри, ламінарії. При цьому йодовмісні добавки сприяли процесу піноутворення та покращенню структури виробів [2,3].

Широке застосування отримала ламінарія японська, яку традиційно використовують у харчовій промисловості для виготовлення харчоконцентратної, кулінарної продукції та консервів. Проте, у процесі попередньої технологічної обробки втрачається значна частина органічних та мінеральних речовин. Так, у Японії та Франції широко розповсюджені продукти з морської капусти – це приправи, сік, порошок, гранули, які можна використовувати окремо або як складові частини харчових продуктів і страв[4].

Переважає частина збагачених на йод кондитерських виробів відноситься до висококалорійних продуктів, що обумовлено значним вмістом легкозасвоюваних вуглеводів, тому доцільним і актуальним залишається розробка багатофункціональних йодовмісних кондитерських виробів, з включенням до рецептури широкого набору рослинних компонентів (сушених фруктів, ягід, овочів, насіння соняшнику тощо) та зменшення вмісту цукру.

Перспективний напрямок - це розробка нового асортименту продукції з використанням морських водоростей і продуктів їх переробки. Науковий підхід до розробки інгредієнтного складу і вдосконалення технології таких продуктів дозволять не тільки збагатити раціони харчування біодосяжним органічним йодом, а й забезпечити економічну доступність для всіх категорій населення [5]. Щоб забезпечити збалансоване харчування, необхідно створювати нові харчові продукти зниженої енергетичної цінності, зі зменшеним вмістом цукру, жиру та інших висококалорійних рецептурних компонентів. Для збагачення кондитерських виробів

можна використовувати порошок бурої водорості – ламінарії [6].

Порошок з ламінарії містить ряд біологічно активних речовин, серед яких різні амінокислоти, йодиди, вітаміни, мінерали, такі як магній, марганець, який також необхідний для росту організму, підтримання складу крові і правильного функціонування статевих залоз. Цей порошок знижує рівень холестерину в крові, попереджає розвиток атеросклерозу, регулює діяльність статевих залоз і ендокринної системи, зв'язує і виводить токсини з організму, в тому числі важкі метали, радіонукліди. стимулює репарацію слизових оболонок, чинить бактерицидну дію, поглинає різні токсини з кишечника, зменшує в'язкість крові, покращує асиміляцію білка, засвоєння фосфору, кальцію і заліза. Сухі порошокоподібні інгредієнти мають ряд особливостей, котрі вигідно відрізняють їх від інших харчових продуктів. Це швидкість і простота (з мінімальною затратою праці) приготування страв, висока концентрація поживних речовин, висока їх засвоюваність, можливість тривалого зберігання без втрати якості, транспортабельність [7].

Так, наприклад, співробітниками Південно-Уральського державного університету розроблена технологія збагачення пісочного печива порошком з бурих морських водоростей фукус. Встановлено, що внесення 7 % порошку фукуса до маси борошна в рецептурі пісочних напівфабрикатів сприяє підвищенню поліпшенню хімічного складу виробу, збагаченню його мінеральними елементами, йодом[8].

Як показали дослідження, більшість добавок вводять у подрібненому, частіше у порошокоподібному стані, що сприяє більш рівномірному розподілу їх у продукті, а також при певній дисперсності відбувається перехід порогу смакової чутливості, що дуже важливо для добавок з нехарактерним присмаком [9]. При цьому слід чітко враховувати сумісність введених добавок за ступенем вологості та дисперсності, а також вплив на зміни технологічного режиму, оскільки при введенні порошків можуть відбуватися значні зміни властивостей продукту: зникає відновлюваність, зменшується пластичність, підвищується показник пружності і в'язкості тощо [10,11].

Тому при розробці нових кондитерських виробів з додаванням йодовмісної сировини важливим є вивчення режимів подрібнення добавок та вплив ступеню подрібнення на реологічні та органолептичні характеристики продукту [12-18].

Об'єктами дослідження були сушені слані водорості вакаме різного ступеню подрібнення, білково-мінеральні батончики, до складу яких їх вводили.

Мета роботи

Мета роботи - дослідження впливу ступеню подрібнення сланей водорості вакаме на показники якості білково-мінеральних батончиків.

Викладення основного матеріалу

У напрямку розробки кондитерських виробів збагачених на йод запропоновано введення до рецептурного складу фруктових батончиків йодовмісного компонента, а саме сланів водоростей вакаме. Попередніми дослідженнями встановлено, що сушені слані вакаме містять йод у кількості $39,1 \pm 0,4 \text{ мг/100г}$, також було доведено, що колір сланів цієї водорості значним чином впливає на зміну колірних характеристик кондитерських виробів та, як наслідок, обмежує їх використання у кондитерській галузі, але є доцільним у разі введення у продукти, що містять значну кількість темнозбарвлених фруктово-овочевих компонентів, шоколад чи какао, тобто інгредієнти, які нівелюють зелений колір.

Оскільки, більш сприятним є введення збагачуючих добавок у вигляді порошку, завданням першого етапу роботи було дослідження оптимальних режимів подрібнення сланів вакаме та визначення оптимального режиму, що забезпечить вихід необхідного фракційного складу продукту.

При обиранні раціонального розміру подрібнених часток враховували поріг смакової чутливості, який знижується при збільшенні дисперсності інгредієнту, а також чинник впливу на ступінь подрібнення співвідношення з розміром часток інших складових продукту, а також доцільність витрат електроенергії.

Вивчення розмірів часток проводили мікроскопічним методом. Для цього зразки водоростей, які були подрібнені на протязі різного часу, змішували з незмочуючою рідиною (мінеральним маслом) до однорідної консистенції. Готували препарат на наочному склі і фотографували цифровою камерою при загальному збільшенні мікроскопа 630 разів.

Фотографії переносили в редактора Photoshop, в якому ідентифікували зону знімка з кількістю частинок не менше 300 штук. Вибрана зона з маркером для оцінки розмірів збільшувалася програмним засобом. Далі підраховувалася кількість частинок для кожного значення середнього діаметру.

Диференціальну функцію $f(d)$ розподілу частинок за діаметром одержували в програмному пакеті MathCAD шляхом апроксимації експериментальних даних поліномом 8-го ступеня.

$$f(d) = \frac{dN_i}{N} \cdot 100\% \quad (1),$$

де dN_i - кількість частинок i -го діаметру d ; N - загальна кількість частинок ($N = 300$).

На першому етапі визначали ступінь подрібнення сланів вакаме та час подрібнення, що буде оптимальним для введення у продукт. Спочатку проводили підготовку сировини до подрібнення. Оскільки, рослинні інгредієнти, для кращого подрібнення, мають характеризувались вихідним

вологовмістом, що складає не більше 10%, слані водоростей вакаме нормалізували за вологістю шляхом підсушування.

Далі слані розділяли на три групи зразків і подрібнювали на дезінтеграторі відцентрового типу з частотою обертання 3000 об/хв: тривалість подрібнення першої групи складала 3 хв, другої – 5 хв, третьої – 7 хв.

Отримані зразки порошоків просіювали за ступенем диспергування при використанні сит з різними діаметрами отворів та вивчали розподіл порошку вакаме за діаметром (дисперсністю) мікроскопічним методом, в залежності від тривалості подрібнення. Крупну фракцію видаляли на ситах з діаметром отворів ($0,1 \times 10^{-3} \text{ м}$), а прохід розділяли на 3 фракції з характерними розмірами (20...40, 40...60, 60...100) $\times 10^{-6} \text{ м}$, і за допомогою мікроскопа, відбирали партії таким чином, щоб основна фракція складала не менше 50% від загального числа часток. При цьому враховували, що найбільш сприятними для введення у продукт є фракції (20...40, 40...60) $\times 10^{-6} \text{ м}$.

Обговорення результатів

Дослідженнями встановлено, що відносна (за масою) частка відсіву складала менше 10% після 5 хв подрібнення. Виходячи з теорії диспергування, така частина відсіву може виявитися регулярною, що визначається структурно-механічними властивостями сланей вакаме. Результати вивчення дисперсності порошоків сланів водоростей вакаме наведено на рис. 1.

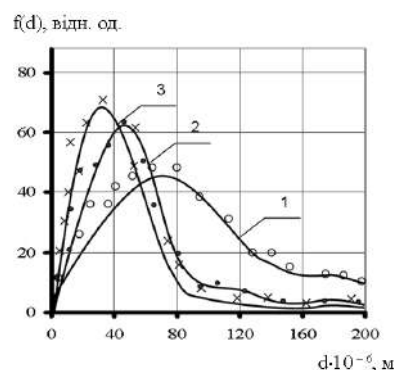


Рис. 1 – Розподіл частинок порошку сланів вакаме за діаметром при подрібненні протягом: 1 – 3×60 с, 2 – 5×60 с, 3 – 7×60 с

З рис. 1 видно, що локальний максимум (менше 5 % частинок) спостерігається при 7×60 с та 5×60 с, що відповідає діапазону дисперсності (20...40) $\times 10^{-6} \text{ м}$ та (40...60) $\times 10^{-6} \text{ м}$.

При 3 х 60 с подрібнення ширина функції розподілу є значною, а кількість часток із максимумом на функції розподілу на багато менша ніж при 5×60 с та 7×60 с. При цьому, у разі збільшення тривалості подрібнення функція зміщується у сторону більш дрібної фракції – менше $20 \times 10^{-6} \text{ м}$, що не є доцільним для даної технології.

При цьому візуально можна побачити велику кількість досить крупних частинок.

Таким чином 7×60 с та 5×60 с визначено за найбільш прийнятні режими подрібнення сланів вакаме, а фракції $(20...40) \times 10^{-6}$ м та $(40...60) \times 10^{-6}$ м обрано у якості зразків для подальших досліджень.

Згідно з запропонованою технологією білково-мінеральних батончиків «Algae bar wakame» порошки вакаме з'єднують з подрібненими сухофруктами, перемішують і вводять у рецептурну суміш. Для органолептичних досліджень було виготовлено зразки батончиків з порошком вакаме різного ступеню подрібнення: зразок № 1 із введенням сланів вакаме зі ступенем подрібнення – $(20...40) \times 10^{-6}$ м, зразок № 2 – $(40...60) \times 10^{-6}$ м. За контроль було обрано білково-мінеральний батончик без додавання сланів вакаме. Результати органолептичних досліджень наведено у табл.1.

Таблиця 1 - Результати органолептичних досліджень фруктових батончиків з різним ступенем подрібнення вакаме

Показник	Характеристика зразків зі ступенем подрібнення вакаме		Контроль
	№ 3 – $(20...40) \times 10^{-6}$ м	№ 2 – $(40...60) \times 10^{-6}$ м	
Зовнішній вигляд	брусочок прямокутної форми з в міру гладкою і рівномірною поверхнею	брусочок прямокутної форми з в міру гладкою і рівномірною поверхнею	брусочок прямокутної форми з гладкою і рівномірною поверхнею
Смак та запах	солодкий з відтінком фруктових компонентів, запах приємний фруктовий, без специфічних відтінків притаманних водорості	солодкий з відтінком фруктових компонентів, запах приємний фруктовий, без специфічних відтінків притаманних водорості	солодкий з відтінком фруктових компонентів, запах приємний фруктовий
Колір на розрізі	темно коричневий з незначним зеленим відтінком	темно коричневий з помітними темно-зеленими краплями	коричневий
Консистенція	напівтверда, дещо в'язка, залипання при розрізанні майже відсутньо	напівтверда, дещо в'язка, залипання при розрізанні майже відсутньо	напівтверда, дещо в'язка, залипання при розрізанні майже відсутньо
Структура	дрібнодисперсна з рівномірним розподілом складових	дрібнодисперсна, але на зрізі спостерігаються часточки водоростей	дрібнодисперсна з рівномірним розподілом складових

Як видно з таблиці обидві зразки оформлені у вигляді бруска прямокутної форми, їх поверхня достатньо рівномірна і гладка. Структура на розрізі дрібнодисперсна з рівномірним розподілом складових інгредієнтів, консистенція напівтверда, дещо в'язка, але у зразка № 2 – $(40...60) \times 10^{-6}$ м відчуваються окремі частинки водоростей.

Висновки

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що більш високі органолептичні показники якості фруктових батончиків з вакаме формуються при введенні порошку вакаме з розміром частинок $(20...40) \times 10^{-6}$ м, що забезпечує режим подрібнення протягом 7×60 с.

Список літератури

1. **Руциц, А. А.** Использование морских водорослей в производстве мучных кондитерских изделий / **А.А. Руциц** // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии.* – 2014. – Т. 2. – 3.
2. **Корзун, В. Н.** Технологія млинцевого напівфабрикату функціонального призначення / **В. Н. Корзун, І. Ю. Антонюк** // *ХДУХТ*, Харків. 2012.
3. **Шевченко, О. Є.** Формування якості морозива функціонального призначення шляхом збагачення йодом та білком : дис. – Х. : **О. Є. Шевченко**, 2008.
4. **Павлова, Ю. О.** Аналіз технології борошняних кондитерських виробів та оздоблювальних напівфабрикатів з використанням підсолонувачів і продуктів переробки морських водоростей / **Ю. О. Павлова** // *Науковий пошук молодих дослідників.* – 2013. – С. 61.
5. **Кобзева, С. Ю.** Применение порошка ламинарии для повышения качества кулинарных изделий / **С. Ю. Кобзева и др.** // *Вопросы питания.* – 2016. – Т. 85. – №. 52. – С. 193-193.
6. **Типсина, Н. Н.** Использование порошка ламинарии в производстве сахарного печенья / **Н. Н. Типсина, Шломина В. А.** // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета.* – 2014. – №. 6. – С. 268.
7. **Пьянкова, Д. М.** Целесообразность использования порошка из морской капусты в качестве функциональной добавки / **Д. М. Пьянкова** // *Труды Уральского государственного экономического университета.* – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та. – 2016. Т. 1.– С. 202.
8. **Журавлева, С. В.** К вопросу расширения ассортимента кондитерских изделий с использованием морских водорослей и продуктов их переработки / **С. В. Журавлева, Т. М. Бойцова, Е. Г. Новицкая, А. П. Еремеева** // *Инновационные технологии в науке и образовании* : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. — № 4 (4). — С. 224–227.
9. **Сафонова, О. Н.** Системные исследования технологий переработки продуктов питания / Под общ. ред. **О. Н. Сафоновой** : Харьков, 2000. – 200 с.

10. **Мачихин, Ю. А.** Инженерная реология пищевых материалов / **Ю. А. Мачихин, Е. С. Мачихин** // *Лёгкая и пищевая промышленность*. – М., 1981. – 216с.
11. **Гніцевич, В. А.** Вивчення реологічних характеристик збитих систем з використанням топінамбура / **В. А. Гніцевич, О. О. Василєва, К. В. Ульяченко** // *Проблеми техніки і технології харчових виробництв* : Міжвузівська науково практична конференція, 2004 р. – Полтава, 2004. – С. 279 – 282.
12. **Amorim, K.** Changes in bioactive compounds content and antioxidant activity of seaweed after cooking processing / **K. Amorim, M. A. Lage-Yusty, J. Lopez-Hernandez** // *Journal of Food*. – 2012. – №. 4. – p. 321-324. – doi:10.1080/19476337.2012.658871.
13. **Munir, N.** Algae: a potent antioxidant source / **N. Munir et al.** // *Sky Journal of Microbiology Research*. – 2013. – №. 3. – p. 22-31.
14. **Zava, T. T.** Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis / **T. T. Zava, D. T. Zava** // *Thyroid research*. – 2011. – №. 1. – p. 14. – doi: 10.1186/1756-6614-4-14.
15. **Kolb, N.** Evaluation of marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and kombu (*Laminaria digitata japonica*) as food supplements / **N. Kolb et al.** // *Food Technology and Biotechnology*. – 2004. – №. 1. – p. 57-62.
16. **Jurković, N.** Nutritive value of marine algae *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida* / **N. Jurković, N. Kolb, I. Colić** // *Food Nahrung*. – 1995. – №. 1. – p.63-66. – doi: 10.1002/food.19950390108.
17. **Kadam, S.** Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products / **S. Kadam, P. Prabhasankar** // *Food Research International*. – 2010. – Т. 43. – №. 8. – pp. 1975-1980. – doi: 10.1016/j.foodres.2010.06.007.
18. **Burtin, P.** Nutritional value of seaweeds / **P. Burtin** // *Electronic journal of Environmental, Agricultural and Food chemistry*. – 2003. – №. 4. – pp. 498-503.
5. **Kobzeva, S. Yu.** i dr. Primenenie poroshka laminarii dlya povyisheniya kachestva kulinarnykh izdeliy, *Voprosy pitaniya*, 2016, **85**, 52, 193-193.
6. **Tipsina, N. N., Shlomina, V. A.** Ispolzovanie poroshka laminarii v proizvodstve sahnogo pechenya, *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, 6.
7. **Pyankova, D. M.** Tselesoobraznost ispolzovaniya poroshka iz morskoy kapusty v kachestve funktsionalnoy dobavki, *Trudy Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. gos. ekon. un-ta, 2016, **1**, 202.
8. **Zhuravleva, S. V.** K voprosu rasshireniya assortimenta konditerskikh izdeliy s ispolzovaniem morskikh vodorosley i produktov ih pererabotki, *Cheboksaryi: TsNS «Interaktiv plyus»*, 2015, **4** (4), 224–227.
9. **Safonova, O. N.** Sistemnyie issledovaniya tehnologii pererabotki produktov pitaniya, Pod obsch. red. O. N. Safonovoy: Harkov, 2000, 200 s.
10. **Machihin, Yu. A., Machihin, E. S.** Inzhenernaya reologiya pischevyykh materialov, *Lyogkaya i pischevaya promyshlennost. M.*, 1981, 216 s.
11. **Hnitsevych, V. A., Vasylieva, O. O., Uliachenko, K. V.** Vychennia reolohichnykh kharakterystyk zbytykh system z vykorystanniam topinambura, *Problemy tekhniki i tekhnologii kharchovykh vyrobnystv* : Mizhvuzivska naukovy praktychna konferentsiia, 2004, 279 – 282.
12. **Amorim, K., Lage-Yusty, M. A., Lopez-Hernandez, J.** Changes in bioactive compounds content and antioxidant activity of seaweed after cooking processing, *Journal of Food*, 2012, **4**, 321-324. - doi:10.1080/19476337.2012.658871.
13. **Munir, N.** et al. Algae: a potent antioxidant source, *Sky Journal of Microbiology Research*, 2013, **3**, 22-31.
14. **Zava, T. T., Zava, D. T.** Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis, *Thyroid research*, 2011, **1**, 14, doi:10.1186/1756-6614-4-14.
15. **Kolb, N.** et al. Evaluation of marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and kombu (*Laminaria digitata japonica*) as food supplements. *Food Technology and Biotechnology*, 2004, **1**, 57-62.
16. **Jurković, N., Kolb, N., Colić, I.** Nutritive value of marine algae *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Food Nahrung*, 1995, **1**, 63-66, doi: 10.1002/food.19950390108.
17. **Kadam, S. U., Prabhasankar, P.** Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International*, 2010, **43**, 8, 1975-1980, doi: 10.1016/j.foodres.2010.06.007
18. **Burtin, P.** Nutritional value of seaweeds. *Electronic journal of Environmental, Agricultural and Food chemistry*, 2003, **4**, 498-503.

Bibliography (transliterated)

1. **Ruschits, A. A.** Ispolzovanie morskikh vodorosley v proizvodstve muchnykh konditerskikh izdeliy, *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pischevyye i biotekhnologii*, 2014, **2**, 3.
2. **Korzun, V. N., Antoniuk, I. Iu.** Tekhnolohiia mlyntsevoho napivfabrykatu funktsionalnoho pryznachennia, *KhDUKht*, Kharkiv, 2012.
3. **Shevchenko, O. Ie.** Formuvannia yakosti morozyva funktsionalnoho pryznachennia shliakhom zbahachennia yodom ta bilkom : dys. – Kh.: O.Ie. Shevchenko, 2008.
4. **Pavlova, Iu. O.** Analiz tekhnolohii boroshnianskykh kondyterskykh vyrobiv ta ozdoblivalnykh napivfabrykativ z vykorystanniam pidsolozhuvachiv i produktiv pererobky morskyykh vodoroslei, *Naukovyi poshuk molodykh doslidnykiv*, 2013, 61.

Відомості про авторів (About authors)

Євлаш Вікторія Владленівна – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування і торгівлі, завідувач кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування, м.Харків, Україна; e-mail: Evlashvv@gmail.com.

Victoria Yevlash – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemistry, Microbiology and Food Hygiene, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine, e-mail: Evlashvv@gmail.com.

Акмен Вікторія Олександрівна - кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування і торгівлі, викладач кафедри товарознавства в митній справі; м.Харків, Україна; e-mail: kafedra224@mail.ru.

Viktoria Akmen - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of merchandizing on custom business, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, e-mail: kafedra224@mail.ru.

Нікітін Сергій Васильович – аспірант, кафедра хімії, мікробіології та гігієни харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, Україна; e-mail: s.nikitin@hduht.edu.ua.

Sergii Nikitin – postgraduate student, Department of Chemistry, Microbiology and Food Hygiene, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkov, Ukraine, e-mail: s.nikitin@hduht.edu.ua.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Євлаш, В. В. Вплив ступіню подрібнення сланей водоростей вакаме на показники якості білково-мінеральних батончиків «Algae bar wakame» / **В. В. Євлаш, В. О. Акмен, С. В. Нікітін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.23.

Please cite this article as:

Yevlash, V., Akmen, V., Nikitin, S. Influence degree of milling of algae wakame thallus on the quality indicators of the protein-mineral bars "algae bar wakame". *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 144–149, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.23.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Євлаш, В. В. Влияние степени измельчения слоевищ водорослей вакаме на показатели качества белково-минеральных батончиков «Algae bar wakame» / **В. В. Евлаш, В. А. Акмен, С. В. Никитин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 23(1245). - С. 144-149. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.23.

АННОТАЦІЯ *Исследованы режимы измельчения слоевищ водоросли вакаме и влияние их степени измельчения на формирование показателей качества батончиков белково-минеральных «Algae bar wakame». Установлено, что лучшие органолептические показатели качества белково-минеральных батончиков «Algae bar wakame» обеспечиваются при введении порошка водорослей вакаме со степенью измельчения $(20...40) \times 10^{-6}$ м, которые измельчались в течение 7 минут.*

Ключовые слова: *слоевища; бурые водоросли; вакаме; степень измельчения; белково-минеральный батончик.*

Надійшла (received) 28.05.2017

УДК 66.095.81

doi: 10.20998/2413-4295.2017.23.24

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКТОРА ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО АДИАБАТИЧЕСКОГО НИТРОВАНИЯ БЕНЗОЛА

С. А. КОНДРАТОВ*, А. А. КРАСИЛЬНИКОВА

Кафедра высшей математики и компьютерных технологий Института химических технологий Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Рубежное, Луганская обл., Украина

* e-mail: kondratovsa@gmail.com

АННОТАЦИЯ Рассмотрены две модели реактора высокотемпературного адиабатического нитрования бензола: «мягкая» модель, основанная на кинетике гетерогенного нитрования в условиях идеального перемешивания, и упрощенная ячеечная модель. Обе модели позволяют грубо оценить границы времени пребывания для достижения высокой степени превращения в реакторе вытеснения в процессе высокотемпературного адиабатического нитрования бензола. Модели могут быть использованы при проектировании опытных установок высокотемпературного адиабатического нитрования. **Ключевые слова:** бензол; высокотемпературное адиабатическое нитрование; реактор идеального вытеснения; математические модели; ячеечная модель.

COMPUTER MODELING OF THE REACTOR FOR HIGH-TEMPERATURE ADIABATIC NITRATION OF BENZENE

S. KONDRA TOV, A. KRASYL'NIKOVA

Department of mathematics and computer technologies Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Rubizhne, UKRAINE

ANNOTATION. A "soft" model of the ideal tubular reactor with mixing elements for the process of high-temperature adiabatic nitration of benzene in the mixture of $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ has been developed. This model makes it possible to estimate roughly the boundaries of the residence time to achieve a high degree of conversion. The standard model of a tubular piston flow adiabatic reactor in the stationary state was used. The model is based on the kinetic data of heterogeneous nitration under ideal mixing conditions and the parameter that characterizes the delamination. It was shown by modeling that in the range of operating temperatures of nitration of 100-150 ° C and a degree of conversion of 0-100%, the density change does not exceed 3% rel. It is possible to regard the density as constant in the first approximation. The upper and lower limits of the values of this parameter can be chosen empirically. A simplified cell model of high-temperature adiabatic nitration was proposed. The model is based on the next assumption. The emulsion in the cell is stratified after mixing. As a result, the average volume fraction of the emulsion in the mixture becomes less than 1. It has been suggested that this amount of emulsion fully reacts in the cell. Next, mixing and transition to the next cell occurs. A satisfactory correspondence between the results of the model calculation and the literature data was demonstrated. The developed models can be used to design research facilities for high-temperature adiabatic nitration to estimate the length of a tubular reactor

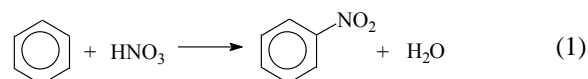
Keywords: benzene; high-temperature adiabatic nitration; ideal tubular reactor; mathematical models; cell model.

Введение

Нитробензол – базовый продукт органического синтеза, основа для получения анилина и продуктов на его основе: полимеров, красителей, добавок к топливам, пестицидов, субстанций лекарственных препаратов, химикатов для полимеров, взрывчатых веществ [1], количество которых, по нашим оценкам, превышает несколько сотен наименований. Главным применением нитробензола и анилина на сегодняшний день является использование в синтезе полиуретанов. Это способствовало росту производства нитробензола от 2,5-3 млн т. в начале 2000-х годов [2] до 10 млн т в 2010-х годах [3].

В настоящее время в промышленности нитробензол получают нитрованием бензола в смеси азотной кислоты, серной кислоты и воды в

двухфазной системе непрерывным способом по реакции (1) [2,4]:



Промышленные процессы нитрования проводятся в двух тепловых режимах – изотермическом и адиабатическом. В изотермическом режиме процесс проводят при 50-70°C в реакторах перемешивания, избыточное тепло реакции нитрования (148 Кдж/моль [5]) снимается внешним теплоносителем (водой) через систему теплообмена [4]. Адиабатический процесс можно организовать при температуре 65-70°C при использовании большого избытка серной кислоты, играющей роль теплового буфера [4]. Наибольший интерес с точки зрения современной промышленной практики представляет высокотемпературное адиабатическое нитрование. В

современной патентной литературе он носит название «адиабатическое нитрование» (adiabatic nitration). Этот процесс используется для получения моонитросоединений ароматического ряда – бензола и его замещенных. Он проводится при высокой температуре (на выходе - до 140-170°C) в реакторах вытеснения [6-17]. Благодаря высокой температуре время пребывания в реакторе сокращается от 30-60 мин в изотермическом способе до 1-4 мин (а иногда до нескольких секунд [16]) в адиабатическом способе. Благодаря этому, удается резко повысить производительность процесса нитрования и создавать схемы большой единичной мощности [3].

Другими преимуществами технологии адиабатического нитрования являются [3]:

- полное расходование азотной кислоты за счет применения избытка ароматического углеводорода;
- снижение в 10-20 раз содержание побочных продуктов динитрования;
- возможность использования теплоты массы после нитрования в технологическом процессе (для нагрева масс, отгонки и т.п.).

Основной проблемой в процессах моонитрования бензола и его замещенных адиабатическим способом является интенсификация массопереноса между фазами. Гетерогенный процесс нитрования протекает на границе раздела фаз. [17,18]. Эмульсия смеси реагентов быстро расслаивается, и без интенсивного перемешивания реакция быстро останавливается, не доходя до конца. В изотермическом нитровании, которое проводят в емкостных реакторах, для интенсификации массообмена между фазами используют высокоскоростные мешалки [4]. В адиабатическом процессе, который проводится в трубчатом реакторе, организация зонального интенсивного массообмена представляет собой проблему. В последние годы запатентованы процессы, основанные на использовании трубчатого реактора с встроенными перемешивающими элементами [16,17], каскада реакторов с обратным перемешиванием [20], а также на использовании мелкодисперсной эмульсии бензола, которую получают с помощью специальных устройств [21].

Еще одной проблемой, связанной с адиабатическим нитрованием, является недостаток исходных данных для проектирования опытных и промышленных реакторов. Как отмечено в [3], в настоящее время в литературе отсутствуют данные по кинетике высокотемпературного нитрования. По нашему мнению, получение таких данных представляется проблематичным из-за экспериментальных трудностей, связанных с предотвращением или учетом расслаивания эмульсии. Поэтому актуальной задачей является разработка математических моделей, которые могли бы служить ориентиром при проектировании опытных установок, с последующим уточнением их параметров после проведения серии предварительных исследований.

Для этих целей можно использовать концепцию мягких вычислений Л. Заде [22]. Руководящим принципом использования этой концепции является терпимость к неточности, неопределенности и частичной истинности для достижения удобства манипулирования, устойчивости и лучшего согласия с реальностью [22]. Ранее [23] мы использовали этот подход для разработки мягкой вероятностной модели изотермического нитрования с учетом неопределенности и неточности имеющихся экспериментальных данных. Поэтому представляет интерес разработка такого рода моделей трубчатого реактора для проведения высокотемпературного адиабатического нитрования.

Цель работы

Разработка моделей процесса высокотемпературного адиабатического нитрования бензола на основе принципов мягких вычислений, компьютерная реализация и проверка качественного соответствия этих моделей имеющимся экспериментальным данным.

Исходные данные и допущения

Для расчетов и моделирования использовали данные [16]:

Нитросмесь: состав: серная кислота: 65 %, азотная кислота 5,2 %, вода: 29,8 %; температура на входе: 99 °С; расход: 570 кг/ч.

Бензол: температура на входе 24°C; расход: 52 кг/ч, мольное соотношение бензол-ННО₃: 1,4

На первом этапе рассмотрели идеализированный случай протекания процесса адиабатического нитрования, когда расслаивание реакционной массы отсутствует. Для описания процесса адиабатического нитрования использовали модель идеального вытеснения, обычно применяемую для трубчатых реакторов. Считали, что в процессе нитрования изменения плотности гетерогенной реакционной массы не происходит. Для обоснования этого допущения рассчитали по методике [24] плотность реакционной массы при приведенном выше составе реакционной массы в зависимости от температуры и степени превращения.

Как следует из данных табл. 1, в диапазоне рабочих температур нитрования 100-150°C и степени превращения 0-100 % изменение плотности не превышает 3 % отн., и ими в первом приближении можно пренебречь. Аналогично принимали, что в ходе процесса не происходит изменения удельной теплоемкости реакционной массы.

Описание модели

В соответствии с [25], модель адиабатического реактора процесса нитрования в стационарном состоянии описывается системой из двух дифференциальных уравнений (2):

Таблица 1 – Результаты расчета плотности (кг/м³) реакционной массы адиабатического нитрования в зависимости от температуры (t, °C) и степени превращения (P, %).

t \ P	0	20	40	60	80	100
90	1464	1471	1478	1484	1488	1491
100	1460	1468	1476	1482	1487	1491
110	1457	1466	1474	1480	1486	1490
120	1454	1463	1471	1478	1484	1489
130	1450	1459	1469	1476	1483	1488
140	1446	1457	1466	1474	1481	1487
150	1442	1453	1463	1472	1480	1486

$$\begin{cases} \frac{dC}{d\tau} = -r; \\ \frac{dT}{d\tau} = \frac{r \cdot q}{\rho \cdot C_p}; \end{cases} \quad (2)$$

где C – концентрация реагента, кмоль/м^3 ;
 τ – время пребывания массы в реакторе, с ;
 r – скорость реакции, $\text{кмоль/м}^3 \cdot \text{с}$;
 q – теплота реакции нитрования, Кдж/кмоль ;
 ρ – плотность реакционной массы, кг/м^3 ;
 C_p – ее удельная теплоемкость, $\text{Кдж/(кг} \cdot \text{град)}$.

Проблему при моделировании составляет расчет скорости. В литературе приведены эмпирические уравнения для скорости гетерогенной реакции нитрования бензола, полученные при изучении стационарных состояний в лабораторных проточных реакторах в условиях интенсивного перемешивания в кинетическом режиме, в частности уравнение (3) [26]:

$$r = 3,425 \cdot 10^4 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot (X_3 + 0,0252 X_3^2) \times \left(X_1 + 1,56 \cdot X_4 - 0,23 \cdot X_5 \right)^{\frac{8521}{T} - 13,23}; \quad (3)$$

где X_1 – мольная доля азотной кислоты в кислотной фазе,
 X_2 – мольная доля бензола в органической фазе,
 X_3 – концентрация кислотной фазы в реакционной смеси, % об.,
 X_4 – мольная доля серной кислоты в кислотной фазе,
 X_5 – мольная доля воды в кислотной фазе,
 T – температура массы, К.

Это уравнение получено для температуры 34–54 °C, что достаточно далеко от рабочего диапазона температур адиабатического нитрования. Это побудило нас исследовать на модели, какими могут отличаться в определении скорости при более высокой температуре. Для этого провели серию компьютерных экспериментов с моделью реакции, описываемой кинетическим уравнением:

$$r = \frac{dx_1}{dt} = \frac{dx_2}{dt} = -\exp\left(13,088 - \frac{3967}{T}\right) \cdot x_1^{1,2} \cdot x_2^{1,3}, \quad (4)$$

где в начальный момент времени $t = 0$ исходные концентрации реагентов: $x_1^0 = 1 \text{ кмоль/м}^3$, $x_2^0 = 1,4 \text{ кмоль/м}^3$.

Уравнение (4) проинтегрировали в разные моменты времени при температурах 293, 303 и 313 К, получили для каждой температуры 10 точек с диапазоном степеней превращения от 10 до 90 %. К каждому значению прибавили нормально распределенное случайное число с математическим ожиданием 0 и среднеквадратическим отклонением 0,03, которое имитирует ошибки измерений и рассчитали значения скорости по (4). Полученную выборку значений скорости обработали методами регрессионного анализа в зависимости от значений x_1 и T , получили нелинейное регрессионное уравнение:

$$r = \exp\left\{10,207 - \frac{3741,79}{T} + \left(2,46517 + \frac{555,94}{T}\right) \cdot \ln x_1\right\} \quad (5)$$

Коэффициент детерминации уравнения (5) равен 0,98, что свидетельствует о хорошей аппроксимации. Далее мы рассчитали «точные» значения скорости при 110 и 150 °C (383 и 423 К) по уравнению (4) и сопоставили их со значениями, рассчитанными по (5). Оказалось, что максимальные различия отношения $r(4)/r(5)$ этих скоростей не превышает 1,5, то есть, не является чрезмерно большим. Исходя из этого, можно в системе (2), вместо скорости r можно использовать величину r/a , где $a > 1$ – поправочный коэффициент, характеризующий максимальное уменьшение расчетной скорости при переходе к более высокому интервалу температур. Целесообразно рассмотреть несколько вариантов значений параметра a , которые могут характеризовать различные возможные варианты отклонений.

Проверка возможности модели

Мы исследовали возможности рассмотренного подхода на примере данных патента [16], в котором описаны результаты экспериментов по проведению адиабатического нитрования бензола в трубчатом реакторе, заполненном керамическими статическими смесительными элементами Noritake static mixer CSM-12-5 и CSM-30-5. Их использование вызывает усиление массообмена, в результате чего сильно сокращается время пребывания массы в системе. На входе в реактор в стационарном режиме температура массы составляет 94 °C. Это хорошо согласуется с расчетными данными. Используя эти данные, мы численно проинтегрировали систему (2) при различных значениях параметра a . Отметим, что тепловой эффект процесса складывается из суммы теплоты нитрования и теплоты физико-химических процессов (за счет разбавления кислотной смеси водой и извлечения азотной кислоты [27]). Расчеты

показали, что для использованного состава кислотной смеси теплота физико-химических процессов составляет не более 3% от теплоты реакции. Поэтому в расчетах вкладом теплоты физико-химических процессов пренебрегли.

Расчеты производили в среде пакета прикладной математики Scilab. На рис. 1 и 2 представлены зависимости степени превращения и температуры в реакторе в зависимости от времени пребывания при значениях параметра a от 1 до 10.

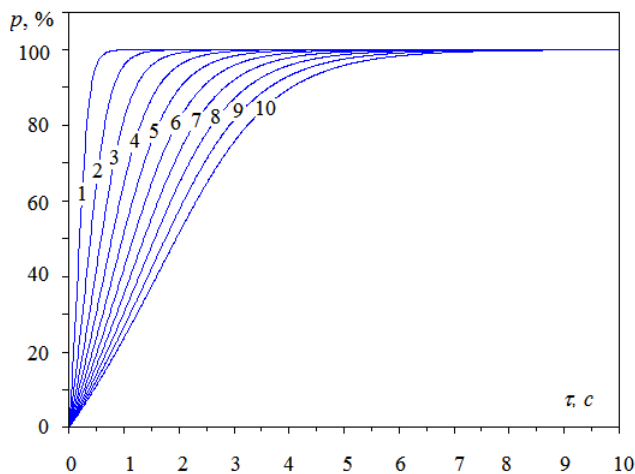


Рис. 1 – Зависимость степени превращения в адиабатическом реакторе нитрования от времени пребывания. Цифры на кривых-значения параметра a

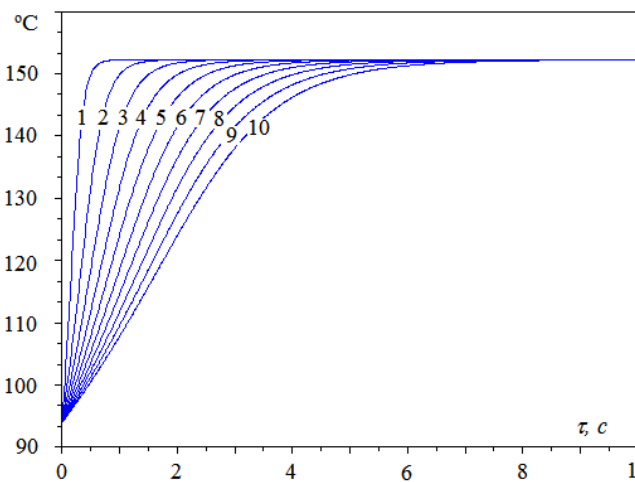


Рис. 2 – Зависимость температуры в адиабатическом реакторе нитрования от времени пребывания. Цифры на кривых-значения параметра a

Как следует из рис. 1 и 2, в идеальном случае, когда масса полностью перемешана и уравнение (4) описывает кинетику при высокой температуре для практически полного протекания реакции достаточно 1 сек. При этом предельная температура достигает 153°C (кривые при $a=1$). В случае возможных отклонений скорости в меньшую сторону можно

ввести шкалу значений a , с которой связать значения лингвистической переменной «степень превращения в реакторе». Можно, например, принять следующую шкалу значений степени превращения: «высокая» - $a \in (1;4)$; «средняя» - $a \in (4;7)$; «низкая» - $a \in (7;10)$.

Опираясь на данные [16], с помощью рис. 1 и 2, мы проверили, может ли рассмотренная модель правдоподобно объяснять экспериментальные данные. Как следует из табл. 2, с помощью рассмотренной модели удастся удовлетворительно объяснить показатели процесса адиабатического нитрования,

Таблица 2 – Экспериментальные [16] и расчетные показатели процесса адиабатического нитрования бензола с использованием смесительных элементов

Смесит. элемент	К-во эл-в	Элемент отбора (τ,с)	Степень превр. %		Т-ра, °С	
			Эксп.	Выч.	Эксп.	Выч.
CMS-12-5, Ø 12 мм	45	24 (2,6)	73	72 ^{*)}	-	-
		45 (4,8)	99,8	99 ^{*)}	148	151
CMS-30-5, Ø 15 мм	40	4 (0,51)	31	30 ^{**)}	-	-
		5 (0,64)	32	32 ^{**)}	-	-
		7 (0,89)	33	34 ^{**)}	-	-
		40 (5,1)	90	99 ^{**)}	140	152

^{*)} $a = 9$

^{**)} $a = 5$

Учитывая, что на практике важен подбор режима, который позволяет гарантированно получать продукт с высоким выходом, рассмотренная модель позволяет оценить (по времени пребывания) минимальную длину трубчатого реактора. Исходя из практического опыта, для гарантирования результата реальную длину следует увеличивать на 50-100 %.

Упрощенная модель адиабатического нитрования

Результаты, приведенные выше, свидетельствуют о высокой скорости высокотемпературного адиабатического нитрования. Однако на практике, из-за недостаточного перемешивания и частичного расслоения массы скорость может существенно замедляться, следствием чего является существенное увеличение времени пребывания для завершения реакции.

Процесс адиабатического нитрования в присутствии смесительных элементов и других устройств, обеспечивающих локальное перемешивание, можно рассмотреть в рамках ячеечной модели. Отдельное перемешивающее устройство и прилегающую к нему область можно рассматривать, как ячейку, в которой сначала происходит перемешивание, а потом – постепенное расслоение. Тогда реальный трубчатый аппарат можно рассматривать, как последовательность соединенных друг с другом ячеек.

Упрощенно процесс взаимодействия можно представить следующей моделью. Эмульсия в ячейке после смешения расслаивается, вследствие чего средняя объемная доля эмульсии в смеси $\alpha < 1$. Будем считать, что это количество эмульсии полностью реагирует в ячейке. Далее происходит смешение и переход в следующую ячейку.

Эта модель легко программируется на компьютере. Вначале задавали вектор M_0 , компоненты которого равны мольным расходам исходных и конечных продуктов, (по порядку $M_0(1)$ – расход азотной кислоты, $M_0(2)$ – серной кислоты, $M_0(3)$ – воды, $M_0(4)$ – бензола, $M_0(5)$ – нитробензола. Также задавали α – среднюю объемную долю эмульсии в смеси, которую считали одинаковой для всех ячеек. Тогда в ячейке прореагирует $\alpha \cdot M_0(4)$ моль бензола и такое же количество молей азотной кислоты. Соответственно, общие количества молей этих компонентов уменьшаются на величину $\alpha \cdot M_0(4)$, а воды и нитробензола – увеличиваются на то же значение. Количество молей серной кислоты не изменяется. Общий объем также остается постоянным.

Изменение энтальпии (Кдж/с) в i -той ячейке обусловлено изменением количества молей продукта реакции:

$$\Delta H_i = \alpha \cdot [M_0(4)]_{i-1} \cdot q \quad (6)$$

Температуры в i -той ячейке:

$$T_i = T_{i-1} + \frac{\Delta H_i}{m \cdot C_p} \quad (7)$$

где m – суммарный расход веществ в ячейке, кг/с

Далее переходим последовательно к остальным ячейкам, рассчитывая количество молей каждого компонента (точнее, мольный расход за время пребывания в ячейке). Процесс заканчивается после расчета в последней ячейке. Если содержание азотной кислоты в какой-либо ячейке становится отрицательным – то содержание компонента принимается равным нулю, и в последующих ячейках эти количества не меняются.

Продемонстрируем эту модель на примере из табл. 2. Для $n=45$ при $\alpha=0,03$ получаем после 24 ячейки степень превращения 73,9 %, а после 45 ячейки – 100 % и температуру 153°C. Для $n = 40$ получаем при $\alpha=0,023$: после 4 ячейки: 13 %, после 5 ячейки – 26 %, после 7 ячейки – 35 %, после 40 ячейки – 90,7 % и 147 °C, то есть, вполне удовлетворительное соответствие.

Выводы

1. Разработана «мягкая» модель, позволяющие грубо оценить границы времени пребывания для достижения высокой степени превращения в реакторе вытеснения в процессе высокотемпературного адиабатического нитрования бензола.

2. В основу модели положены данные о кинетике гетерогенного нитрования в условиях идеального перемешивания и параметр, характеризующий расслаивание, границы которого подбираются эмпирически

3. Предложена упрощенная ячеечная модель высокотемпературного адиабатического нитрования, основанная на предположении смешения и расслаивания в каждой ячейке и полного превращения не расслаившейся эмульсии.

4. Показано удовлетворительное соответствие результатов расчета по модели с литературными данными.

5. Разработанные модели могут быть использованы при проектировании опытных установок высокотемпературного адиабатического нитрования.

Список литературы

1. Горелик, М. В. Химия и технология ароматических соединений / М. В. Горелик, Л. С. Эфрос // М.: Химия. – 1992. – 640 с.
2. Жилин, В. Ф. Синтез и технология нитропроизводных бензола и толуола // В. Ф. Жилин, В. Л. Збарский // *Росс. хим журнал.* – 2006. – Т. 50, № 3. – С. 104-115.
3. Guenkel, A. The adiabatic mononitrobenzene process from the bench scale in 1974 to a total world capacity approaching 10 million MTPY in 2012 / A. Guenkel / *Chemistry, Process Design, and Safety for the Nitration Industry* / ACS Symposium Series. – 2013. – Vol. 1155. - P 1-11.
4. Беркман, Б. Е. Промышленный синтез ароматических нитросоединений и аминов / Б. Е. Беркман // М.: Химия. – 1964. – 344 с.
6. Красильникова, А. А. Моделирование непрерывного адиабатического нитрования бензола / А. А. Красильникова, С. А. Кондратов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2013. – Т. 6. – №. 6 (66). – С. 15-19.
7. Pat. 5714647, USA, IPC6 C07C 201/00 / Process for the adiabatic preparation of mononitrohalogenobenzenes / Inventors: Blank; Heinz Ulrich (Odenthal-Globusch, DE), Judat; Helmut (Langenfeld, DE), Konig; Bernd-Michael (Bergisch Gladbach, DE) / Assignee: Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE) / Appl. No.: 08/785577. – Filed 21.01.1997/ Publication 03.02.1998.
8. Pat. 8357827, USA. IPC6 C07C 201/08. Process for the continuous preparation of nitrobenzene / Inventors: Munnig; Jurgen (Kaarst, DE), Pennemann; Bernd (Bergisch Gladbach, DE), Rausch; Andreas Karl (Neuss, DE) / Assignee: Bayer MaterialScience AG (Leverkusen, DE) / Appl. No.: 13/019350. Filed: 02.02. 2011 / Publication 22.01.2013.
9. Pat. 7781624, USA. IPC6 C07C 201/08. Process for the preparation of nitrobenzene by adiabatic nitration / Inventors: Rausch; Andreas (Neuss, DE), Knauf; Thomas (Dormagen, DE), Bolton; Jeffrey (Moundsville, WV), Racoos; Alexandre (Krefeld, DE) / Assignee: Bayer MaterialScience AG (Leverkusen, DE) / Appl. No.: 12/315,907 Filed: 08.12.2008 / Publication 24.08.2012.
10. Pat. 8907144, USA. IPC6 C07C 205/00. Process for adiabatic production of mononitrotoluene / Inventors: Gattrell; Michael (Vancouver, CA) / Assignee: NORAM

- International Limited (Dublin, IE)* / Appl. No.: 13/427688
Filed: 22.03.2012 / Publication 09.12.2014.
- Pat. 4021498, USA, IPC⁶ C07C 205/06. Adiabatic process for nitration of nitratable aromatic compounds / Inventors: **Alexanderson; Verner (Plainfield, NJ), Trecek; James Bryant (Bridgewater, NJ), Vanderwaart; Cornelius Marsden (Basking Ridge, NJ)** / Assignee: *American Cyanamid Company (Stamford, CT)* / Appl. No.: 05/639019 Filed: 09.12.1975 / Publication 03.05.1977.
 - Pat. 409104, USA, IPC⁶ C07C 205/06. Continuous adiabatic process for the mononitration of benzene / Inventors: **Alexanderson; Verner (Plainfield, NJ), Trecek; James Bryan (Bridgewater, NJ), Vanderwaart; Cornelius Marsden (Basking Ridge, NJ)** / Assignee: *American Cyanamid Company (Stamford, CT)* / Appl. No.: 05/826208 Filed: 19.08.1977 / Publication 23.05.1978.
 - Pat. 4772757, USA, IPC⁶ C07C 205/00. Process for the production of nitrobenzene / Inventors: **Lailach; Gunter (Krefeld, DE), Gerken; Rudolf (Krefeld, DE), Schultz; Karl-Heinz (Krefeld, DE), Hornung; Rudolf (Krefeld, DE), Bockmann; Walter (Krefeld, DE), Larbig; Wolfgang (Krefeld, DE), Dietz; Wolfgang (Krefeld, DE)** / Assignee: *Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 06/921641 Filed: 21.10.1986 / Publication 20.09.1988.
 - Pat. 6586645, USA, IPC⁷ C07C 201/08. Continuous adiabatic process for preparing nitrochlorobenzene / Inventors: **Demuth; Ralf (Hilden, DE), Konig; Bernd-Michael (Bergisch Gladbach, DE), Linn; Thomas (Grevenbroich, DE), Raatz; Hans-Joachim (Leverkusen, DE), Weber; Hans-Martin (Leverkusen, DE), Zirngiebl; Eberhard (Koln, DE), Leiberich; Ricarda (Langen, DE)** / Assignee: *Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 10/078655 Filed: 19.02.2002 / Publication 01.07.2003.
 - Pat. 8692035, USA, IPC⁷ C07C 201/08 Adiabatic process for making mononitrobenzene / Inventors: **Berretta; Sergio (Vancouver, CA)** / Assignee: *Noram International Limited (IE)* / Appl. No.: 13/128,595 Filed: 10.11.2008 / Publication 08.04.2014.
 - Pat. 5763687, USA, IPC⁶ B01J 19/24; C07C 201/00; C07C 205/06; C07C 201/08 Preparation process for aromatic mononitro compounds / Inventors: **Morisaki; Jyoji (Arao, JP), Iijima; Masaaki (Ohmuta, JP), Oogaki; Kouki (Fukuoka-ken, JP), Matsuno; Hiroaki (Tamana, JP), Yamaguchi; Takashi (Ohmuta, JP), Miyata; Katsuharu (Sakai, JP)** / Assignee: *Mitsui Chemicals, Inc. (Chiyoda-ku, JP)* / Appl. No.: 08/763146 Filed: 10.12.1996 / Publication 09.06.1998.
 - Pat. 6506949, USA, IPC⁶ B01J 19/24; B01J 19/00; B01J 14/00; B01F 5/06; C07C 201/00; C07C 205/00; C07C 201/08; C07C 205/06; B01F 13/00; B01F Process for ring nitrating aromatic compounds in a tubular reactor having static mixing elements separated by coalescing zones / Inventors: **Gillis; Paul A. (Lake Jackson, TX), Braun; Helge (Lake Jackson, TX), Schmidt; Joerg (Halle/Saale, DE), Verwijs; Jan Willem (Hoek, NL), Velten; Harald (Bahia, BR), Platkowski; Kristina (Boehlitz-Ehrenberg, DE)** / Assignee: *Dow Global Technologies, Inc. (Midland, MI)* / Appl. No.: 09/797,256 Filed: 01.03.2001 / Publication 14.01.2003.
 - Zaldivar, J. M.**, Aromatic nitrations by mixed acid. Slow liquid-liquid reaction regime / **J. M. Zaldivar, E. Molga, M. A. Alós, H. Hernández, K. R. Westerterp** // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 1995. – V. 34, № 6. – P. 543-559.
 - Zaldivar, J. M.** Aromatic nitrations by mixed acid. Fast liquid-liquid reaction regime / **J. M. Zaldivar, E. Molga, M. A. Alós, H. Hernández, K. R. Westerterp** // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 1996. – V. 35. – № 2. – P. 91-105.
 - Pat. 5763697, USA, IPC⁶ B01J 14/00; B01J 19/2415; B01J 19/244; C07C 201/08; C07C 201/08; C07C 205/06 Process for the nitration of aromatic compounds / Inventors: **Hermann; Heinrich (Koln, DE), Gebauer; Jurgen (Troisdorf, DE)** / Assignee: *Josef Meissner GmbH & Co. (Koln, DE)* / Appl. No. 08/648,890: Filed: 16.05.1996 / Publication 09.06.1998.
 - Pat. 4973770, USA, IPC⁶ B01J 19/26; B01J 14/00; C07C 205/00; C07C 205/06 Manufacture of organic nitro compounds / Inventors: **Evans; Colin M. (Willowdale, CA)** / Assignee: *C-I-L, Inc. (Ontario, CA)* / Appl. No.: 07/284700 Filed: 15.12.1988 / Publication 27.11.1990.
 - Zadeh, L. A.**, Fuzzy logic, neural networks, and soft computing / **L. A. Zadeh** // *Communications of the ACM*. – 1994. – V. 37, № 3. – P. 77-84.
 - Кондратов, С. А.** Учет неопределенности значений входных переменных при моделировании процесса нитрования бензола в реакторе непрерывного действия / **С. А. Кондратов, М. Д. Аль Хамадани** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – Т. 1. – № 4 (21). – С. 20 – 25.
 - Кондратов, С. А.** Моделирование непрерывного нитрования бензола в реакторе с переменным временем пребывания / **С. А. Кондратов, М. Д. Аль Хамадани, Р. П. Савяк** // *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. – 2011. – Вып. 10 (164). – Ч. 2. – С. 132–141.
 - Июффе, И. И.** Инженерная химия гетерогенного катализа / **И. И. Юффе, Л. М. Письмен** // Л.: Химия. – 1974. – С. 284.
 - Biggs, R. D.** Rate of nitration of benzene with mixed acid / **R. D. Biggs, R. R. White** // *AIChE Journal*. – 1956. – v. 2. – № 1. – P. 26-33.
 - Плановский, А. Н.** Специальная аппаратура промышленности органических полупродуктов и красителей / **А. Н. Плановский** // М.-Л.: ГНТИХЛ. – 1940. – 616 с.

Bibliography (transliterated)

- Gorelik, M. V.** Chemistry and technology of aromatic compounds, M.: Chemistry, 1992, 640 p.
- Zhilin, V. F., Zbarsky, V. L.** Synthesis and technology of nitroderivatives of benzene and toluene. *Ross. Chemical journal*, 2006, **50**, No. 3, 104-115.
- Guenkel, A.** The adiabatic mononitrobenzene process from the bench scale in 1974 to a total world capacity approaching 10 million MTPY in 2012. *Chemistry, Process Design, and Safety for the Nitration Industry. ACS Symposium Series*, 2013, **1155**, 1-11.
- Berkman, B. E.** Industrial synthesis of aromatic nitro compounds and amines. M.: Chemistry, 1964, 344 p.
- Krasylnikova, A. A., Kondratov, S. A.** Simulation of continuous adiabatic nitration of benzene. *East-European Journal of Advanced Technologies*, 2013, **6**, 6 (66), 15-19.
- Pat. 5714647, USA, IPC⁶ C07C 201/00 / Process for the adiabatic preparation of mononitrohalogenobenzenes / Inventors: **Blank; Heinz Ulrich (Odenthal-Globusch, DE), Judat; Helmut (Langenfeld, DE), Konig; Bernd-Michael (Bergisch Gladbach, DE)** / Assignee: *Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 08/785577. – Filed 21.01.1997.

8. Pat. 8357827, USA. IPC⁶ C07C 201/08. Process for the continuous preparation of nitrobenzene / Inventors: **Munnig; Jurgen (Kaarst, DE), Pennemann; Bernd (Bergisch Gladbach, DE), Rausch; Andreas Karl (Neuss, DE)** / Assignee: *Bayer MaterialScience AG (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 13/019350. Filed: 02.02. 2011.
9. Pat. 7781624, USA. IPC⁶ C07C 201/08. Process for the preparation of nitrobenzene by adiabatic nitration / Inventors: **Rausch; Andreas (Neuss, DE), Knauf; Thomas (Dormagen, DE), Bolton; Jeffrey (Moundsville, WV), Racoos; Alexandre (Krefeld, DE)** / Assignee: *Bayer MaterialScience AG (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 12/315.907 Filed: 08.12.2008.
10. Pat. 8907144, USA. IPC⁶ C07C 205/00. Process for adiabatic production of mononitrotoluene / Inventors: **Gattrell; Michael (Vancouver, CA)** / Assignee: *NORAM International Limited (Dublin, IE)* / Appl. No.: 13/427688 Filed: 22.03.2012.
11. Pat. 4021498, USA, IPC⁶ C07C 205/06. Adiabatic process for nitration of nitratable aromatic compounds / Inventors: **Alexanderson; Verner (Plainfield, NJ), Trecek; James Bryant (Bridgewater, NJ), Vanderwaart; Cornelius Marsden (Basking Ridge, NJ)** / Assignee: *American Cyanamid Company (Stamford, CT)* / Appl. No.: 05/639019 Filed: 09.12.1975.
12. Pat. 409104, USA, IPC⁶ C07C 205/06. Continuous adiabatic process for the mononitration of benzene / Inventors: **Alexanderson; Verner (Plainfield, NJ), Trecek; James Bryan (Bridgewater, NJ), Vanderwaart; Cornelius Marsden (Basking Ridge, NJ)** / Assignee: *American Cyanamid Company (Stamford, CT)* / Appl. No.: 05/826208 Filed: 19.08.1977.
13. Pat. 4772757, USA, IPC⁶ C07C 205/00. Process for the production of nitrobenzene / Inventors: **Lailach; Gunter (Krefeld, DE), Gerken; Rudolf (Krefeld, DE), Schultz; Karl-Heinz (Krefeld, DE), Hornung; Rudolf (Krefeld, DE), Bockmann; Walter (Krefeld, DE), Larbig; Wolfgang (Krefeld, DE), Dietz; Wolfgang (Krefeld, DE)** / Assignee: *Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 06/921641 Filed: 21.10.1986.
14. Pat. 6586645, USA, IPC⁷ C07C 201/08. Continuous adiabatic process for preparing nitrochlorobenzene / Inventors: **Demuth; Ralf (Hilden, DE), Konig; Bernd-Michael (Bergisch Gladbach, DE), Linn; Thomas (Grevenbroich, DE), Raatz; Hans-Joachim (Leverkusen, DE), Weber; Hans-Martin (Leverkusen, DE), Zirngiebl; Eberhard (Koln, DE), Leiberich; Ricarda (Langen, DE)** / Assignee: *Bayer Aktiengesellschaft (Leverkusen, DE)* / Appl. No.: 10/078655 Filed: 19.02.2002.
15. Pat. 8692035, USA, IPC⁷ C07C 201/08 Adiabatic process for making mononitrobenzene / Inventors: **Berretta; Sergio (Vancouver, CA)** / Assignee: *Noram International Limited (IE)* / Appl. No.: 13/128,595 Filed: 10.11.2008.
16. Pat. 5763687, USA, IPC⁶ B01J 19/24; C07C 201/00; C07C 205/06; C07C 201/08 Preparation process for aromatic mononitro compounds / Inventors: **Morisaki; Jyoji (Arao, JP), Iijima; Masaaki (Ohmuta, JP), Oogaki; Kouki (Fukuoka-ken, JP), Matsuno; Hiroaki (Tamana, JP), Yamaguchi; Takashi (Ohmuta, JP), Miyata; Katsuharu (Sakai, JP)** / Assignee: *Mitsui Chemicals, Inc. (Chiyoda-ku, JP)* / Appl. No: 08/763146 Filed: 10.12.1996.
17. Pat. 6506949, USA, IPC⁶ B01J 19/24; B01J 19/00; B01J 14/00; B01F 5/06; C07C 201/00; C07C 205/00; C07C 201/08; C07C 205/06; B01F 13/00; B01F Process for ring nitrating aromatic compounds in a tubular reactor having static mixing elements separated by coalescing zones / Inventors: **Gillis; Paul A. (Lake Jackson, TX), Braun; Helge (Lake Jackson, TX), Schmidt; Joerg (Halle/Saale, DE), Verwijs; Jan Willem (Hoek, NL), Velten; Harald (Bahia, BR), Platkowski; Kristina (Boehlizt-Ehrenberg, DE)** / Assignee: *Dow Global Technologies, Inc. (Midland, MI)* / Appl. No.: 09/797,256 Filed: 01.03.2001.
18. **Zaldivar, J. M., Molga, E., Alós, M. A., Hernández, H., Westerterp, K. R.** Aromatic nitrations by mixed acid. Slow liquid-liquid reaction regime. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 1995, **34**, 6, 543-559.
19. **Zaldivar, J. M., Molga, E., Alós, M. A., Hernández, H., Westerterp, K. R.** Aromatic nitrations by mixed acid. Fast liquid-liquid reaction regime. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 1996, **35**, 2, 91-105.
20. Pat. 5763697, USA, IPC⁶ B01J 14/00; B01J 19/2415; B01J 19/244; C07C 201/08; C07C 201/08; C07C 205/06 Process for the nitration of aromatic compounds / Inventors: **Hermann; Heinrich (Koln, DE), Gebauer; Jurgen (Troisdorf, DE)** / Assignee: *Josef Meissner GmbH & Co. (Koln, DE)* / Appl. No. 08/648,890: Filed: 16.05.1996.
21. Pat. 4973770, USA, IPC⁶ B01J 19/26; B01J 14/00; C07C 205/00; C07C 205/06 Manufacture of organic nitro compounds / Inventors: **Evans; Colin M. (Willowdale, CA)** / Assignee: *C-I-L, Inc. (Ontario, CA)* / Appl. No.: 07/284700 Filed: 15.12.1988.
22. **Zadeh, L. A.**, Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Communications of the ACM*, 1994, V. **37**, № 3, P. 77-84.
23. **Kondratov, S. A., Al Khamadani, M. D.** Accounting for the uncertainty of the values of input variables in modeling the process of nitrating benzene in a continuous reactor. *Technological Audit and Production Reserves*, 2015, **1**, No. 4 (21), 20 - 25.
24. **Kondratov, S. A., Al Khamadani, M. D., Savyak, R. P.** Modeling of continuous nitration of benzene in a reactor with variable residence time. *Herald of the East Ukrainian National University of the name of V. Dal*, 2011, **10** (164), 2, 132-141.
25. **Ioffe, I. I., Pis'men, L. M.** Engineering Chemistry of Heterogeneous Catalysis. Chemistry, 1972, 284.
26. **Biggs, R. D., White, R. R.** Rate of nitration of benzene with mixed acid. *AIChE Journal*, 1956, **2**, №1, 26-33.
27. **Planovsky, A. N.** Special equipment for the industry of organic intermediates and dyes. M.-L.: GNTIHL, 1940, 616 p.

Сведения об авторах (About authors)

Кондратов Сергей Алексеевич – доктор химических наук, профессор, Институт химических технологий Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля, профессор кафедры высшей математики и компьютерной технологии; г. Рубежное, Украина; e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Serhii Kondratov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, Professor of the department of mathematics and computer technologies; Rubizhne, Ukraine; e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Красильникова Анна Александровна – аспірант, Інститут хімічних технологій Восточноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, аспірант кафедри вищої математики і комп'ютерної технології; г. Рубежное, Україна; e-mail: krasina83@gmail.com.

Anna Krasyl'nikova – Postgraduate, Institute of Chemical Technology Volodymyr Dahl's East Ukrainian National University, postgraduate of the department of mathematics and computer technologies; Rubizhne, Ukraine; e-mail: krasina83@gmail.com.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Кондратов, С. А. Компьютерное моделирование реактора для высокотемпературного адиабатического нитрования бензола / **С. А. Кондратов, А. А. Красильникова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 150-157. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.24.

Please cite this article as:

Kondratov, S., Krasyl'nikova, A. Computer simulation of a reactor for high-temperature adiabatic nitration of benzene. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 150–157, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.24.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кондратов, С. О. Комп'ютерне моделювання реактору для високотемпературного адиабатичного нітрування бензену / **С.О.Кондратов, А. О. Красильнікова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 150-157. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.24.

АННОТАЦИЯ Розглянуто дві моделі реактору високотемпературного адиабатичного нітрування бензену: «м'яка» модель, заснована на кінетиці гетерогенного нітрування в умовах ідеального перемішування, і спрощена комірчаста модель. Обидві моделі дозволяють грубо оцінити межі часу перебування для досягнення високого ступеня перетворення в реакторі витіснення в процесі високотемпературного адиабатичного нітрування бензену. Моделі можуть бути використані при проектуванні дослідних установок високотемпературного адиабатичного нітрування

Ключові слова: бензен; високотемпературне адиабатичне нітрування; реактор ідеального витіснення; математичні моделі; комірчаста модель.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 66.094.942

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25

АЛКОГОЛІЗ ТРИГЛІЦЕРИДІВ ЕТАНОЛОМ У ПРИСУТНОСТІ СОЛЕЙ ДОВОАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ

З. Ю. ПАЛЮХ, С. Р. МЕЛЬНИК, Ю. Р. МЕЛЬНИК*

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
*e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено реакцію алкоголізу тригліцеридів етанолом та естеро-альдегідною фракцією у присутності солей двовалентних металів – ацетатів нікелю, купруму (II), оксалатів нікелю, сульфатів нікелю, мангану (II), купруму (II), цинку, кадмію, хлоридів стануму (II), кобальту (II) та стеарату кадмію. Встановлено, що в їх присутності конверсія тригліцеридів перевищує 98%. Найактивнішим каталізатором з усіх досліджених органічних солей двовалентних металів є ацетат купруму (II), а з досліджених неорганічних солей – сульфат купруму (II). У реакції алкоголізу естеро-альдегідною фракцією конверсія тригліцеридів досягає 95% у присутності неорганічної солі – хлориду стануму (II). Виявлено, що солі двовалентних металів доцільно використовувати як каталізатори реакції алкоголізу, оскільки це дозволяє досягнути високих значень конверсії триолеату гліцерину за короткий час.

Ключові слова: триолеат гліцерину; алкоголіз; етанол; солі двовалентних металів; естеро-альдегідна фракція.

TRANSESTERIFICATION OF TRIGLYCERIDES BY ETHANOL IN THE PRESENCE OF DIVALENT METAL SALTS

Z. PALYUKH, S. MELNYK, YU. MELNYK

Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The reaction of transesterification of triglycerides by ethanol and ester-aldehyde fraction in the presence of salts of divalent metals namely nickel acetate, copper (II) acetate, nickel oxalate, nickel sulfate, manganese (II) sulfate, copper (II) sulfate, zinc sulfate, cadmium sulfate, tin (II) chloride, cobalt (II) chloride and cadmium stearate was investigated. It has been established that the triglyceride conversion in their presence exceeds 98%. The most active catalyst of all studied organic salts of divalent metals is copper (II) acetate and of inorganic salts is copper (II) sulfate. The conversion of triglycerides reaches 95% in the reaction their transesterification by ester-aldehyde fraction in the presence of inorganic salts such as tin (II) chloride. Such differences in the results obtained from the use of ethanol and ester-aldehyde fraction can be caused by several factors including the presence of significant amounts of water and other impurities in the composition of ester-aldehyde fraction. Different molar ratios and the use of salts containing other metal cations have significant affect on the conversion triglycerides. For the studied catalysts it was calculated the initial rate of conversion of triglycerides which makes it possible to compare the activity of salts of divalent metals as catalysts of transesterification reaction. This indicates that during transesterification reaction hydrolysis of triglycerides does not occur and free fatty acids are not formed. It has been revealed that salts of divalent metals can be used as transesterification catalysts since it enables to reach high values of conversion of triglycerides. It was shown that time of achieving equilibrium conversion of triglycerides more depend on the nature of the metal cations and much less on the nature of the anion salt. It was found that the salts of divalent metals partially are soluble in the reaction mixture what creates the problem of separating the catalyst from the reaction products.

Keywords: triglycerides; transesterification; ethanol; salts of divalent metals; ester-aldehyde fraction.

Вступ

Алкохоліз (трансестерифікація) – це хімічний процес, який використовують, насамперед, для перетворення рослинних олій і тваринних жирів на біодизель [1,2]. У цьому випадку, використовують нижчі аліфатичні спирти для одержання метилових або етилових естерів і гліцерину. Ефективність процесу алкоголізу зменшується при збільшенні довжини вуглецевого ланцюга у молекулі спирту [3]. Проте, незважаючи на вищесказане, алкоголіз тригліцеридів також здійснюють спиртами C₃-C₅ [4].

Існує кілька типів каталізаторів, які застосовують у реакції алкоголізу. Гомогенні каталізатори можна розділити на дві групи: луги і кислоти. Найпоширеніші лужні каталізатори – це гідроксиди та метоксиди калію і натрію [5].

Суттєвими недоліками гомогенних (як лужних так і кислотних) каталізаторів за умови використання етанолу як нетоксичного та відновлюваного агента алкоголізу є проблема відділення каталізатора з реакційної суміші та необхідність високовартісного очищення стічних вод від залишків розчинених у реакційному середовищі каталізаторів і деяких продуктів їх перетворення. Наявні у сировині вільні жирні кислоти у присутності лужного каталізатора

можуть надалі перетворюватись на мило, яке зв'язує реагенти у гелі, що не розділяються на естерний та гліцериновий шар після завершення реакції алкоголізу [6].

Промислові лужні каталізатори алкоголізу тригліцеридів є менш ефективними при застосуванні етилового спирту, адже вони сприяють збільшенню втрат етилових естерів з гліцериновою фракцією і для повнішого перебігу процесу алкоголізу вимагають вищого надлишку спирту [7].

Відомо, що у реакціях трансестерифікації [8] та естерифікації високу активність виявляють солі металів, які обмежено чи практично нерозчинні у реакційному середовищі [9]. Це дозволяє відділити каталізатор від продуктів реакції для його багаторазового застосування у технологічному процесі.

Відповідно дослідження алкоголізу тригліцеридів етанолом у присутності каталізаторів – солей двовалентних металів, становить як науковий, так і практичний інтерес.

Мета та завдання досліджень

Метою досліджень було визначення закономірностей реакції алкоголізу тригліцеридів етанолом та естеро-альдегідною фракцією у присутності солей (ацетатів, сульфатів, хлоридів, оксалатів, стеаратів), що містять іони двовалентних металів, таких як Zn^{2+} , Ni^{2+} , Sn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} .

Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували такі реактиви: соняшникову олію (ДСТУ 4492:2005), спирт етиловий (ЕС) ректифікований (ДСТУ 4221:2003), естеро-альдегідну фракцію (ЕАФ) (ТУ У 18.401-97). Як каталізатор, застосовували солі двовалентних металів: ацетати нікелю (ТУ 6-09-02-516-91), купруму (II) (ГОСТ 5852-79), оксалат нікелю (ГОСТ 22180-76), сульфати нікелю (ГОСТ 4465-74), мангану (II) (ГОСТ 435-77), купруму (II) (ГОСТ 19347-99), цинку (ГОСТ 4174-77), кадмію (ГОСТ 4456-75), хлорид стануму (II) (ГОСТ 36-78), кобальту (II) (ГОСТ 4525-77), стеарат кадмію (ГОСТ 4456-75).

Для реактивів, що використовували в дослідженнях було визначено початкові кислотні числа: етанол – 0,8 мг КОН/г, ЕАФ – 0,5 мг КОН/г, соняшникова олія – 3,7 мг КОН/г.

У дослідженнях використовували естеро-альдегідну фракцію виробництва спирту-ректифікату, яка містила 8,2 мас. % води, і безводний етиловий спирт, осушений прожареним сульфатом магнію.

Реакцію алкоголізу триолеату гліцерину етанолом та естеро-альдегідною фракцією здійснювали при температурі 353К, мольному співвідношенні реагентів ЕС : ТГ – 6 : 1, ЕС (у ЕАФ) :

ТГ – 4 : 1 і концентрації каталізатора 0,017 моль/дм³ у реакційній установці, яка складалася з термостійкої круглодонної колби, зворотного холодильника, механічної мішалки з гідрозатвором. За початок реакції приймали момент досягнення реакційною сумішшю температури 343К. Через визначені проміжки часу відбирали проби реакційної суміші для хроматографічного визначення концентрації етанолу в реакційній суміші. За визначеною концентрацією спирту в реакційній суміші розраховували конверсію тригліцеридів.

Кислотне число реакційної суміші визначали згідно методики [10].

Вміст ЕС у продуктах алкоголізу тригліцеридів визначали за допомогою газорідного хроматографа "Цвет-100" з детектором по теплопровідності. Для аналізу реакційної суміші використано колонку завдовжки 2 м, діаметром 3 мм, заповнену нерухомою фазою 5% Silicone SE30 на Chromaton N-AW. Газ-носії – гелій, витрата якого становила – 3 дм³/год; сила струму на детекторі – 120 мА; об'єм аналізованої проби – 2 мкл. Температура випарника становила 483К, температура детектора – 443К. Температура колонки становила 353К.

Результати досліджень та їх обговорення

Встановлено, що в реакції алкоголізу ТГ етанолом у присутності органічних та неорганічних солей двовалентних металів досягається конверсія тригліцеридів понад 98% (рис. 1, 2).

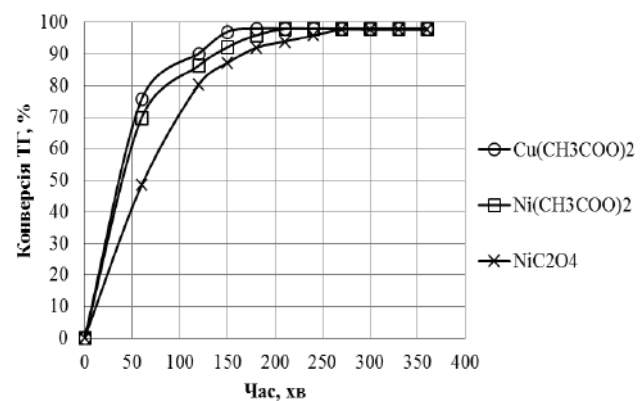


Рис. 1 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу етанолом у присутності ацетатів та оксалату металів. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм³

Як видно з рис. 1. при застосуванні як каталізатора ацетату нікелю за перші 60 хв реакції алкоголізу конверсія ТГ становить 69,9%, збільшення часу експерименту призводить до подальшого менш інтенсивного зростання ступеня перетворення та досягнення рівноважної конверсії ТГ за 240 хв –

98,0%. Застосування ацетату купруму (II) дає можливість досягти вищих на декілька відсотків протягом усього часу реакції значень конверсії ТГ, ніж при використанні ацетату нікелю. Рівноважна конверсія ТГ у присутності ацетату купруму (II) досягається за 150 хв реакції алкоголізу і становить 98,1%.

У присутності оксалату нікелю спостерігається нижча швидкість реакції, проте рівноважна конверсія 97,8%, яка досягається за 270 хв, близька до тієї, що спостерігається у присутності ацетатів.

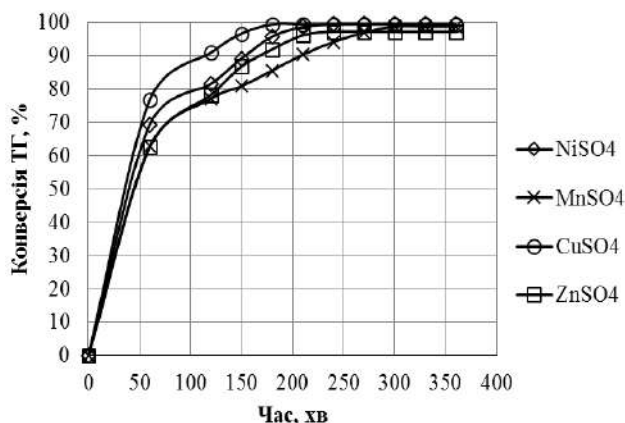


Рис. 2 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу етанолом у присутності сульфатів двовалентних металів. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм³

При застосуванні сульфатів двовалентних металів характер кривих зміни конверсії в часі є близьким. У присутності всіх досліджених сульфатів досягається рівноважна конверсія не менше, ніж 97–98%. Проте у досить широкому інтервалі змінюється час її досягнення: від 180 хв у присутності сульфату купруму (II) до майже 300 хв у присутності сульфату мангану (II) (рис. 2).

Для досліджених каталізаторів розраховували початкову швидкість перетворення тригліцеридів, що дає можливість порівняти активність солей двовалентних металів як каталізаторів реакції алкоголізу. Також визначали кислотні числа реакційних сумішей, значення яких є невисокими, що свідчить про те, що в умовах реакції алкоголізу гідроліз ТГ не відбувається і ВЖК не утворюються (табл. 1).

З табл. 1 очевидно, що найвища початкова швидкість перетворення тригліцеридів – $2,7 \cdot 10^{-5}$ та $2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/(дм³·с), спостерігається при використанні, як каталізатора, солей купруму (II). Найнижча початкова швидкість – $1,7 \cdot 10^{-5}$ моль/(дм³·с), спостерігається при використанні оксалату нікелю.

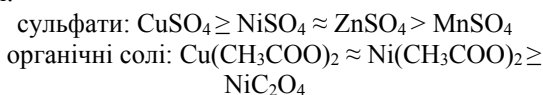
Раніше одержані нами результати дослідження алкоголізу ТГ бутан-1-олом у присутності солей двовалентних металів показали [11], що реакція відбувається з помітним періодом індукції, який триває 60–120 хв, а збільшення швидкості перетворення тригліцеридів спостерігається після досягнення конверсії ТГ більше 5 %. Таку відмінність можна пояснити різною розчинністю солей в реакційній суміші, що містить спирти з різною довжиною вуглецевого ланцюга.

Таблиця 1 – Вплив солі двовалентного металу на алкоголіз ТГ. Температура реакції – 353К, етанол : ТГ – 6 : 1 (мол.), конц. каталізатора – 0,017 моль/дм³

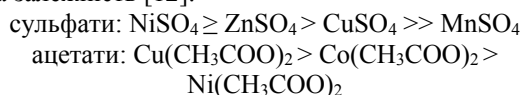
Каталізатор	Конверсія ТГ, %		Поч. швидкість перетворення тригліцеридів $\Gamma \cdot 10^5$, моль/(дм ³ ·с)	КЧ реакційної суміші, мг КОН/г
	180 хв	360 хв		
NiC ₂ O ₄	92,0	97,8	1,8	0,80
Ni(CH ₃ COO) ₂	96,0	98,0	2,5	0,75
Cu(CH ₃ COO) ₂	98,1	98,1	2,7	0,80
NiSO ₄	95,8	99,6	2,5	0,70
MnSO ₄	85,6	98,9	2,3	0,80
CuSO ₄	99,5	99,5	2,8	0,80
ZnSO ₄	92,0	97,3	2,2	0,80

Встановлено, що природа аніону мало впливає на конверсію ТГ у реакції їх алкоголізу етанолом. Застосування солей, що містять як органічні, так і неорганічні аніони дозволяє досягнути високої конверсії тригліцеридів.

За конверсією ТГ на 180 хв реакції з ЕС досліджені солі двовалентних металів утворюють ряди:



При алкоголізі ТГ бутан-1-олом спостерігалася інша залежність [12]:



Такі відмінності у результатах, отриманих при використанні різних спиртів, можуть бути пов'язані з тим, що при алкоголізі ТГ бутан-1-олом у присутності практично всіх солей спостерігався досить тривалий період індукції.

Естери-альдегідна фракція містить не менше 92 об. % етанолу, що робить її потенційною сировиною для реакції алкоголізу. Як каталізатори алкоголізу ТГ естери-альдегідною фракцією застосовували хлориди стануму (II), кобальту (II), стеарат кадмію і сульфат кадмію. Встановлено, що при використанні як

каталізатора хлориду стануму (II) досягається конверсія ТГ 94,1%. Практично однаковий характер зміни конверсії ТГ у часі та досягнута рівноважна конверсія спостерігаються для хлориду кобальту (II) та сульфату кадмію – 84,7 % та 81,8 %, відповідно. У присутності стеарату кадмію з подальшим збільшенням часу експерименту конверсія ТГ зростає незначно і за 180 хв досягає лише 32,6 % (рис. 3).

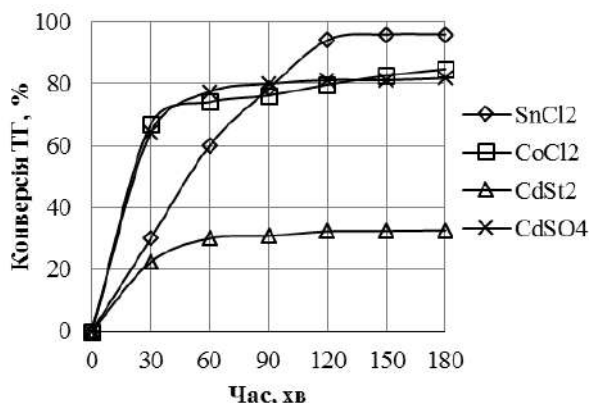


Рис. 3 – Залежність конверсії ТГ від часу в реакції алкоголізу ЕАФ у присутності солей металів. Температура реакції – 353К, ЕАФ : ТГ – 4 : 1 (мол.), вміст солей – 0,017 моль/дм³

Такі відмінності у результатах, отриманих із використанням ЕС і ЕАФ, можуть бути викликані декількома чинниками, зокрема наявністю значної кількості води та інших домішок у складі ЕАФ, різним мольним співвідношенням ЕС : ТГ і застосуванням солей, які містять інші катіони металів. Щоправда, за результатами отриманими при алкоголізі ТГ у присутності ЕС, можна стверджувати, що природа катіону двовалентного металу мало впливає на досягнуту в реакції конверсію ТГ.

Таблиця 2 – Вплив солі двовалентного металу на алкоголіз ТГ. Температура реакції – 353К, ЕАФ : ТГ – 4 : 1 (мол.), вміст каталізатора – 0,017 моль/дм³

Каталізатор	Конверсія ТГ, %		Поч. швидкість перетворення тригліцеридів г · 10 ⁵ , моль/(дм ³ · с)	КЧ реакційної суміші, мг КОН/г
	90 хв	180 хв		
SnCl ₂	78,3	95,9	2,6	1,5
CoCl ₂	76,2	84,7	4,4	2,1
CdSt ₂	30,8	32,6	2,0	3,4
CdSO ₄	80,0	81,8	5,6	1,1

Встановлено, що при застосуванні як реагенту ЕАФ початкова швидкість перетворення тригліцеридів є найвищою в присутності сульфату кадмію та хлориду кобальту (II) – $5,6 \cdot 10^{-5}$ та $4,4 \cdot 10^{-5}$ моль/(дм³ · с), відповідно. Проте, після 30 хв реакції швидкість перетворення тригліцеридів різко зменшується, на відміну від каталізу хлоридом стануму (II), у присутності якого початкова швидкість перетворення є дещо нижчою – $2,6 \cdot 10^{-5}$ моль/(дм³ · с), але зберігає своє високе значення достатньо тривалий час (до 120 хв реакції). У присутності стеарату кадмію початкова швидкість перетворення тригліцеридів є найнижчою – $2,0 \cdot 10^{-5}$ моль/(дм³ · с).

Отримані значення кислотних чисел реакційних сумішей показують, що при каталізі алкоголізу тригліцеридів ЕС і ЕАФ солями двовалентних металів гідроліз ТГ до вільних кислот не відбувається, а у присутності етанолу також має місце часткова естерифікація вільних жирних кислот, присутніх в олії.

Отже, використання як каталізаторів алкоголізу тригліцеридів етиловим спиртом солей двовалентних металів є достатньо ефективним, оскільки конверсія ТГ перевищує 98%. Проте для досліджених солей характерним є те, що вони частково або повністю розчинні в реакційній суміші, тому проблема вилучення каталізатора з продуктів реакції зберігається. Щодо можливості застосування для алкоголізу тригліцеридів ЕАФ, то це питання потребує подальших досліджень, і результати, отримані при каталізі реакції хлоридом стануму (II), підтверджують доцільність таких досліджень.

Висновки

Встановлено, що застосування органічних і неорганічних солей двовалентних металів в реакції алкоголізу тригліцеридів етиловим спиртом дозволяє досягти високої конверсії ТГ. Показано, що час досягнення рівноважної конверсії ТГ більшою мірою залежить від природи катіону металу і, значно меншою, від природи аніону солі. Виявлено, що в умовах реакції досліджені солі частково розчинні у реакційній суміші, що не дозволяє усунути проблему вилучення каталізатора із продуктів реакції.

Список літератури

1. **Gerpen, J. V.** Biodiesel processing and production / **J. V. Gerpen** // *Fuel Processing Technology*. – 2005. – № 86. – P. 1107–1097. – doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.005.
2. **Zhou, W.** Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils / **W. Zhou, Samir K. Konar, David G. B. Boocock** // *J. Amer. Oil. Chem. Soc.* – 2003. – №80. – P. 367–371. – doi:10.1007/s11746-003-0705-1.

3. **Canakci, M.** Biodiesel production via acid catalysis / **M. Canakci, J. Gerpen.** // *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* – 1999. – №42. – P. 1203–1210. – doi: 10.13031/2013.13285.
4. Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition) [Електронний ресурс] / [Т. L. Alleman, R. L. McCormick, E. D. Christensen та ін.]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1347103>.
5. An Innovative Biodiesel Production / [R. Maceiras, A. Cancela, M. Rodriguez та ін.]. // *Chemical Engineering transaction.* – 2010. – №19. – С. 97–102. – doi:10.3303/CET1019017.
6. **Soetaert, W.** Biofuels / **W. Soetaert, E. Vandamme.** – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 242 с. – doi: 10.1002/9780470754108.ch1.
7. **Ющенко, С. Л.** Обґрунтування промислової реалізації етанолізу рослинних олій при отриманні біодизелю / **С. Л. Ющенко, Г. С. Столяренко, С. П. Орлов, Н. М. Фоміна, М. В. Овчаренко, М. І. Грушицький, В. Г. Семенов** // *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* – 2011. – № 8 – с. 134.
8. **Свирский, К. С.** Этерификация, переэтерификация и полимеризация карбоновых кислот и их эфиров в присутствии хлорида палладия (II) / **К. С. Свирский** // *автореф. дисс. канд. хим. наук : спец. 02.00.03 «Органическая химия»* – Уфа: 2011. – С. 23.
9. **Melnyk, S.** Perfluorooxasulphonates of metals – the catalysts of ester's manufacture / **S. Melnyk** // *Chemistry & Chemical Technology.* – 2013.– Vol. 7. – №9 – P. 257–260.
10. Estimation of free fatty acids [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: http://www.biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php.
11. **Мельник, Ю. Р.** Каталіз трансестерифікації триолеату гліцерину бутан-1-олом солями дво валентних металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палюх, М. В. Кузык, С. Р. Мельник, О. В. Пожарська** // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.* – 2016. – №5 (229). – С. 32–37.
2. **Zhou, W., Konar, Samir K. & Boocock David, G. B.** Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils, *J. Amer. Oil. Chem. Soc.*, 2003, **80**, 367–371, doi:10.1007/s11746-003-0705-1.
3. **Canakci, M. & Gerpen, J.** Biodiesel production via acid catalysis, *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 1999, **4**, 1203–1210, doi:10.13031/2013.13285.
4. **Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fiorini, G., Moriarty, K. & Yanowitz, J.** Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition). Retrieved April 20, 2017, from: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1347103>.
5. **Maceiras, R., Cancela, A., Rodriguez, M., Sancgaz, A. & Urrejola, S.** An Innovative Biodiesel Production. *Chemical Engineering transaction*, 2010, **19**, 97–102, doi:10.3303/CET1019017.
6. **Soetaert, W. and Vandamme, E. J.** Biofuels in Perspective, in *Biofuels* (eds W. Soetaert and E. J. Vandamme), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2009, doi:10.1002/9780470754108.ch1
7. **Yushchenko, S.L. Stolyarenko, H. S., Orlov, S. P., Fomina, N. M., Ovcharenko, M. V., Hrushyts'kyi, M. I. & Semenov, V. H.** Obhruntuvannya promyslovoi realizatsiyi etanolizu roslynnykh oliy pry otrymanni biodyzelyu. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2011, **8**, 134.
8. **Svirskij, K. S.** Jeterifikacija, perejeterifikacija i polimerizacija karbonovykh kislot i ih jefirov v prisutstvii hlorida palladija (II). *Avtoref. diss. kand. him. nauk : spec. 02.00.03 «Organicheskaja himija»*, 2011, 23.
9. **Melnyk, S.** Perfluorooxasulphonates of metals – the catalysts of ester's manufacture. *Chemistry & Chemical Technology*, 2013, **7(9)**, 257–260.
10. Methodology for Lipids. Retrieved April 20, 2017, from http://www.biocyclopedia.com/index/plant_protocols/lipids/Estimation_of_free_fatty_acids.php.
11. **Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Kuzyk, M. V., Pozharska, O.V., & Melnyk, S. R.** Kataliz transesterifikatsiyi tryoleatu hlitserynu butan-1-olom solyamy dvovalentnykh metaliv. *Visnyk Shkhdnoukrayinskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya*, 2016, **5**, 32–37.

Bibliography (transliterated)

1. **Gerpen, J. V.** Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 2005, **86**, 1107–1097, doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.005.

Відомості про авторів

Палюх Зоряна Юрївна – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: Zoriana.Y.Paliukh@lpnu.ua.

Palyukh Zoryana – PhD student, National University Lviv Polytechnic, PhD student at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: Zoriana.Y.Paliukh@lpnu.ua.

Мельник Степан Романович – доктор технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Stepan – Doctor of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Мельник Юрій Романович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Yurii - Candidate of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Палюх, З. Ю. Алкоголіз тригліцеридів етанолом у присутності солей двовалентних металів / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 158-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

Please cite this article as:

Palyukh, Z., Melnyk, Yu., Melnyk, S. Transesterification of triglycerides by ethanol in the presence of divalent metal salts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 158–163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Палюх, З. Ю. Алкоголиз триглицеридов этанолом в присутствии солей двухвалентных металлов / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 158-163. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.25.

АННОТАЦИЯ Исследовано реакцию алкоголиза триглицеридов этанолом и эфиральдегидной фракции в присутствии солей двухвалентных металлов – ацетатов никеля и меди (II), оксалата никеля, сульфатов никеля, марганца (II), меди (II), цинка, кадмия, хлоридов олова (II), кобальта (II) и стеарата кадмия. Установлено, что в реакции алкоголиза этанолом конверсия триглицеридов превышает 98%. Наиболее активным катализатором из всех исследованных органических солей двухвалентных металлов является ацетат меди (II), а из исследованных неорганических солей – сульфат меди (II). В реакции алкоголиза эфиральдегидной фракции конверсия триглицеридов достигает 95% в присутствии неорганической соли – хлорида олова (II). Показано, что в качестве катализаторов реакции алкоголиза целесообразно использовать соли двухвалентных металлов, поскольку это дает возможность достичь высоких значений конверсии триглицеридов и уменьшить долю побочных реакций.

Ключевые слова: триглицериды; алкоголиз; этанол; соли двухвалентных металлов; эфиральдегидной фракция.

Надійшла (received) 22.05.2017

УДК 637.338.4:637.3.071

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.26

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ НАЧИНКИ ЗБАГАЧЕНОГО СИРКА В БІЛКОВІЙ ГЛАЗУРІ

Н. В. ПОПОВА^{*1}, Т. Г. МИСЮРА², В. В. ТКАЧЕНКО¹

¹Кафедра експертизи харчових продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ, УКРАЇНА

²Кафедра процесів і апаратів харчових виробництв, Національний університет харчових технологій, м. Київ, УКРАЇНА

*e-mail: Taras_as@i.ua

АНОТАЦІЯ У статті наведено аналіз складових продукту та розглянуто визначення оптимального співвідношення компонентів глазуrowаного сирка для максимального забезпечення найвищих показників вмісту вітаміну С, β-каротину та органолептичної оцінки методом математико-статистичного аналізу. Обрано за основу глазуrowану сиркову масу з використанням сиру кисломолочного 5% жирності. В якості наповнювачів досліджено три види джему, а саме обліпиховий, лимонно-імбирний та брусничний. За основу глазури було обрано натуральну білкову. Всі графічні засоби системи STATISTICA забезпечують можливість вибору вбудованого аналітичного інтерактивного методу аналізу і містять великий набір програм. Розглянуто такі властивості багатокомпонентних систем, як функції складу, перехід до симплексної системи координат за допомогою діаграм. Для цього застосовуються симплекс-гратчасті плани Шеффе. За підсумками проведених експериментів побудовано області факторного простору за регресійною повною кубічною моделлю та отримано рівняння регресії. Для знаходження оптимального співвідношення компонентного складу було розглянуто і знайдено локальні оптимуми за кожним вихідним параметром суміші. При сумісному вирішенні багатокритеріальної задачі побудовано і вирішено систему нерівностей, що дозволило встановити оптимальні параметри, які забезпечать оптимальні значення вмісту вітаміну С, β-каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки. Таким чином був підібраний оптимальний склад рецептури наповнювача глазуrowаного сирка. Оскільки вміст функціональних складових сирка не менший ніж необхідний за нормативною документацією, сирок може вважатися збагаченим кисломолочним продуктом.

Ключові слова: збагачувач, глазуrowаний сирок, білкова глазур, обліпиховий джем, лимонно-імбирний джем, брусничний джем, математико-статистичний метод.

OPTIMIZATION COMPONENT COMPOSITION FILLING MARMOT IN THE PROTEIN-RICH GLAZE

Н. ПОРОВА^{*1}, Т. МИСЮРА², В. ТКАЧЕНКО¹

¹Department of Foodstuff Expertise, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

²Department of Processes and Apparatus for Food Production, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT To the article the analysis of constituents of product is driven and determinations of optimal correlation of components of the glazed cheese are considered for the maximal providing of high indexes of maintenance of vitamin of C, β-carotene and organoleptic evaluation by the method of mathematically statistical analysis. Select for basis the glazed curd mass with the use of curd 5 percent's of fat. As filler three types of jam are investigational, sea-buckthorn, lemon-gingery and red huckleberry. For basis of glaze was select natural albuminous. All graphic facilities of the system STATISTICA provide possibility of choice of builtin analytical interactive method of analysis and contain the large set of the programs. Such properties of the multicomponent systems are considered, as functions of composition, passing to the simplex system of coordinates be means of diagrams. The simplex-lattice plans of Shaffe are used for this purpose. On results the conducted experiments the areas of factor space are built with a regressive complete cube model and equalizations of regression is got. For being of optimal correlation of component composition it was considered and found local optimal after every initial parameter of mixture. In the joint solution of a multicriteria problem, a system of inequalities was constructed and solved, which allowed to establish optimal parameters that would ensure optimal values of the content of vitamin C, β-carotene, titrated acidity and organoleptic evaluation. In this way, the optimal composition of the filler filling of the glazed curd was selected. Since the content of the functional constituents of the curd is no less than that required by the normative documentation, the cheese can be considered an enriched fermented milk product.

Keywords: preparatory, glazed cheese, albuminous glaze, a jam is from a sea-buckthorn, lemon-gingery jam, red huckleberry jam, method of mathematically statistical analysis.

Вступ

Глазуrowані сирки є затребуваним у споживачів продуктом, який особливо користується попитом в дитячому харчуванні. Саме тому підвищення харчової цінності глазуrowаних сирків, надання їм корисних

властивостей є доцільним у наш час, як для споживачів, так і для виробників.

У різних науково-технічних галузях успішно застосовуються методи математичного планування експерименту, що істотно підвищує ефективність досліджень. Переважна більшість досліджуваних об'єктів відноситься до класу складних систем, що

характеризується значною кількістю взаємозалежних параметрів. Завдання дослідження таких систем полягає у встановленні залежності між вхідними параметрами – факторами і вихідними параметрами – показниками якості функціонування системи [1].

Отже, актуальним є використання рослинної сировини та продуктів її переробки в якості збагачувачів та визначення залежності властивостей глазурованих сирків від вмісту компонентів суміші з метою отримання максимальних вмісту вітаміну С та β -каротину, таких корисних для організму дітей та дорослих. При цьому необхідно розглянути такі властивості багатокомпонентних систем, як функції складу, перехід до симплексної системи координат за допомогою діаграм. Для цього застосовуються симплекс-гратчасті плани Шаффе програми STATISTICA [2, 3].

Мета роботи

Метою статті є оптимізація компонентного складу начинки нового виду глазурованого сирка, а також дослідження можливості застосування математико-статистичних методів для оптимізації складу співвідношень глазурованого сирка при відомих характеристиках його складових.

Викладення основного матеріалу

При розробленні оптимальної рецептури глазурованого сирка з начинкою першим етапом було аналіз та склад сировини в якості наповнювача. За основу начинки обрано три види джема.

Обліпиховий джем містить високий вміст вітаміну С, каротини і каротиноїди, ненасичені жирні кислоти Омега 3-6-9. Брусничний джем надає жарознижуючого, тонізуючого ефекту та приємних органолептичних властивостей готовому сирку. Лимонно-імбирний джем надає продукту чарівного аромату та містить в своєму складі корисний для

імунної системи вітамін С. Використання саме білкової глазурі сприяє зниженню калорійності нового виду глазурованого сирка з начинкою.

Користуючись стандартом [4] щодо вимог до органолептичних показників, було вибрано дескриптори для проведення сенсорної оцінки глазурованих сирків та оцінено кожен зразок за інтенсивністю дескрипторів за 5-тибальною шкалою. Для остаточної органолептичної оцінки побудовано профілі смаку та запаху, консистенції, кольору та зовнішнього вигляду глазурованого сирка з начинкою у вигляді пелюсткової діаграми. Після чого розраховано органолептичну оцінку в балах [5-11].

Наступним етапом узагальнення і аналізу зведеного матеріалу було виявлення характерних властивостей і закономірностей, а також, взаємозалежностей факторних та результативних ознак готового сирка.

У подальших дослідженнях була побудована матриця планування гратчастого плану Шаффе – симплекс вершинний план третього степеню за допомогою програми STATISTICA. Слід зазначити, що основною метою реалізації даної матриці планування експериментів є визначення співвідношення вмісту компонентів начинки глазурованого сирка, що забезпечує максимально високий вміст вихідних речовин у складі.

Обговорення результатів

Для трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану була побудована матриця на десять експериментів. Для чого обрано три компоненти складу начинки x , y , z , а саме лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми та чотири вихідних параметрів експерименту, а саме вміст вітаміну С, β -каротину, титрована кислотність та органолептична оцінка – C , B , T , O відповідно (табл.1).

Таблиця 1 — Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-гратчастого плану.

№	Лимонно-імбирний джем (x)	Брусничний джем (y)	Обліпиховий джем (z)	Вітамін С, мг ©	β -каротин, мкг (B)	Титрована кислотність, % (T)	Органолептична оцінка (O)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	1	0	0	22,53	0	1,34	17,5
2	0	1	0	12,3	4,8	0,169	40
3	0	0	1	90,11	113,02	0,201	21
4	0,5	0,5	0	25,41	2,56	1,89	40
5	0,5	0	0,5	56,32	40,53	1,84	17,5
6	0	0,5	0,5	33,25	41,44	1,54	45
7	0,66	0,17	0,17	32,26	27,36	1,65	20
8	0,17	0,66	0,17	27,22	33,76	1,53	45
9	0,17	0,17	0,66	65,36	82,4	1,62	24
10	0,33	0,33	0,33	41,25	53,92	1,45	32

За підсумками проведених експериментів були побудовані області факторного простору по повній кубічній моделі залежності вмісту вітаміну С, β-каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки (рис.1,2,3,4 відповідно).

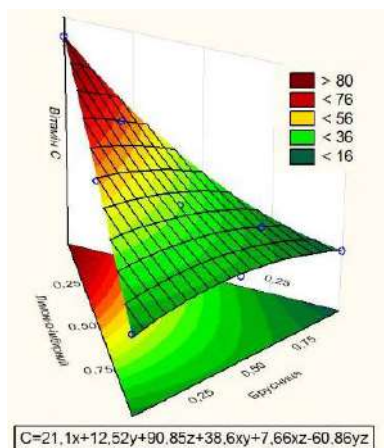


Рис.1. — Залежність вмісту вітаміну С від співвідношень джемів

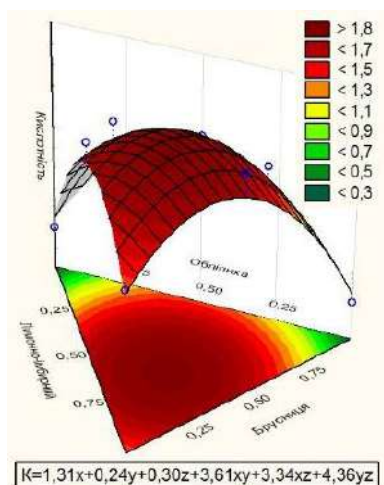


Рис.2. — Залежність титрованої кислотності від співвідношень джемів

За допомогою рівнянь регресії повної кубічної моделі, які наведено відповідно на рис. 1, 2, 3, 4, математичним шляхом знайдено оптимальне співвідношення джемів для забезпечення максимальних вихідних параметрів.

Рівняння регресії для залежності вмісту вітаміну С, β-каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки відповідно має такий вигляд:

$$C = 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz.$$

$$B = -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz.$$

$$T = 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz.$$

$$O = 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz.$$

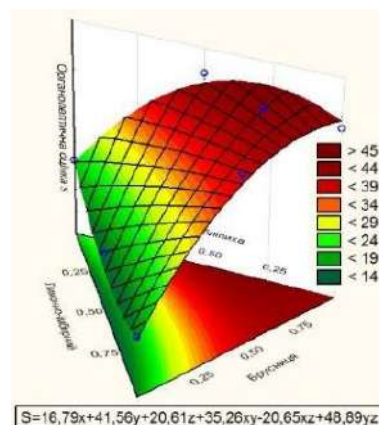


Рис.3. — Залежність органолептичної оцінки від співвідношень джемів

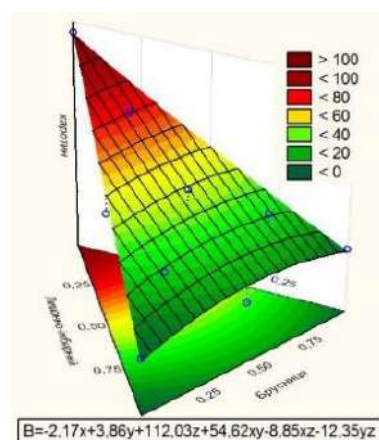


Рис.4. — Залежність вмісту β-каротину від співвідношень джемів

З метою знаходження оптимального співвідношення компонентного складу було розглянуто і знайдено локальні оптимуми за кожним вихідним параметром суміші.

За вмістом вітаміну С було побудовано систему

$$\begin{cases} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ z \geq 0; \\ 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz \geq C_{\min}; \\ 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz \leq C_{\max}, \end{cases}$$

вирішення якої дозволило встановити наступні оптимальні параметри: $x = 0, y = 0, z = 1$, що забезпечить оптимальні значення вмісту вітаміна С: $C = 90,85$.

За вмістом β-каротину було побудовано систему

$$\begin{cases} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ z \geq 0; \\ -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz \geq B_{\min}; \\ -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz \leq B_{\max}, \end{cases}$$

вирішення якої дозволило встановити наступні оптимальні параметри: $x = 0$, $y = 0$, $z = 1$, що забезпечить оптимальні значення вмісту β -каротину: $B = 112,03$.

За значенням титрованої кислотності було побудовано систему

$$\begin{cases} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ z \geq 0; \\ 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz \geq T_{\min}; \\ 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz \leq T_{\max}, \end{cases}$$

вирішення якої дозволило встановити наступні оптимальні параметри: $x = 0,255$, $y = 0,367$, $z = 0,378$, що забезпечить оптимальні значення титрованої кислотності: $T = 1,801$.

За значенням органолептичної оцінки було побудовано систему

$$\begin{cases} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ z \geq 0; \\ 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz \geq O_{\min}; \\ 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz \leq O_{\max}, \end{cases}$$

вирішення якої дозволило встановити наступні оптимальні параметри: $x = 0$, $y = 0,714$, $z = 0,286$, що забезпечить оптимальні значення вмісту β -каротину: $O = 45,552$.

При сумісному вирішенні багатокритеріальної задачі побудовано систему

$$\begin{cases} x + y + z = 1; \\ x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ z \geq 0; \\ 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz \geq C_{\min}; \\ 21,1x + 12,52y + 90,85z + 38,6xy + 7,66xz - 60,86yz \leq C_{\max}; \\ -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz \geq B_{\min}; \\ -2,17x + 3,86y + 112,03z + 54,62xy - 8,85xz - 12,35yz \leq B_{\max}; \\ 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz \geq T_{\min}; \\ 1,31x + 0,24y + 0,30z + 3,61xy + 3,34xz + 4,36yz \leq T_{\max}; \\ 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz \geq O_{\min}; \\ 16,79x + 41,56y + 20,61z + 35,26xy - 20,65xz + 48,89yz \leq O_{\max}, \end{cases}$$

вирішення якої дозволило встановити наступні оптимальні параметри: $x = 0,11$, $y = 0,35$, $z = 0,54$, що забезпечить оптимальні значення вмісту вітаміну С, β -каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки відповідно: $C = 46$, $B = 60,652$, $T = 1,552$, $O = 37$.

Виходячи з органолептичного оцінювання та отриманих даних фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків сирка з начинкою різного складу найкращим було обрано зразок, що містить лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в співвідношенні 0,11:0,35:0,54 відповідно.

Після визначення оптимального співвідношення компонентів нами була розроблена нова рецептура глазурованого сирка з начинкою, яка містить максимальний вміст вітаміну С, β -каротину, допустимі значення кислотності та приємні органолептичні властивості. Наведені дані представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Рецептура нового виду глазурованого сирка і значення вихідних параметрів.

Основа складова глазурованого сирка	Норма внесення, %	Вміст вітаміну С (мг) на 100 г продукту	Вміст β -каротину (мкг) на 100 г продукту	Титрована кислотність, Т	Органолептична оцінка
Сир кисломолочний жирністю 5%	44,0	46	60,6	1,55	37
Масло вершкове, 73%	12,0				
Цукор білий кристалічний	9,0				
Обліпиховий джем	8,64				
Лимонно-імбирний джем	1,77				
Брусничний джем	5,59				
Білкова глазур	19,0				

Висновки

Застосовано математико-статистичні методи аналізу з метою отриманих рівнянь регресії та діаграм залежностей вмісту вихідних параметрів, а саме вмісту вітаміну С, β-каротину, титрованої кислотності та органолептичної оцінки від співвідношень джемів шляхом симплексної системи координат.

Математичним шляхом вирішено рівняння регресії оптимального співвідношення складу начинки для отримання максимального вмісту вихідних параметрів в готовому глазурованому сирку.

Виходячи з органолептичної оцінки та фізико-хімічного аналізу запропонованих зразків, найкращим було обрано зразок сирка, що містить в якості начинки лимонно-імбирний, брусничний та обліпиховий джеми в співвідношенні **0,11:0,35:0,54** відповідно.

Розроблено рецептуру глазурованого сирка, що відноситься до групи низькокалорійних та збагачених продуктів, а вищезазначені наповнювачі здійснюють позитивний вплив на органолептичні показники, харчову та біологічну цінність продукту.

Список літератури

1. **Домарецький, В. А.** Технологія харчових продуктів / **В. А. Домарецький, М. В. Остапчук, І. А. Українець.** – К.: НУХТ, 2003. – С. 318.
2. **Зедгиндзе, И. Г.** Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – Москва : Наука, 1976. – С. 186-203.
3. Теория эксперимента: Курс лекций в 2 ч. Ч.1/ **А. В. Блохин.** – Минск: центр «Электронная книга БГУ», 2003 – 68 с.
4. Вироби сиркові. Загальні технічні умови: ДСТУ 4503:2005. — [Чинний від 28.01.2006]. - К: Держспоживстандарт України, 2006.
5. Cheese and lactose Products. Published by U.S. Dairy Export Council 2101 Wilson Boulevard / Suite 400 Arlington, VA U.S.A. 22201-3061.
6. Method for the production of glazed curd cheese [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://russianpatents.com/patent/219/2197092.html>.
7. **Спирина, Т. В.** Оценка качества глазированных сырков, реализуемых в розничной торговой сети / **Т. В. Спирина, Е. В. Матушкина.** Екатеринбург: Аграрное образование и наука. Уральский государственный аграрный университет. – 2015. – №3 – С. 318.
8. **Dyomina, L. S** Problems of production of the curd glazed cheeses / **L. S. Dyomina, K. L. Zoloch, V. A. Tymoshenko, L. S. Strelnikov, M. V. Rybalkin** // National

University of Pharmacy. National University of Pharmacy, Ukraine, Kharkiv. – 2016. – P. 215.

9. **Gutierrez, I. H.** Phenolic composition and magnitude of copigmentation in young and shortly aged red wines made from the cultivars, Cabernet Sauvignon, Cencibel and Syrah / **I. Hermosin Gutierrez, E. Sanchez-Palomo Lorenzo, A. Vicario Espinosa** // *Food Chemistry.* – 2005. – № 92. – С. 269-283. – doi:10.1016/j.foodchem.2004.07.023.
10. **Heinrich, M.** Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy / **M. Heinrich, J. Barnes, S. Gibbons, and E. M. Williamson** // *Churchill Livingstone*, Edinburgh, UK, 2nd edition, 2012.
11. **Knöss, W.** Community Herbal Monograph on Gentian lutea L. / **W. Knöss and F. Stolte** // *Radix*, European Medicines Agency, London, UK, 2009.

Bibliography (transliterated)

1. **Domaretskiy, V. A., Ostapchuk, M. V., Ukrainets, I. A.** Tehnologiya harchovih produktiv, K.: NUHT, 2003, 318.
2. **Zedginidze, I. G.** Planirovanie jeksperimenta dlja issledovanija mnogokomponentnyh sistem, Moskva: Nauka, 1976, 186-203.
3. Teorija jeksperimenta: Kurs lekcij v 2 ch. Ch.1/ **A.V. Blohin**, Minsk: centr «Elektronnaja kniga BГУ», 2003, 68 s.
4. Virobi sirkovi. Zagal'ni tehnicni umovi: DSTU 4503:2005. — [Chinnij vid 28.01.2006]. - K: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2006.
5. Cheese and lactose Products. Published by U.S. Dairy Export Council 2101 Wilson Boulevard / Suite 400 Arlington, VA U.S.A. 22201-3061.
6. Method for the production of glazed curd cheese [Elektronnij resurs]/ Rezhim dostupu: <http://russianpatents.com/patent/219/2197092.html>.
7. **Spirina, T. V., Matushkina, E. V.** Ocenka kachestva glazirovannyh syrkov, realizuemyh v roznichnoj torgovoj seti, Ekaterinburg: Agrarnoe obrazovanie i nauka. Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2015, 3, 318.
8. **Dyomina, L. S., Zoloch, K. L., Tymoshenko, V. A., Strelnikov, L. S., Rybalkin, M. V.** Problems of production of the curd glazed cheeses, National University of Pharmacy. National University of Pharmacy, Ukraine, Kharkiv, 2016, 215.
9. **Gutierrez, I. H., Sanchez-Palomo Lorenzo, E., Vicario Espinosa, A.** Phenolic composition and magnitude of copigmentation in young and shortly aged red wines made from the cultivars, Cabernet Sauvignon, Cencibel and Syrah, *Food Chemistry*, 2005, 92, 269-283, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.07.023.
10. **Heinrich, M., Barnes, J., Gibbons, S., and Williamson, E. M.** Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy, Churchill Livingstone, Edinburgh, UK, 2nd edition, 2012.
11. **Knöss, W. and Stolte, F.** Community Herbal Monograph on Gentian lutea L., *Radix*, European Medicines Agency, London, UK, 2009.

Відомості про авторів (About authors)

Попова Наталія Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри експертизи харчових продуктів; м. Київ, Україна; e-mail: nata_2506@ukr.net.

Natalia Popova - Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate professor, Department of examination of food products, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: nata_2506@ukr.net.

Мисюра Тарас Гризорович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри процесів і апаратів харчових виробництв; м. Київ, Україна; e-mail: taras_as@i.ua.

Taras Misyura - Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate professor, Department of processes and vehicles of food productions, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: taras_as@i.ua.

Ткаченко Вікторія Вячеславівна – магістрант, Національний університет харчових технологій, магістрант кафедри експертизи харчових продуктів; м. Київ, Україна; e-mail: tcka4enko.lar@yandex.ua.

Viktoria Tkachenko – student (master), Department of examination of food products, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: tcka4enko.lar@yandex.ua.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Попова, Н. В. Оптимізація компонентного складу начинки збагаченого сирка в білковій глазури / **Н. В. Попова, Т. Г. Мисюра, В. В. Ткаченко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. - № 23 (1245). – С. 164-169. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.26.

Please cite this article as:

Popova, N., Misyura, T., Tkachenko, V. Optimization component composition filling marmot in the protein-rich glaze. *Bulletin of NTU “KhPI”*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2017, **23** (1245), 164–169, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.26.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Попова, Н. В. Оптимизация компонентного состава начинки обогащенного сырка в белковой глазури / **Н. В. Попова, Т. Г. Мисюра, В. В. Ткаченко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. - № 23 (1245). – С. 164-169. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.26.

АННОТАЦИЯ В статье приведен анализ составляющих продукта и рассмотрены определения оптимального соотношения компонентов глазированного сырка для максимального обеспечения высоких показателей содержания витамина С, β-каротина и органолептической оценки методом математико-статистического анализа. Избрано за основу глазированную творожную массу с использованием творога 5% жирности. В качестве наполнителей исследовано три вида джема, а именно облепиховый, лимонно-имбирный и брусничный. За основу глазури была избрана натуральная белковая. Все графические средства системы STATISTICA обеспечивают возможность выбора встроенного аналитического интерактивного метода анализа и содержат большой набор программ. Рассмотрены такие свойства многокомпонентных систем, как функции состава, переход к симплексной системе координат с помощью диаграмм. Для этого применяются симплекс-решетчатые планы Шеффе. По итогам проведенных экспериментов построены области факторного пространства с регрессионной полной кубической моделью и получено уравнения регрессии. Для нахождения оптимального соотношения компонентного состава было рассмотрено и найдено локальные оптимумы за каждым исходным параметром смеси. При совместном решении многокритериальной задачи построено и решено систему неравенств, что позволило установить оптимальные параметры, которые обеспечат оптимальные значения содержания витамина С, β-каротина, титруемой кислотности и органолептической оценки. Таким образом был подобран оптимальный состав рецептуры наполнителя глазированного сырка. Поскольку содержание функциональных составляющих сырка не менее чем необходимый по нормативной документации, сырок может считаться обогащенным кисломолочным продуктом.

Ключевые слова: обогатитель, глазированный сырок, белковая глазурь, облепиховый джем, лимонно-имбирный джем, брусничный джем, математико-статистический метод.

Поступила (received) 28.05.2017

УДК 504.054:661.12

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.27

ФАРМАЦЕВТИЧНІ ВІДХОДИ ЗІ СКЛА ТА ЇХ РЕСУРСНА БАЗА В УКРАЇНІ**Н.М. САМОЙЛЕНКО¹, А.О. БАРАНОВА^{2*}**¹ кафедра хімічної техніки та промислової екології, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА² аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, НТУ «ХПІ», м.Харків, УКРАЇНА

*email: baranova647@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуті тенденції збільшення утворення фармацевтичних відходів в Україні. Визначені види фармацевтичних відходів зі скла (ФВС), а також шляхи їх утворення та накопичення. Охарактеризовано негативний вплив ФВС на навколишнє середовище і здоров'я людини, який носить ефект сумачії. Теоретично і практично обґрунтовано наявність в Україні розвинутої ресурсної бази ФВС. Запропоновані рекомендації по стратегії поведінки з ФВС, що передбачають їх чіткий облік та контроль у власників відходів, а також суб'єктів господарювання, розробку системи збору фармацевтичних відходів у населення, а також створення новітніх технологій утилізації ФВС, які враховують екологічну специфіку таких відходів.

Ключові слова: Фармацевтичні відходи зі скла; екологічна безпека; ресурсна база; медичні відходи.

PHARMACEUTICAL WASTE FROM GLASS AND RESOURCE BASE IN UKRAINE**N. SAMOILENKO, A. BARANOVA**

Department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT Trends towards increase of pharmaceutical waste production in Ukraine were considered. The types of pharmaceutical waste glass (PWG) and the ways of their production and accumulation were identified. The negative impact of PWG upon the environment and human health, which has the effect of summation, is described. This effect includes the effect of the elements of the environment pharmaceutically active substances and medical glass threat of introduction into the environment disease agents. The existence of the developed PWG resource base in Ukraine was theoretically and practically grounded. It includes the production of pharmaceutical, medical facilities, pharmacy chains, distributors of drugs, people and other. The analysis of the sources of production and accumulation of PWG was carried out. The volumes of waste vials, bottles and other items made of glass in hospitals of Kharkiv were studied. The factors that influence the volume of PWG education in medical institutions are determined. They include the number of hospital beds, the profile of the medical institution, the rationality of pharmacotherapy, the level of responsibility of medical personnel, the individual characteristics of patients. The problems of organizing the collection and processing of pharmaceutical waste by specialized organizations and the lack of a system for collecting such waste from the public are considered. Recommendations on the strategy of behavior with the PWG are proposed. Recommendations ensure their clear accounting and control from the owners of waste and business entities as well as the development of the system of collecting PWG from people and creation of new PWG recycling technologies, considering its environmental specificity.

Keywords: Pharmaceutical waste glass; environmental safety; resource base; medical waste.

Вступ

Тенденції глобальної Фарми, частиною якої є український фармацевтичний ринок, стійко зростають і до 2021 р. обсяги світового продажу лікарських засобів (ЛЗ) можуть досягнути 1,5 трлн дол. при середньорічному прирості 5,9 % [1]. При цьому нарощування випуску фармацевтичної продукції в Україні та імпортування лікарських засобів призводить до все більшого утворення і накопичення фармацевтичних відходів (ФВ).

Проблема забруднення довкілля фармацевтичними речовинами та способів його подолання досліджувалась багатьма закордонними і вітчизняними дослідниками [2,3,4,5,6,7]. Доведена негативна дія ФВ на елементи довкілля та визначена група фармацевтично активних речовин, які потребують особливого контролю. Існують публікації, у яких відзначається шкідлива дія відходів скла, що потрапляють

на полігони для поховання твердих побутових відходів. Разом з тим, питання комплексного підходу до фармацевтичних відходів зі скла (ФВС), як джерела небезпечного впливу на довкілля та одночасно джерела цінного ресурсного компоненту для виробництва продукції, у наукових публікаціях не висвітлювались. Крім того, у науковій літературі не систематизовані дані щодо існуючого стану поводження з ФВС в Україні. У зв'язку з цим важливими науковими і практичними завданнями є дослідження, які направлені на підвищення екологічної безпеки поводження з ФВС, а також встановлення доцільності їх використання у якості вторинного матеріального ресурсу.

Ціль роботи

Мета дослідження – аналіз екологічної небезпеки фармацевтичних відходів зі скла та визначення матеріальних потоків їх утворення і

накопичення для визначення ресурсної цінності цих відходів з їх подальшою утилізацією.

Виклад основного матеріалу

Згідно визначення ВООЗ фармацевтичні відходи (ФВ) – це відходи, які містять медичні препарати (ліки, у яких закінчився термін придатності, або які більше не потрібні, предмети, що забруднені фармацевтичними препаратами, або містять їх). Разом з тим ФВ – складові медичних відходів, що включають протерміновані, не використовувані та забруднені лікарські засоби, які потребують належного поводження. ФВ включають відходи фармацевтичного виробництва, пляшки, флакони і будь-який забруднений ЛЗ матеріал та ЛЗ, які є непридатними для використання [8].

Фармацевтичні відходи зі скла відносяться до твердих фармацевтичних відходів, які мають залишки фармацевтичних препаратів, або забруднені ними. Особливістю ФВС є те, що їх негативна дія на довкілля подібна ефекту сумачії, який складається з впливу на елементи довкілля фармацевтично активних речовин, медичного скла як тари та загрози привнесення у навколишнє середовище збудників захворювань. Останнє обумовлено тим, що ФВС стикаються з хворими, а це у подальшому сприяє обміненню патогенними мікроорганізмами об'єктів довкілля. Побічним негативним впливом надходження ФВС у довкілля є утворення забруднених викидів та скидів, які утворюються у процесі знешкодженні таких відходів.

Наявність у фармацевтичних відходах широкого спектру біологічних та хімічних речовин, які постійно поступають у довкілля, робить їх особливо небезпечними. Фармацевтично активні сполуки потрапляють до водойм зі стічними та атмосферними водами. Вони накопичуються у флорі, фауні та донних відкладеннях. Негативна дія проявляється впливом на водні екосистеми, зниженні екобезпеки водойми та погіршення якості питної води, якщо із забрудненого такими речовинами водного джерела проводиться водозабір. Крім того, виявлено, що фармацевтично активні речовини небезпечні для комах, так як змінюють їх життєвий цикл.

Негативна дія скла при потрапленні на полігони проявляється у залужуванні стоків, у які надходять іони натрію, що вимиваються з нього [9]. Також скло гальмує процеси життєдіяльності мікроорганізмів поверхневих шарів ґрунту. Крім того, бите скло являє собою гострий предмет, що також характеризує безпеку ФВС.

Забруднення елементів навколишнього середовища ФВ приводить до появи серцево-судинних й онкологічних захворювань, дистрофічних змін, алергії, гормональної дисфункції, змін імунної і ендокринної систем, скорочення тривалості життя і народження дітей з різними вродженими патологіями

[10]. Побічними ефектами неправильного поводження з відходами є не тільки хвороби людини, але й тварин, рослин, забруднення повітря і земель, поширення мух та інших комах, поширення гризунів, запах і неестетичність ландшафта та ін. [11].

Джерелами утворення та накопичення ФВС є об'єкти фармацевтичної галузі, медичних та інших установ і організацій, а також населення (табл.1).

Таблиця 1 – Джерела утворення та накопичення ФВС

Назва джерела утворення та накопичення відходів	Вид відходів
Фармацевтичні виробництва	Відбракована продукція у ампулах, флаконах, пляшках; ампули та інші скляні ємності, що зазнали механічного пошкодження і ін.
Медичні та лікувально-профілактичні установи (лікарні, поліклініки, госпіталі, санаторії)	Використані ампули, флакони, пляшки, неякісні лікарські засоби
Аптечні мережі та аптеки	Прострочені, неякісні лікарські засоби, які повинні бути вилучені із обігу
Дистриб'ютори лікарських засобів	Неякісні лікарські засоби; пошкоджена скляна тара з вмістом лікарського засобу; повернені ЛЗ, поставки яких здійснювалися з порушенням умов договору
Суб'єкти господарської діяльності по збору та переробці відходів	ФВ, що підлягають збору та утилізації згідно нормативних документів
Населення	Використані ампули, флакони, пляшки, неякісні лікарські засоби
Науково-дослідні центри і лабораторії	Використані ампули, флакони, лабораторний посуд
Склади конфіскованої продукції	Незарєєстровані та неякісні лікарські засоби; пошкоджена скляна тара з вмістом лікарського засобу

Основними джерелами утворення та накопичення ФВС є фармацевтичні виробництва, медичні заклади та аптечні мережі, а розрізнені та дрібні - дистриб'ютори лікарських засобів, склади конфіскованої продукції, населення.

До ФВС фармацевтичних виробництв, що мають скляну тару, відносяться: відбраковані лікарські засоби; субстанції і лікарські засоби, у яких минув термін придатності; складські залишки фармацевтичних препаратів; склобій (ампул,

флаконів та ін.); некондиційна скляна тара, ампули, флакони, пляшки. На жаль, джерела інформації не висвітлюють обсяги утворення ФВС на таких виробництвах, але зважаючи на об'єми та види продукції, що випускається фармацевтичними підприємствами, а також високі стандартні вимоги щодо якості продукції логічним є визначення їх як значних по своїй кількості. Поводження з такими відходами регулюється відповідними нормативними вимогами, прийнятими для виробничої галузі та направлені на забезпечення екологічної безпеки довкілля.

Відповідно до визначення ВООЗ, медичні відходи включають усі відходи, що утворюються в медичних установах, науково-дослідних центрах і лабораторіях, пов'язаних з медичними процедурами. Крім того, вони включають у себе ті ж види відходів, що утворюються в процесі медико-санітарної допомоги, в домашніх умовах (наприклад, домашнього діалізу, самостійного введення інсуліну, рекуперативного догляду). З загального обсягу медичних відходів 10÷25 % розглядаються як "небезпечні" і можуть представляти різні ризики для навколишнього середовища і здоров'я людини. До них відносяться фармацевтичні відходи, які представлені ліками з вичерпаним терміном дії, частково використаними флаконами і т.д. [11]

З точки зору аналізу статистики утворення ФВС значний інтерес представляє розгляд інформації щодо закладів охорони здоров'я. Лікувально-профілактичні заклади є джерелами утворення приблизно 1 % всіх твердих побутових відходів (ТПВ) [12]. Враховуючи даний факт в Україні при загальному обсязі ТПВ у 312,3 млн т/рік такі відходи можуть складати 3,123 млн т/рік. Для порівняння у Польщі – 1,393 млн т/рік, а у Білорусі – 0,2728 млн т/рік. При цьому частка інфікованих відходів у ТПВ даного типу складає 18 %, різних за характером скляних – 7 %, небезпечних – 3 %.

Загальна кількість медичних відходів розраховується з урахуванням населення та кількості лікарняних ліжок на 100 000 осіб [5]. Виходячи з цього, наприклад, очікувана загальна кількість медичних відходів (т/рік) у Києві складе 7,785, Львівській обл. – 8,210, Харківській обл. – 7,931. В Україні кожне лікарняне ліжко генерує в середньому 0,8÷1,2 кг твердих небезпечних відходів на добу [10], а інфекційних – 0,26 кг/ліжко/день [11].

В цілому кількість медичних відходів залежить від типу лікувально-профілактичного закладу і в розвинених країнах світу в середньому становить (кг/пацієнт/день): лікарні – 3,2; поліклініки – 2,3; приватні санаторії – 1,4; лабораторії – 0,2 [12].

Результати обробки статистичних даних, наданих Департаментом екології і природних

ресурсів Харківської ОДА, показали, що у лікарнях Харкова накопичується велика кількість відходів зі скла (рис. 1). Найбільший їх обсяг утворюється у лікарні, що має не тільки велику потужність стаціонару, але й багатoproфільність лікування хворих.

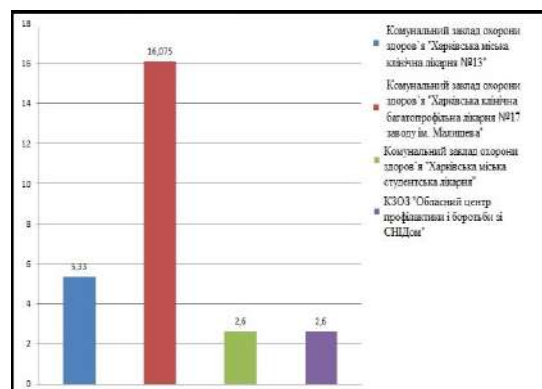


Рис. 1 – Обсяг утворення відпрацьованих ампул, флаконів та інших предметів зі скла у лікарнях м. Харкова (т), 2014 рік

Значна кількість відходів накопичується і у поліклінічних відділеннях м. Харкова. Так, наприклад, тільки у КЗОЗ «Харківська міська поліклініка №17» за даний період було утворено 2,43 т медичних відходів зі скла. Реформа охорони здоров'я, яка проходить в Україні, може змінити співвідношення обсягу утворення відходів у медичних закладах, але при цьому залишається очевидним, що їх загальна кількість в країні істотно не зміниться.

Значний вплив на обсяги утворення і утилізації ФВС має досконалість системи поводження з відходами у медичному закладі, раціональна фармакотерапія, а також рівень відповідальності медичного персоналу та індивідуальні особливості хворих.

Слід зазначити, що в Україні 97 % ліків придбаються населенням (в тому числі для використання у медичних закладах). За підсумками 2016 р. топ-5 дистриб'юторів в країні акумулює майже 90 % обсягів поставок лікарських засобів в аптечній мережі. При цьому на контрольованій території України функціонує 20,5 тис. аптечних закладів, з них 16 тис. — аптеки і більше 4 тис. — аптечних пунктів [1].

Дослідження щодо утворення ФВ у населення, які проводились в Україні, показали, що у кожного десятого лікарського засобу з домашніх аптечок закінчився термін придатності [13]. Враховуючи той факт, що у теперішній час кількість хворих, які лікуються у медичних закладах зменшується, а не стаціонарним способом збільшується, то кількість ФВ, у тому числі і ФВС, що утворюються у населення, досягає величезних обсягів.

Загальний обсяг медичних відходів коливається в залежності від рівня економічного розвитку країни. Можливо очікувати, що у недалекому майбутньому кількість медичних відходів в Україні буде зростати у більшому ступені, так як прогнозується збільшення застосування населенням лікарських засобів, вживання яких традиційно пов'язується з підвищенням рівня та якості життя, а також його тривалості. Враховуючи, що за результатами аптечних продаж у 2015 р. було реалізовано 1,314 млрд упаковок, а тільки за 6 місяців 2016 р. аптечні продажі в натуральному вираженні збільшилися на 5 % (684,402 млн упаковок) [14], то така тенденція має підстави.

Законодавство України чітко регулює сферу поводження з ФВ (медичними відходами) і покладає відповідальність на виробника відходів та суб'єкта господарської діяльності у сфері поводження з відходами. Останні здійснюють усі дії після факту утворення відходів (збирання, перевезення, зберігання, перероблення, утилізацію, знешкодження і захоронення відходів та ін.). Господарчим суб'єктам видаються ліцензії на збирання, перевезення, зберігання, утилізацію медичних і у т.ч. ФВ. Однак фактично в Україні таких компаній створено одиниці і функціонують вони лише в окремих областях (наприклад, на Харківщині – ТОВ «Єдині екологічні системи», ТОВ «Харків-ЕКО» та деякі інші).

Щодо ФВ, які утворюються у населення, то на жаль, в Україні ще не створено дієвої системи поводження з ними, яка б включала їх роздільний збір та подальше накопичення для утилізації, а тому всі вони потрапляють на сміттєзвалища і не піддаються обліку.

Значною проблемою в країні є відсутність досконалих технологій переробки ФВ, і, в першу чергу фармацевтичних відходів зі скла. Медичне скло, що попадає у печі спалювання відходів плавиться та перетворюється у шлак, який прилипає до внутрішніх стінок [15].

Спалювання фармацевтичних відходів з отриманням палива в цементних печах при умовах горіння (1450-2000 °С) приводить до того, що всі компоненти відходів ефективно розпадаються і деякі потенційно небезпечні або токсичні продукти горіння адсорбуються в цементному клінкері, або переміщуються в теплообмінне обладнання. Однак через заклопотаність громадськості, установи з цементними печами часто висловлюють своє небажання приймати відходи з сектора охорони здоров'я [11].

Обговорення результатів

Стійка тенденція до збільшення виробництва та споживання фармацевтичних препаратів в Україні вказує на збільшення утворення і накопичення фармацевтичних відходів, серед яких значну долю мають відходи зі скла. Їх негативна дія поширюється

на усі елементи довкілля та характеризується хворобами людей, тварин, рослин, поширенням комах та гризунів, забрудненням питної води і ін. При цьому ФВС проявляють ефект суматції негативних впливів, які пов'язані з:

- дією фармацевтично активних речовин, що містяться у неякісних ЛЗ, представлених ампулами, флаконами, пляшками (особливо виділяються стійкі до біологічної деструкції фармацевтично активні речовини);

- впливом медичного скла на стічні води полігонів та мікроорганізми ґрунту;

- загрозою привнесення у навколишнє середовище збудників хвороб.

В останньому випадку ФВС можуть піддаватись знезараженню, але при цьому утворюються забруднені фармацевтично активними речовинами стічні води або шкідливі викиди.

Теоретичний аналіз та практичні розрахунки показують, що в Україні утворюються та накопичуються великі обсяги ФВС, які складаються з неякісних та фальсифікованих ЛЗ у формі ампул, флаконів, медичного скла тощо та ін. При цьому стратегія ринку фармпрепаратів вказує на постійне збільшення їх у майбутньому. Джерелами ФВС є об'єкти фармацевтичної галузі, медичних та інших установ і організацій, а також населення.

На законодавчо-нормативному рівні система поводження з ФВ розроблена та впроваджена для фармацевтичних виробництв, закладів охорони здоров'я, дистрибуторських організацій, аптечних мереж, а також суб'єктів господарської діяльності, що проводять дії після утворення ФВ, збирають та переробляють ФВ. Система ж поводження з ФВ для населення в Україні не діє.

Разом із зазначеним, проблемою в країні є незадовільний стан належного інфраструктурного забезпечення переробки та утилізації фармацевтичних відходів, і, в першу чергу, ФВС. Серед його причин виділяється відсутність раціональних технологій переробки та утилізації таких відходів, які б були запроваджені з урахуванням специфіки ФВС. Остання стосується не тільки фізико-хімічних властивостей медичного скла, але й фармацевтично активних речовин, що знаходяться у скляній тарі. Розробка та впровадження технологій утилізації ФВС сприяє підвищенню екологічної безпеки поводження з ними, а також використання скляної тари у якості цінного матеріального ресурсу, який економить сировинні природні ресурси країни.

Висновки

1. Фармацевтичні відходи зі скла чинять негативний вплив на навколишнє середовище, який має сумарний характер і відзначається шкідливими проявами в усіх його складових та стосується хвороб людей, тварин і рослин. З урахуванням стійкої тенденції до утворення та

накопичення ФВС і у майбутньому пріоритетним завданням у галузі екологічної безпеки ФВ є:

- удосконалення нормативної бази поводження з відходами, яка б передбачала налагодження чіткого обліку ФВС та їх контролю у власників відходів і суб'єктів господарювання, а також створення інформаційної бази даних таких відходів;

- розробка системи збору (прийому) ФВС у населення та проведення роз'яснювальної роботи серед нього щодо необхідності роздільного збору і подальшої утилізації неякісних лікарських засобів.

2. Враховуючи наявність в Україні великого потенціалу для використання ФВС як цінного ресурсу та одночасно відсутність раціональних технологій переробки і утилізації ФВС, в стратегії поводження з ними пропонується передбачити розширення розробок новітніх технологій утилізації ФВС, які б враховували їх специфічні екологічні характеристики.

Список літератури

1. І знову напередодні змін. Що чекає на фарминок України у 2017 р.: матеріали XII Щорічного аналітичного форуму «Фармапогляд-2017» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.apteka.ua/article/400906>.
2. **Ruhoy, I. S.** Beyond the medicine cabinet: An analysis of where and why medications accumulate / **I. S. Ruhoy, C. G. Daughton** // *Environment International*. – 2008. – Vol. 34 (8). – P. 1157- 1169. – doi: 10.1016 / j.envint.2008.05.002.
3. **Santos, L.** Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment / **L. Santos, A. Araujo, A. Fachini et al.** // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – P. 45–95. – doi: 10.1016 / j.jhazmat.2009.10.100.
4. Pharmacoenvironmentology – a component of pharmaco-vigilance / **S. Z. Rahman, R. A. Khan, V. Gupta, M. Uddin**. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-6-20>. – doi: 10,1186 / 1476-069X-6-20.
5. **Самойленко, Н. Н.** Влияние фармацевтических препаратов и их производных на окружающую среду / **Н. Н. Самойленко, И. А. Ермакович** // *Вода и экология. Проблемы и решения*. – СПб., Водопроект-Гипрокоммунводоканал. - 2014. – № 2. – С. 78–87.
6. **Громовик, Б. П.** Фармацевтичні відходи – серйозна проблема екологічної системи «Людина – лікарський засіб – довкілля» / **Б. П. Громовик, І. П. Пузанова** / *Клінічна фармація, фармакотерапія та медична стандартизація* [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://clinpharm.meduniv.lviv.ua/FILES/STATTY/Hromovyk_B.P.,_Puzanova_I.P..pdf.
7. **Velo G.** Ecopharmacovigilance for better health / **G. Velo, U. Moretti** // *Drug Saf*. – 2010. – Vol. 33. – P. 963-968. – doi:10.2165/11539380-000000000-00000.
8. **Pruss, A.** Safe management of wastes from health-care activities / **A. Pruss, E. Giroult, P. Rushbrook** // *World Health Organization*. – Geneva, 1999. – 242 p.
9. Химическая коррозия стеклобоя и отходов стеклянной тары как фактор негативного влияния на окружающую среду / **Гуревич П. А., Швалеева С. М., Глебов А. Н., Баянова Л. Н** [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://cyberleninka.ru/article/n/himicheskaya-korroziya-stekloboya-i-othodov-steklyannoy-tary-kak-faktor-negativnogo-vliyaniya-na-okruzhayushchuyu-sredu>.

10. **Гуріна, І. В.** Аналіз сучасних підходів до класифікації медичних відходів в Україні / **І. В. Гуріна** // *Ліки України плюс*. – 2014. - №4 (21). – с. 51-54.
11. Національна стратегія управління відходами для України. Попередній проект. Додаток 6. Медичні відходи. Розроблено Consortium Resources and Waste Advisory Group Limited, UK and COWI A/S, Denmark. Київ, 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://compil.com.ua/nacionalna-strategiya-upravlinnya-vidhodami-dlya-ukrayini-pop.html?page=13>,
12. Проблема утилізації небезпечних медичних відходів (на прикладі України та Польщі) – / **О. Р. Попович, Ю. Й. Ятчишин, М. С. Мальований та ін.** [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://vlp.com.ua/files/14_54.pdf
13. **Койнова, І., Ковпак, Д.** Вплив фармацевтичних відходів на довкілля та проблеми поводження з ними / **І. Койнова, Д. Ковпак** [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_36_26.
14. Українці стали купувати більше ліків [Електронний ресурс] – Режим доступу: (<http://news.finance.ua/ua/news/-/381096/ukrayintsi-staly-kupuvaty-bilshelikiv>).
15. **Jiang, X. G.** Fusibility of medical glass in hospital waste incineration: Effect of glass components / **Jiang, X.G., и др.** // *Thermochemica Acta*. – 2009. – Volume 491. – P. 39-43. –doi.org/10.1016/j.tca.2009.02.018.

Bibliography (transliterated)

1. І знову напередодні змін. Що чекає на фарминок України у 2017 р.: матеріали XII Щорічного аналітичного форуму «Фармапогляд-2017» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.apteka.ua/article/400906>
2. **Ruhoy, I. S., Daughton, C. G.** Beyond the medicine cabinet: An analysis of where and why medications accumulate, *Environment International*, 2008, **34** (8), 1157-1169, doi: 10.1016 / j.envint.2008.05.002.
3. **Santos, L. Araujo, A., Fachini, A. et al.** Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*. 2010, 175, 45–95, doi: 10.1016 / j.jhazmat.2009.10.100.
4. **Ternes T., Joss A.** Human pharmaceuticals, hormones and fragrances: the challenge of micropollutants in urban water management. IWA Publishing; London, UK, 2007, 468 p, doi: 10,1186 / 1476-069X-6-20.
5. **Samojlenko, N. N., Ermakovich, I. A.** Vliyanie farmaceuticheskikh preparatov i ih proizvodnyh na okruzhayushchuyu sredyu, *Voda i jekologija. Problemy i reshenija*. – SPb., Vodoproekt-Giprokommunvodokanal, 2014, **2**, 78–87.
6. **Gromovyk, B. P., Puzanova, I. P.** Farmaceutychni vidhody – serjозна problema ekologichnoyi sy'stemy «Lyudy-na – likars'kyj zasib – dovkillya», *Klinichna farmaciya, farmakoterapiya ta medychna standartyzaciya* [Elektronnyj resurs] – Rezhy'm dostupu: http://clinpharm.meduniv.lviv.ua/FILES/STATTY/Hromovyk_B.P.,_Puzanova_I.P..pdf.
7. **Velo G., Moretti U.** Ecopharmacovigilance for better health, *Drug Saf*, 2010, **33**, 963-968, doi:10.2165/11539380-000000000-00000.

8. **Pruss, A., Giroult, E., Rushbrook, P.** Safe management of wastes from health-care activities, *World Health Organization*. Geneva, 1999, 242 p.
9. Himicheskaja korrozija stekloboja i othodov stekljannoj tary kak faktor negativnogo vlijaniya na okruzhajushhuju sredu / **Gurevich P. A., Shavaleeva S. M., Glebov A. N., Bajanova L. N.** [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/himicheskaya-korroziya-stekloboya-i-othodov-steklyannoy-tary-kak-faktor-negativnogo-vliyaniya-na-okruzhayushchuyu-sredu>.
10. **Gurina, I. V.** Analiz suchasny'x pidxodiv do klasyfikaciyi medychny'x vidxodiv v Ukraini, *Liky' Ukrainy' plyus*, 2014, 4 (21), 51-54.
11. Natsionalna strategiya upravlinnya vidhodami dlya Ukraini. Poperedniy proekt. Dodatok 6. Medichni vidhodi. Rozrobleno Consortium Resources and Waste Advisory Group Limited, UK and COWI A/S, Denmark. Kiyiv, 2016. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://compi.com.ua/nacionalna-strategiya-upravlinnya-vidhodami-dlya-ukrayini-pop.html?page=13>.
12. Problema uty'lizaciyi nebezpechny'x medychny'x vidxodiv (na pry'kladi Ukrainy' ta Pol'shi) – / **Popovych O. R., Yatchy'shy'n Yu. J., Mal'ovany'j M. S. ta in.** [Elektronny'j resurs] – Rezhym dostupu: http://vlp.com.ua/files/14_54.pdf.
13. **Kojnova, I., Kovpak, D.** Vplyv farmaceutychny'x vidxodiv na dovkillya ta problemy' povodzhennya z ny'my', [Elektronny'j resurs] – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_36_26.
14. Ukrainci staly' kupuvaty' bil'she likiv [Elektronny'j resurs] – Rezhym dostupu: (<http://news.finance.ua/ua/news/-/381096/ukrayintsi-staly-kupuvaty-bilshe-likiv>).
15. **Jiang, X. G.** Fusibility of medical glass in hospital waste incineration: Effect of glass components, *Thermochimica Acta*, 2009, 491, 39-43, doi:10.1016/j.tca.2009.02.018.

Відомості про авторів (About authors)

Самойленко Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; e-mail: samoilenko@kpi.kharkov.ua

Nataliia Samoilenko - PhD, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the department of chemical engineering and industrial ecology; Kharkov, Ukraine; e-mail: samoilenko@kpi.kharkov.ua

Баранова Антоніна Олегівна – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; e-mail: baranovaa647@gmail.com

Antonina Baranova - graduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of chemical engineering and industrial ecology; Kharkov, Ukraine; e-mail: baranovaa647@gmail.com

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Самойленко, Н. М. Фармацевтичні відходи зі скла та їх ресурсна база в Україні / **Н. М. Самойленко, А. О. Баранова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – 23 (1245). – С. 170-175. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.27.

Please cite this article as:

Samoilenko, N., Baranova, A. Pharmaceutical waste from glass and resource base in Ukraine. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 23(1245), 170-175, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.27.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Самойленко, Н. Н. Фармацевтические отходы из стекла и их ресурсная база в Украине / **Н. Н. Самойленко, А. О. Баранова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. - 23 (1245). - С. 170-175. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.27.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены тенденции увеличения образования фармацевтических отходов в Украине. Определены виды фармацевтических отходов из стекла (ФОС), а также пути их образования и накопления. Охарактеризовано негативное влияние ФОС на окружающую среду и здоровье человека, которое носит эффект суммации. Теоретически и практически обосновано наличие в Украине развитой ресурсной базы ФОС. Предложены рекомендации по стратегии поведения с ФОС, предусматривающие их четкий учет и контроль у собственников отходов, а также субъектов хозяйствования, разработку системы сбора фармацевтических отходов у населения и создание новейших технологий утилизации ФОС, которые учитывают экологическую специфику этих отходов.

Ключевые слова: фармацевтические отходы из стекла; экологическая безопасность; ресурсная база; медицинские отходы.

Надійшла (received) 31.05.2017

УДК 664.8.037.1

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.28

ВПЛИВ ОБРОБКИ АНТИОКСИДАНТНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ВИХІД СТАНДАРТНОЇ ПЛОДОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ПІСЛЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ

М.Є. СЕРДЮК*, С. С. БАЙБЕРОВА, Н. А. ГАПРИНДАШВІЛІ, О. І. СУХАРЕНКО

кафедра ТПЗПСГ, ТДАТУ, м. Мелітополь, УКРАЇНА
*email.: kowtun.marina2013@gmail.com

АНОТАЦІЯ Дослідження присвячені пошуку нових ефективних антиоксидантних композицій для обробки плодів перед зберіганням. Проведеними дослідженнями встановлено, що обробка антиоксидантними композиціями сприяє підвищенню виходу стандартної продукції на 4...10%, зменшенню кількості технічного браку та абсолютного відходу в 1,2...17,5 рази при подовженні терміну зберігання в середньому на 13...70 діб залежно від варіанту обробки, виду та сорту плодів. Найбільший позитивний ефект зафіксований при обробці антиоксидантною композицією на основі іонолу, диметилсульфоксиду та лецитину.

Ключові слова: стандартна продукція; органолептична оцінка; іонол; диметилсульфоксид; лецитин; аскорбінова кислота; рутин.

THE EFFECT OF TREATMENT WITH ANTIOXIDANT COMPOSITION ON THE NUMBER OF STANDARD FRUITS AFTER THE COID STORAGE

M. SERDYUK, S. BAIBEROVA, N. GAPRINDASHVILI, E. SUKHARENKO

Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT Researches are dedicated to the search of new effective antioxidant compositions for processing fruits before . The purpose of the research was in the scientific substantiation of the affects of the antioxidant composition on the exit of standard fruits after refrigeration storage. Fruits of apple varieties dard, Golden Delicious, Reinette Simirenko, flora, fruits pear varieties Conference, Victor, cure, Izyuminka of Crimea and plum fruit varieties cornflower, Stanley Uhorka Italian were selected for researches. The processing with antioxidant compositions was made in storage by imprisoning them into the working solution prepared in advance. Processing time - 10 seconds. The fruits were dried with the help of aeration. Variants of the processing: K – control, which was taken by the fruit, processed by water; Variant 1 - AKM - complex composition which contains a mixture dimethylsulfoxid, butilhidroksitoluol (ionol) of Polyethylene glycol; Variet 2 - AKRL - a mixture of ascorbic acid, rutin that lecithin; Variant 3 -DL - a mixture of dimethylsulfoxid, ionol of lecithin. The storage was done in plastic boxes 15 kg of fruit each. Storage temperature $0 \pm 1^\circ \text{C}$, humidity 95%. Conducted studies found that processing with antioxidant composition promotes the rise of the output of standard products by 4 ... 10%, and the decrease of technical spoilage and the absolute living by 1,2...17,5 times in case when extending the shelf life in average of 13 ... 70 days depending on processing options, the sort and type of fruits. The largest positive effect was recorded during the processing of antioxidant composition on the basis of ionol dimethylsulfoxide while lecithin.

Keywords: standard products; organoleptic evaluation; ionol; dimethylsulfoxide; lecithin; ascorbic acid; rutin.

Вступ

Необхідність споживання плодової продукції обумовлена фізіологічною потребою людини. При введенні в харчовий раціон свіжих плодів, людський організм забезпечується незамінними фітонутрієнтами – вуглеводами, органічними кислотами, мінеральними речовинами, природними антиоксидантами, тому споживання їх повинно бути рівномірним протягом цілого року. На думку деяких авторів, частка плодів у харчуванні вважається показником зростання добробуту населення [1–3]. Середній річний рівень споживання плодової продукції в Україні становить 50,9 кг на 1 особу при мінімальній фізіологічній нормі споживання – 61,32 кг/рік, а науково обґрунтованій нормі – 90 кг/рік [4].

Проведені аналітичні дослідження засвідчили, що, до числа основних факторів, які лімітують споживання свіжих плодів відносять нестачу

сучасних виробничих потужностей для їх зберігання та використання занадто дорогих, а іноді дуже складних і нерациональних технологій зберігання [5,6,7]. Це обумовлює необхідність розробки нових і вдосконалення існуючих способів зберігання плодової сировини.

Сучасним напрямком вдосконалення способів зберігання є обробка плодів антиоксидантними композиціями. Перспективність цього напрямку визнана багатьма вченими всього світу [8–11]. Пошук таких технологій зберігання є об'єктом досліджень вчених та практиків України [12]. Проте багато питань залишається дискусійними. З погляду на це, дослідження присвячені пошуку нових ефективних антиоксидантних композицій, обробка якими сприятиме подовженню терміну зберігання плодової продукції з високими квалітативними властивостями є актуальними.

Мета роботи

Метою досліджень, було виявлення та наукове обґрунтування впливу комплексних антиоксидантних композицій на вихід стандартних плодів з високими квалітативними властивостями після холодильного зберігання.

Викладення основного матеріалу

Дослідження виконували на базі лабораторії технології первинної переробки та зберігання продуктів рослинництва НДІ Агротехнологій та екології, Таврійського державного агротехнологічного університету, м. Мелітополь, Україна.

Для досліджень були обрані плоди яблуні сортів Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренка, Флоріна, плоди груші сортів Конференція, Вікторія, Кюре, Ізюминка Криму та плодів сливи сортів Волошка, Стенлей, Угорка італійська. Для зберігання плоди зерняткових культур збирали при досягненні знімального ступеня стиглості, типові за формою та забарвленням згідно з вимогами ГСТУ 01.1.-37-160:2004, ГСТУ 01.1.-37-162:2004, ГСТУ 01.1.-37-163:2004. Перед закладенням на зберігання була проведена інспекція, сортування й калібрування плодів.

Обробку антиоксидантними композиціями (АОК) виконували у сховищах шляхом занурення їх у заздалегідь приготовлені робочі розчини. Експозиція – 10 секунд. Висушували плоди вентиляванням.

Варіанти обробки: К – контроль, за який приймали плоди, оброблені водою; варіант 1 – АКМ - комплексна композиція до складу якої входять суміш диметилсульфоскиду, бутилгідрокситолуолу (іонолу) та поліетиленгліколі; варіант 2 – АКРЛ – суміш аскорбінової кислоти, рутину та лецитину; варіант 3 – ДЛ – суміш диметилсульфоскиду, іонолу та лецитину.

Зберігання виконували у пластикових ящиках, по 15 кг плодів у кожному. Температура зберігання 0 ± 1 °C, відносна вологість повітря 95 %.

Визначення рівня розвитку функціональних розладів та мікробіологічних захворювань при зберіганні плодів виконували шляхом огляду, та виявленню екземплярів, що знизили товарну якість та угруповання їх за родом ураження. Дослідження проводились у трирічній повторності.

При аналізі та обробці експериментальних використовували комп'ютерні програми "MS office Excel 2007", пакет "Statistica 6" і персональний комп'ютер.

Результати та їх обговорення

Ефективність тривалого зберігання свіжої плодової продукції оцінюється за збереженістю квалітативних показників, основними серед яких є кількість стандартної продукції.

Згідно вимогам нормативних документів основними квалітативними показниками плодів, які обумовлюють їх товарність є зовнішній вигляд, розмір плоду за найбільшим поперечним діаметром, наявність механічних пошкоджень, ознак фізіологічних розладів та мікробіологічних захворювань.

Свіжі плоди яблуні пізніх термінів досягання та груші середніх і пізніх термінів досягання за якістю поділяють на три товарних сорти: вищий, перший та другий, плоди сливи – на два: перший та другий.

Плоди кожного товарного сорту повинні бути достатньо сформованими, цілими, чистими, без надлишкової вологи, без пошкоджень шкідниками та хворобами, без стороннього запаху та присмаку. Не повинно бути механічних пошкоджень шкірочки плоду. Усі плоди, що були закладені на зберігання задовольняли зазначеним вимогам.

Галузевими стандартами регламентується також найбільший поперечний діаметр плодів. При чому, плоди яблуні округлої форми вищого сорту повинні бути не менше 70 мм у діаметрі, першого – 65 мм, другого – 50 мм, плоди груші відповідно 70, 65 та 55 мм, плоди сливи відповідно 32 і 28 мм.

За результатами наших досліджень середній найбільший поперечний діаметр плодів яблуні становив майже 69 мм, у плодів груші він був близько 70 мм, а у плодів сливи – близько 38 мм. Отже, і за якістю і за розмірами, партії усіх видів плодів, що закладалися на зберігання були віднесені до першого товарного сорту.

Протягом зберігання, внаслідок розвитку функціональних розладів, мікробіологічних захворювань, а також втрат маси відбувається зниження товарності плодової продукції. При цьому частина продукції за якісними показниками переводиться до другого сорту, з'являється технічний брак і абсолютний відхід (табл. 1).

Так, поява 2 сорту при зберіганні плодів зерняткових культур обумовлена виявленням «загару» на площі не більше $\frac{1}{4}$ поверхні плоду та слабким в'яненням з легким зморщуванням шкірочки на площі не більше $\frac{1}{4}$ поверхні плоду. При зберіганні плодів сливи – виявленням перестиглих плодів, але придатних для споживання у свіжому вигляді і для технічної переробки та екземплярів зі слабким в'яненням з легким зморщуванням шкірочки на площі не більше $\frac{1}{4}$ поверхні плоду. В товарних партіях зерняткових плодів допускається не більше 3% екземплярів, а в партіях плодів сливи – не більше 5%, які за якісними показниками відносяться до другого товарного сорту.

За результатами наших досліджень кількість плодів, які за якістю відносяться до 2 товарного сорту і в контрольних і в дослідних партіях не перевищувала регламентовані стандартом показники (табл. 1). Отже, після тривалого зберігання вся плодова продукція була віднесена до першого товарного сорту.

Таблиця 1 – Вихід стандартної продукції при зберіганні плодів за обробки антиоксидантними композиціями (середні значення)

Варіант обробки	Термін зберігання, діб	Стандартна продукція, %		Втрати, %		
		1 сорт	2 сорт	Технічний брак	Абсолютний відхід	маси
Плоди яблуні						
Контроль	203	87	1,7	5,0	0,7	5,6
АКМ	218	92,1	0,6	2,9	0,2	4,2
АКРЛ	255	92,8	1,2	3,3	0,3	2,3
ДЛ	255	95,4	0,9	1,6	0,04	2,1
Плоди груші						
Контроль	188	83,7	1,9	4,3	3,8	6,2
АКМ	235	88,4	2,3	3,1	1,3	4,8
АКРЛ	238	90,4	2,3	2,2	1,6	3,5
ДЛ	238	94,2	1,8	1,3	0,5	2,2
Плоди сливи						
Контроль	70	83,4	0,9	3,3	5,6	6,9
АКМ	110	87,1	0,9	2,7	2,9	6,4
АКРЛ	140	88,7	3,2	1,7	3,3	3,1
ДЛ	140	91,8	2,9	0,9	1,7	2,8

Сумарна кількість стандартної продукції після тривалого зберігання контрольних партій плодів варіювала в межах 84...89% залежно від видових та сортових особливостей.

При зберіганні партій плодів за обробки АОК сумарна кількість першого та другого сорту була вище 90%, за виключенням партій плодів сливи за обробки композицією АКМ. В даному варіанті вихід стандартних плодів був на рівні 88% і перевищував кількість стандартних плодів у контрольних партіях в середньому на 4%. Слід також зазначити, що середня тривалість зберігання плодів сливи за обробки композицією АКМ становила 110 діб, проти 70 діб зберігання плодів контрольних партій.

Найбільший позитивний ефект зафіксований при зберіганні усіх партій плодів за обробки композицією ДЛ. При цьому середній сумарний вихід стандартної продукції знаходився на рівні 96% - для партій плодів зерняткових культур та 95% - для партій плодів сливи, при середній тривалості зберігання плодів яблуні 255 діб, плодів груші – 238 діб, плодів сливи – 140 діб.

До технічного браку та абсолютного відходу були віднесені плоди, з ознаками мікробіологічних хвороб, а також функціональних розладів, які не допускаються вимогами стандартів. Це плоди з ознаками підшкіркової плямистості, побуріння м'якотті, загару і сильного в'янення на площі більше ¼ поверхні плоду, а також перестиглі плоди, які не придатні для споживання у свіжому вигляді.

При зберіганні плодів яблуні контрольних партій була зафіксована найбільша кількість

технічного браку і найменша абсолютного відходу, порівняно з контрольними партіями інших видів плодів. Кількість абсолютного відходу при зберіганні плодів груші і, особливо, плодів сливи зростала за рахунок наявності екземплярів з сильним ступенем пошкодження грибними гнилями.

При зберіганні партій плодів яблуні за обробки антиоксидантними композиціями кількість технічного браку була в 1,2...3,6 рази, а абсолютного відходу в 1,7...17,5 рази меншою порівняно з відповідними партіями контрольних плодів. Найбільший позитивний ефект зафіксований при застосуванні композиції ДЛ зі зменшенням технічного браку при зберіганні плодів яблуні в 3,1 рази, плодів груші – в 3,3 рази і плодів сливи – в 3,6 рази порівняно з контролем. Ще істотнішим було зменшення кількості абсолютного відходу і становило для партій плодів яблуні 17,5%, плодів груші - 7,6% та плодів сливи - 3,3%.

Таким чином, обробка антиоксидантними композиціями сприяє підвищенню виходу стандартної продукції на 4...10%, зменшенню кількості технічного браку та абсолютного відходу в 1,2...17,5 рази при подовженні терміну зберігання в середньому на 13...70 діб залежно від варіанту обробки, виду та сорту плодів. Найбільший позитивний ефект зафіксований при обробці антиоксидантною композицією ДЛ.

Позитивний вплив обробки АОК при тривалому зберіганні плодової продукції істотно позначався на її дегустаційній оцінці та виражався у добре збереженому смаку, соковитості плодів, відсутності рихлості м'якоті.

Смакові якості плодів характеризуються цукрово-кислотним індексом (ЦКІ), який визначається як відношення відсоткового вмісту цукрів до відсоткового вмісту кислот. На думку багатьох авторів найбільш гармонійним смаком відрізняються плоди з ЦКІ 15 – 30 в.о. Якщо цей показник вище 30, то смак плодів буде надмірно солодким, нижче 15 – занадто кислим [13].

При закладанні на зберігання середнє трирічне значення ЦКІ у плодах яблуні було на рівні 16 в.о. з варіюванням від 7,4 в.о. у плодів яблуні сорту Ренет Симиренко в 2010 році до 28 в.о. – у плодів сорту Голден Делішес у 2008 році. В середньому смак плодів яблуні сорту Ренет Симиренко характеризувався як кислий, а усіх інших сортів – як гармонійний кисло-солодкий.

Середнє значення ЦКІ в початковий період зберігання плодів груші було на рівні 30 в.о. з варіюванням від майже 9 в.о. у плодів сорту Кюре в 2010 році до майже 84 в.о. у плодів сорту Конференція в 2012 році. В середньому смак плодів груші сорту Кюре характеризувався як кислий, сортів Конференція та Вікторія – як солодкий, і тільки сорту Ізюминка Криму – як гармонійний кисло-солодкий.

В плодах сливи при закладанні на зберігання смак плодів характеризувався як гармонійний кисло-

солодкий із середнім значенням ЦКІ майже 29 в.о. Найбільш кислими були плоди сливи сорту Волошка у 2011 році, а найбільш солодкими – плоди сорту Угорка італійська в 2010 році.

При зберіганні плодів, внаслідок метаболізму вуглеводів та витрати органічних кислот у процесі дихання відбувалося зростання ЦКІ. При цьому плоди набували надмірно-солодкого, приторного смаку, що негативно позначалося на їх органолептичній оцінці. Особливо надмірно-солодким смаком і зниженою дегустаційною оцінкою за смакові якості характеризувалися плоди контрольних варіантів з числовим значенням ЦКІ для яблук майже 43 в.о., для плодів сливи – 68 в.о., і плодів груші – 90 в.о.

При зберіганні плодів за обробки АОК внаслідок гальмування процесів дозрівання узгоджувалися процеси перетворення вуглеводів, внаслідок зниження інтенсивності дихання зменшувалися витрати цукрів та органічних кислот. Все це сприяло високій збереженості природних смакових якостей плодів. Числові значення ЦКІ у всіх плодів дослідних варіантів були значно нижчими, ніж контрольних, а, отже, і смак їх був більш гармонійним. Найбільш гармонійним смаком і, відповідно, найвищою дегустаційною оцінкою за смакові якості характеризувалися плоди усіх видів, що зберігалися за обробки композицією ДЛ. Слід зазначити, що плоди яблуні, які зберігалися за обробки іншими АОК також характеризувалися відмінними смаковими якостями та мали максимальну дегустаційну оцінку.

Консистенція плодів визначається їх твердістю та соковитістю. При закладанні плодів на зберігання середня твердість плодів яблуні досліджених сортів становила 6,8 кг/см², плодів сливи – 3,4 кг/см², плодів груші середнього терміну достигання – 6,2 кг/см². Слід зазначити, що при зазначених показниках твердості плоди характеризувалися хрумкою та соковитою консистенцією і мали високу дегустаційну оцінку.

Твердість плодів груші пізнього терміну достигання була дуже високою та варіювала в межах 10,6...11,5 кг/см². Внаслідок цього консистенція плодів була занадто твердою та грубою, що знижувало їх дегустаційну оцінку. Така консистенція плодів багатьох сортів груші обумовлена наявністю кам'янистих клітин – склерейд. Склерейди – це структурні елементи механічної тканини плодів, які надають їм твердість, і, навіть, жорсткість. Ступінь твердості залежать як від числа склерейд, так і від їх розташування. У плодах груші вони розташовані невеликими групами – конкреціями, що створює відчуття «зернистості» консистенції. Результати наших досліджень констатують, що кількість склерейд при зберіганні плодів груші не зменшується, натомість змінюється їх будова. При цьому, протопласт залишається майже незмінним, а порові канали стають менш помітними, згладжуються, а, інколи, і зовсім зникають.

Соковитість та консистенція покривних тканин плодів прямо корелює з величиною втрат маси плодів внаслідок транспірації. Надмірні втрати маси плодів контрольних варіантів супроводжувалися зниженням тургесцентності їх тканин, втратою ними соковитості та в'яненням, яке позначалося сильним зморщуванням шкірочки площею більше ¼ поверхні. Результатами наших досліджень встановлено, що перші ознаки такого псування виникали при втратах маси плодів більше 5%. Обробка плодів АОК істотно зменшувала величину природних втрат маси, у тому ж числі і за рахунок транспірації, а отже сприяла збереженню соковитості та гарної консистенції покривних тканин.

Загальна дегустаційна оцінка плодів при закладанні на зберігання була достатньо високою варіювала в межах 8,3...8,8 балів залежно від виду плодів, що характеризувало їх органолептичні показники як «добрі». Зниження органолептичної оцінки нижче 10 балів пояснюється закладанням плодів на зберігання у знімальній (зерняткові) та технічній (сливи) стиглості. При цьому плоди були повністю сформованими, досягли оптимальних розмірів, проте такі показники, як консистенція та забарвлення м'якуша, забарвлення шкірочки а також смак та аромат були ще не повністю сформовані та не відповідали максимальній оцінці (табл.2). дегустаційною оцінкою 7,4 балів, а плодів сортів Ренет Симиренко та Флоріна – «добрими» з середніми дегустаційними оцінками відповідно 8,8 і 8,1 бал.

Таблиця 2 – Дегустаційна оцінка після зберігання плодів за обробки антиоксидантними композиціями, бали

Сорт	Початок зберігання	Кінець зберігання			
		К	АКМ	АКРЛ	ДЛ
Плоди яблуні					
Айдаред	8,4	7,4	8,7	9,0	9,0
Голден Делішес	8,9	7,4	8,4	8,9	9,1
Ренет Симиренко	8,1	8,8	9,2	9,4	9,5
Флоріна	8,8	8,1	8,5	9,3	9,5
Плоди груші					
Вікторія	8,3	7,4	8,5	8,7	9,1
Конференція	7,6	7,1	7,8	8,4	8,6
Кюре	7,2	8,6	9,3	9,4	9,6
Ізюминка Криму	7,7	8,3	8,4	8,6	9,0
Плоди сливи					
Волошка	8,8	7,9	8,1	8,7	9,2
Стенлей	8,6	7,6	8,2	8,8	9,2
Угорка Італійська	8,4	7,2	7,9	8,6	8,8

Органолептичні показники партій плодів, що зберігалися за обробки АОК були оцінені як «хороші» та «відмінні», тобто їх дегустаційна оцінка варіювала в межах 8...10 балів. Виключення становили плоди

груші сорту Конференція та сливи сорту Угорка дегустаційна оцінка яких становила відповідно 7,8 та 7,9 балів, але і вона була вище на 0,7 бали порівняно з контрольними плодами. Максимальною дегустаційною оцінкою, а отже і «відмінними» органолептичними показниками характеризувалися усі партії плодів, які зберігалися за обробки композицією ДЛ.

Висновки

Отже, обробка антиоксидантною композицією ДЛ найбільш ефективно гальмує окисно-відновні процеси при зберіганні плодової продукції, підвищує її стрес-толерантність, що супроводжується максимальним виходом стандартної продукції на фоні повної збереженості відмінних органолептичних показників.

Список літератури

1. Гришаева, С. Н. Проблемы и перспективы развития овощеконсервной промышленности России / С. Н. Гришаева // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2008. – №. 4. – 3 с.
2. Slavin, J. L. Health benefits of fruits and vegetables / J. L. Slavin, B. Lloyd // *Advances in Nutrition: An International Review Journal*. – 2012. – Т. 3. – №. 4. – С. 506-516. – doi:10.3945/an.112.002154.
3. Eberhardt, M. V. Nutrition: Antioxidant activity of fresh apples / M. V. Eberhardt, C. Y. Lee, R. H. Liu // *Nature*. – 2000. – Т. 405. – №. 6789. – С. 903-904. – doi:10.1038/35016151.
4. Войтенко, О. О. Проблеми забезпечення підприємств плодовоочеконсервної галузі сировиною / О. О. Войтенко // *Економіка АПК*. – 2006. – №7. – с.19-21
5. Сердюк, М. Є. The study of mass loss intensity of plum fruits during storage / М. Є. Сердюк, С. В. Кюрчев // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Т. 1. – №. 10 (79). – С. 42-48. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59694.
6. Serdyuk, M. Substantiation of selecting the method of pre-cooling of fruits / M. Serdyuk, D. Stepanenko, S. Baiberova, N. Gaprindashvili, & A. Kulik // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Т. 4. – №. 11 (82). – С. 62-68. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.76235.
7. Miller, F. A. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation / F. A. Miller, C. L. M. Silva, T. R. S. Brandão // *Food Engineering Reviews*. – 2013. – Т. 5. – №. 2. – С. 77-106. – doi:10.1007/s12393-013-9064-5.
8. Meng, X. Effects of chitosan and oligochitosan on growth of two fungal pathogens and physiological properties in pear fruit / X. Meng, Lingyu Yang, John F. Kennedy, Shiping Tian // *Carbohydrate Polymers*. – 2010. – № 81. – P. 70–75. – doi: 10.1016/j.carbpol.2010.01.057.
9. Watkins, C. B. Principles and practices of postharvest handling and stress / C. B. Watkins // *Apples: botany, production and uses*. – 2003. – С. 585-614. – doi: 10.1079/9780851995922.0585.
10. Li, H. Y. Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit / H.Y. Li, T. Yu // *Journal of the Science of Food and*

- Agriculture*. – 2001. – №81(2). – P.269–274. – doi: 10.1002/1097-0010(20010115)81:2<269::AID-JSFA806>3.0.CO;2-F.
11. Davarynejad, G. H. Effects of salicylic acid and putrescine on storability, quality attributes and antioxidant activity of plum cv. 'Santa Rosa' / G. H. Davarynejad, M. Zarei, M. E. Nasrabadi, E. Ardakani // *Journal of food science and technology*. – 2015. – Т. 52. – №. 4. – С. 2053-2062. – doi: 10.1007/s13197-013-1232-3.
 12. Прісс, О. П. Скорочення пошкодження холодом під час зберігання томатів з тепловою обробкою антиоксидантами / О. П. Прісс // *Восточно-Европейській журнал передових технологій*. – 2015. – №. 1/6 (73). – С. 38-43. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.37171.
 13. García-Mariño, N. Organic acids and soluble sugars in edible and nonedible parts of damson plum (*Prunus domestica* L. subsp. *insititia* cv. *Syriaca*) fruits during development and ripening / N. García-Mariño, F. De La Torre, A. J. Matilla // *Revista de Agaroquímica y Tecnología de Alimentos*. – 2008. – Т. 14. – 2. – С.187-193. – doi: 10.1177/1082013208092150.

Bibliography (transliterated)

1. Grishaeva, S. N. Problemy i perspektivy razvitija ovoshhekonservnoj promyshlennosti Rossii. *Vestnik Brjanskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii*, 2008, 4, 3 s.
2. Slavin, J. L., Lloyd, B. Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2012, 3(4), 506-516, doi:10.3945/an.112.002154.
3. Eberhardt, M. V., Lee, C. Y., Liu, R. H., Nutrition: Antioxidant activity of fresh apples, *Nature*, 2000, 405(6789), 903-904, doi:10.1038/35016151.
4. Vojtenko, O. O. Problemi zabezpechennja pidpriemstv plodoovochekonservnoji galuzi sirovinoju. *Ekonomika APK*, 2006, 7, 19-21.
5. Serdyuk, M., Kurchev, S. The study of mass loss intensity of plum fruits during storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 1(10/79), 42-48, doi: 10.15587/1729-4061.2016.59694.
6. Serdyuk, M., Stepanenko, D., Baiberova, S., Gaprindashvili, N. & Kulik, A. Substantiation of selecting the method of pre-cooling of fruits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 4, 11 (82), 62-68, doi: 10.15587/1729-4061.2016.76235.
7. Miller, F. A., Silva, C. L., & Brandão, T. R.. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. *Food Engineering Reviews*. 2013, 5(2), 77-106, doi:10.1007/s12393-013-9064-5.
8. Meng, X., Yang, L., Kennedy, J. F., & Tian, S. Effects of chitosan and oligochitosan on growth of two fungal pathogens and physiological properties in pear fruit. *Carbohydrate Polymers*. 2010, 81(1), 70-75, doi: 10.1016/j.carbpol.2010.01.057.
9. Watkins C. B. Principles and practices of postharvest handling and stress. *Apples: botany, production and uses*, 2003, 585-614, doi: 10.1079/9780851995922.0585.
10. Li, H., & Yu, T. Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2001, 81(2), 269-274, doi: 10.1002/1097-0010(20010115)81:2<269::AID-JSFA806>3.0.CO;2-F.
11. Davarynejad, G. H., Zarei, M., Nasrabadi, M. E., & Ardakani, E. Effects of salicylic acid and putrescine on storability, quality attributes and antioxidant activity of plum

- cv. 'Santa Rosa'. *Journal of food science and technology*. 2015, **52**(4), 2053-2062, doi: 10.1007/s13197-013-1232-3.
12. **Priss, O. P.** Skorochennya poshkodzhennya holodom pid chas zberigannya tomativ z teplovoyu obrobkoyu antioksidantami. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy*. 2015, **1/6** (73), 38-43, doi: 10.15587/1729-4061.2015.37171.
13. **García-Mariño, N., De La Torre, F., & Matilla, A. J.** Organic acids and soluble sugars in edible and nonedible parts of damson plum (*Prunus domestica* L. subsp. *insititia* cv. *Syrriaca*) fruits during development and ripening. *Revista de Agarquímica y Tecnología de Alimentos*. 2008, **14**(2), 187-193, doi: 10.1177/1082013208092150.

Відомості про авторів (About authors)

Сердюк Марина Єгорівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: kowtun.marina2013@gmail.com.

Marina Serdyuk – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: kowtun.marina2013@gmail.com.

Байбєрова Світлана Сергіївна - кандидат сільськогосподарських наук, Таврійський державний агротехнологічний університет, старший викладач кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: bajberovas@gmail.com.

Svitlana Baiberova – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), senior lecturer, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: bajberovas@gmail.com.

Гапріндашвілі Нона Арчилівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: nonnagar@mail.ru.

Nona Gaprindashvili – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: nonnagar@mail.ru.

Сухаренко Олена Іванівна - кандидат сільськогосподарських наук, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, м. Мелітополь, Україна; e-mail: Suharenkoelena14@mail.com.

Elena Sukharenko – Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Docent, Associate Professor, Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: Suharenkoelena14@mail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Сердюк, М. Є. Вплив обробки антиоксидантними композиціями на вихід стандартної плодової продукції після холодильного зберігання / **М. Є. Сердюк, С. С. Байбєрова, Н. А. Гапріндашвілі, О. І. Сухаренко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23(1245). – С. 176-181. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.28.

Please cite this article as:

Serdyuk, M., Baiberova, S., Gaprindashvili, N., Sukharenko, E. The effect of treatment with antioxidant composition on the number of standard fruits after the cold storage. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 176–181. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.28.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Сердюк, М. Е. Влияние обработки антиоксидантными композициями на выход стандартной плодовой продукции после холодильного хранения / **М. Е. Сердюк, С. С. Байбєрова, Н. А. Гапріндашвілі, А. И. Сухаренко** // *Вестник НТУ «ХПІ»*, Серія : Новые решения в современных технологиях. - Харьков: НТУ «ХПІ». - 2017. - № 23 (1245). - С. 176-181. - doi:10.20998/2413-4295.2017.23.28.

АННОТАЦІЯ Исследования посвящены поиску новых эффективных антиоксидантных композиций для обработки плодов перед хранением. Проведенными исследованиями установлено, что обработка антиоксидантными композициями способствует повышению выхода стандартной продукции на 4 ... 10%, уменьшению количества технического брака и абсолютного ухода в 1,2 ... 17,5 раза при продлении срока хранения в среднем на 13 ... 70 суток в зависимости от варианта отделки, вида и сорта плодов. Наибольший положительный эффект наблюдался при обработке антиоксидантным композицией на основе ионола, диметилсульфоксида и лецитина.

Ключевые слова: стандартная продукция; органолептическая оценка; ионол; диметилсульфоксид; лецитин; аскорбиновая кислота; рутин.

Надійшла (received) 29.05.2017

УДК 637.5:532.135

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.29

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ ЕКСТРАКТУ КОРЕНЯ СЕЛЕРИ

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: slashcheva@donmuet.edu.ua

АНОТАЦІЯ У роботі доведена перспективність використання добавки на основі кореня селери в технологіях заморожених м'ясних і рибних посічених виробів. Досліджено кінетику витрачання 2,2-дифеніл-1-пикрилгідразилу (ДФПГ) в реакції з екстрактом селери різних концентрацій колориметричним методом. Проведено кількісну оцінку антиоксидантної активності кореня селери у порівнянні з раніше дослідженими сильними рослинними антиоксидантами (бульбами топінамбура і листям стевії) та встановлено, що антиоксидантні властивості цих рослин співпівставні, тобто антиоксидантна активність селерового екстракту є високою. Встановлено, що при заморожуванні та зберіганні екстракту селери протягом трьох місяців його антиоксидантна активність не змінюється, що свідчить про потенційну здатність кореня селери гальмувати окислювальні процеси у фаршах на основі м'яса та риби під час зберігання у замороженому вигляді впродовж терміну зберігання.

Ключові слова: антиоксидант; антиоксидантна активність; корінь селери; посічені м'ясні і рибні вироби; колориметричний метод.

THE STUDY OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE CELERY ROOT EXTRACT

A. 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 We prove promising use of supplements based on celery in the technology of frozen meat and fish products split. The aim of experimental research was to determine the celery antioxidant activity and to study the dynamics of change in storage. Antioxidant activity estimation method used colorimetry free radicals based on reaction of DPPH dissolved in ethanol with specimens antioxidants. The kinetics of spending in DPPH reaction with celery extract of different concentrations. When the concentration of extract of celery in a ditch more than 0.5%, the reaction proceeded immediately. Observation of the dynamics of the reaction was carried out at concentrations of plant extracts 0.5; 0.25; 0.1; 0.05; 0.01 and 0.005%. A quantitative assessment antioxidant activity of celery compared to previous studies strong herbal antioxidants (Jerusalem artichoke tubers and Stevia leaves). These anamorphosis kinetic curves show that the effective rate constants of reactions are: celery - 1.24, artichoke tubers - 1.73, the leaves of Stevia - 0.58, i.e. quantitative assessment celery antioxidant activity 37% lower than the artichoke tubers, and 56% higher than the stevia leaves. Thus, the antioxidant properties of these plants are comparable, that celery extract antioxidant activity is high. Found that freezing does not affect the antioxidant activity of celery extract, the extract in storage for three months antioxidant activity it remains almost unchanged, storage more than four months antioxidant activity reduces by 12%, over six months - 30%. This allows us to conclude that the storage period of three months frozen minced celery additive in products able to keep their antioxidant properties. The data of the studies make it possible to predict that celery additive in minced products can help stabilize lipids meat and fish and have a direct impact on the shelf life of these products.

Key words: antioxidant; antioxidant activity; celery; chopped meat and fish products; colorimetric method.

Вступ

Використання антиоксидантів (АО) одержало останнім часом широкого застосування в різних галузях хімії, біології і медицини [1]. На основі АО і біологічно активних речовин створюються нові фармацевтичні препарати, дієтичні добавки та продукти харчування, призначені для лікування і профілактики ряду захворювань, нормалізації обміну речовин тощо [2, 3]. Лавиноподібне використання синтетичних АО, що постійно з'являються на ринку, висуває все більш серйозні вимоги до дослідження їх властивостей, що значною мірою впливає на ефективність та безпеку запропонованої на ринку харчової продукції [4].

Найбільш перспективними джерелами АО вважаються рослинні об'єкти. Лікарські рослини,

деякі частини овочів та плодів є важливим джерелом антиоксидантів. Вторинні метаболіти фенольних флавоноїдів з рослин можуть протидіяти вільним радикалам. Вони знайдені в усіх частинах рослини, таких як листя, плоди, насіння, коріння і кора [5].

Селера (*Apium graveolens* Linn.) відноситься до сімейства Зонтичних. Розрізняють три види селери: листовий (*Apium graveolens* var. *secalinum*), кореневий (*Apium graveolens* var. *rapaceum*) і черешковий (*Apium graveolens* var. *dulce*). Селера вирощується практично по всьому світу, в Україні найбільш розповсюдженою є коренева селера. Селеру використовують в їжу і в медицині як протизапальний і діуретичний засіб, а також для лікування ревматизму тощо. Ефірні олії селери володіють сильно інгібуючою дією проти кишкової палички та помірно інгібуючою проти синьогнійної палички і золотистого стафілокока [6].

Дослідження йменських вчених довели, що насіння селери має певні антиоксидантні властивості та може застосовуватися як харчова добавка для профілактики захворювань, пов'язаних із дією вільних радикалів, таких як цукровий діабет, онкологічні та серцево-судинні захворювання [7]. Споживання селери також призводить до відповідних змін ліпідних профілів сироватки крові та зменшує їх, тому вона рекомендована у лікуванні гіперліпідемії [8]. Екстракт селери також здатний гальмувати рак молочної залози [9].

Китайські вчені встановили, що селера містить п'ятнадцять фенольних компонентів (кислоти: галову, протокатехінову, хлорогенову, сиринову, п-кумарову, ферулову, саліцилову, коричну, елагову, кавову, а також пірокатехін, кофеїн, хризин, пирогаллол, катехін), чотири флавоноїди (гесперитин, лютеолін, кверцетин і розмарин) і три ізофлавоїди (даїдзетин, геністеїн і ізорамнетин) [10].

Методи дослідження антиоксидантної активності (АОА) розрізняються за типом джерела окислення субстрату і способом вимірювання окисленої речовини [11]. Ці методи дають широкий набір результатів, які можна використовувати окремо, а результати повинні бути інтерпретовані з обережністю. За способами реєстрації АОА методи можна розділити на волюмометричні, фотометричні, хемілюмінесцентні, флуоресцентні, електрохімічні і ряд більш специфічних (наприклад, біологічні маркери [9] та експерименти *in vivo* [12]). Загальна антиокислювальна активність може бути встановлена кількома методами: поглинання кисню при перекисному ліпідному окисненні [13], окислення кроцина, хемілюмінесценції з люмінолом, окислення R-фікоеритрину, чутливості еритроцитів до гемолізу [14], фотоколориметрії залізотіаціанатних комплексів [15], генеруванні ліпідних перекисів [16] тощо.

Відомо, що існує певний кореляційний зв'язок між кількісним вмістом поліфенолів та інших органічних сполук і АОА. АОА речовин у складі рослинних екстрактів, виявлена в процесі окислення жиромісних продуктів, пояснюється, найімовірніше, взаємодією їх з радикалами. Якщо дане припущення вірне, то активність екстракту в реакції з радикалами повинна корелювати з його АОА у жиромісних продуктах, таких як фаршеві та посічені вироби. Таким чином, для наукового обґрунтування використання кореня селери у складі м'ясних і рибних посічених виробів очевидно є необхідність вивчення його впливу на окислювальні процеси під час зберігання.

Мета роботи

Метою експериментальних досліджень було визначення АОА кореня селери колориметричним методом (по ДФПГ) та вивчення динаміки її зміни при зберіганні.

Відповідно до мети було визначено наступні задачі:

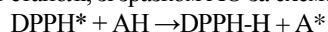
- дослідження кінетики АОА етанолового екстракту кореня селери;
- дослідження АОА екстракту кореня селери у порівнянні з іншими екстрактами рослин-антиоксидантів;
- дослідження динаміки АОА екстракту кореня селери протягом терміну зберігання м'ясних і рибних посічених виробів.

Виклад основного матеріалу

Практика свідчить, що речовини-антиоксиданти в різних поєднаннях можуть виявляти синергізм або антагонізм, тому загальна антиоксидантна здатність тієї чи іншої добавки може значно відрізнятися від простої арифметичної суми АОА кожного з окремих компонентів хімічного складу цієї добавки. Тому АОА рослинної сировини, яку додають в комбіновані продукти в натуральному виді, доцільно вивчати на прикладі її екстрактів [17].

Аналіз літературних джерел свідчить, що різні сорти та вегетативні частини селери виявляють неоднакову АОА [18]. В представлених дослідженнях використовували кореневу селеру сорту «Аніта», яка відрізняється розповсюдженістю в Україні та відмінною збереженістю протягом зимнього періоду.

Одним із способів оцінки АОА є колориметрія вільних радикалів [19], заснована на реакції 2,2-дифеніл-1-пикрилгідразилу (ДФПГ, DPPH, C₁₈H₁₂N₅O₆, M=394,33), розчиненого в етанолі, зі зразком АО за схемою:



ДФПГ здатний легко дегідрувати (окислювати) сполуки, які мають рухомий атом водню (феноли, аміни, тіоли і ін.), залишаючись при цьому стійким до дії молекулярного кисню. Молярний коефіцієнт світлопоглинання (коефіцієнт екстинкції) ДФПГ в етанолі визначали шляхом будови калібрувального графіку ($\epsilon=2,13 \cdot 10^3$ л/моль·мм). Вибір розчинника обумовлений достатньою розчинністю досліджуваних фенолів в цьому розчиннику. У результаті відновлення ДФПГ антиоксидантом знижується пурпурно-синє забарвлення ДФПГ в метанолі, а реакція контролюється за зміни оптичної щільності при 514 нм звичайними методами спектрофотометрії.

Всі частіше виконуються порівняльні дослідження, коли вимірювана одним з методів АОА порівнюється з впливом речовин на протікання тієї чи іншої патології. Так, автори [20] фракціонували компоненти зеленого чаю, вивчили активність фракцій за методом ДФПГ і оцінили їх вплив на ріст клітин раку шлунка МК-1. Встановлено корельований зв'язок між цими дослідженнями, що підтверджує доцільність оцінювання АОА речовин саме цим методом.

Спиртовий розчин ДФПГ змішували зі спиртовими розчинами рослинних екстрактів різної концентрації та за допомогою фотоелектроколориметру КФК-2 вимірювали оптичну щільність розчинів через певні інтервали часу при температурі 20°C. При концентрації екстракту селери в кюветі більш, ніж 0,5%, реакція протікала миттєво. Спостереження динаміки протікання реакції проводили при концентраціях рослинних екстрактів 0,5; 0,25; 0,1; 0,05; 0,01 та 0,005%.

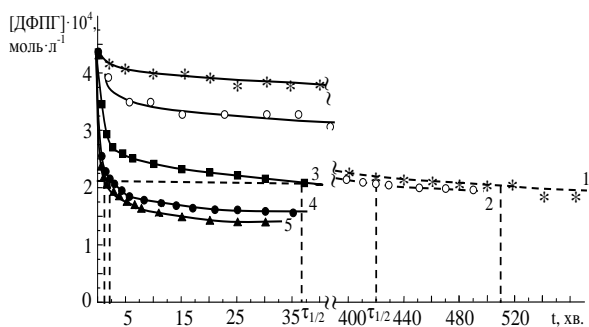


Рис. 1 – Кінетичні криві витрачання ДФПГ в реакції з екстрактом селери різних концентрацій (мас. %): 1 – 0,01; 2 – 0,05; 3 – 0,1; 4 – 0,25; 5 – 0,5. $[ДФПГ] = 4,31 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹.

Звертає на себе увагу вид кінетичних кривих (рис. 1) витрачання ДФПГ в реакції з етаноловими розчинами екстракту селери різної концентрації: спочатку спостерігається різке зменшення концентрації ДФПГ, а потім вона істотно не міняється і залишається практично постійною. Це, ймовірно, пов'язано з тим, що в екстракті міститься суміш речовин з різною реакційною здатністю по відношенню до ДФПГ, які витрачаються послідовно: спочатку активніші речовини, що мають рухомий атом водню, а потім речовини з меншою реакційною здатністю.

Кількісна оцінка АОА дозволяє зробити порівняльний аналіз різних антиоксидантів. Що стосується екстракту кореня селери, то порівнювати його АОА доречно не з антиоксидантами в рафінованому виді (вітамінами А, Е, кверцетином, унітіолом та ін.), а з екстрактами рослин, АОА яких вже доведено іншими авторами [21, 22].

Для отримання порівняльних даних в однакових умовах було отримано екстракти кореня селери, листя стевії і бульб топінамбура. Листя стевії та бульби топінамбура є цінною сировиною для отримання таких ефективних природних антиоксидантів, як кверцетин, кверцетрин, рутин, гесперидин, кемпферол, метилизофлавонол, каваова кислота, а їх екстракти характеризуються високими значеннями загального фенольного індексу і високою активністю в реакції зі стабільним радикалом ДФПГ.

Кількісну оцінку АОА етанолових розчинів цих екстрактів було проведено за допомогою вищевикладеної методики; дані експериментів було порівняно (рис. 2).

Серед етанолових екстрактів найбільш активні в реакції з ДФПГ екстракти бульб топінамбура і кореня селери. Можна припустити, що це обумовлено наявністю у їхньому складі значної кількості фенольних сполук,

зокрема, флавонолів, які володіють високими антиоксидантними властивостями. Етанол як екстрагент здатний екстрагувати ці сполуки з рослин. Менш реакційно-здатним по відношенню до ДФПГ є етаноловий екстракт листя стевії. Присутні в екстракті листя стевії феноли, мабуть, є менш активними в реакціях радикального окислення.

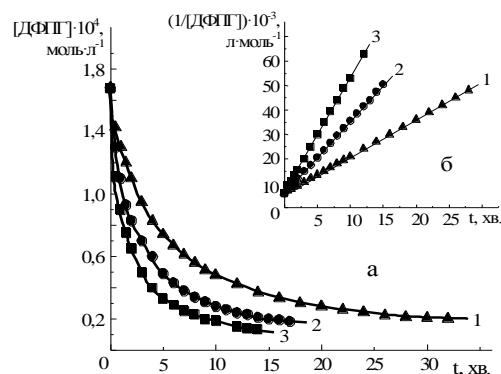


Рис. 2 – Кінетичні криві витрачання ДФПГ (а) і їх анаморфози (б) для реакції ДФПГ ($[ДФПГ] = 1,69 \cdot 10^{-4}$ г·л⁻¹) з екстрактами ($C = 1,0 \cdot 10^{-2}$ г·л⁻¹): 1- листя стевії; 2 – кореня селери; 3 – бульб топінамбура.

Дані анаморфоз кінетичних кривих свідчать, що ефективні константи швидкості реакцій, рівні тангенсу кута нахилу прямої до осі абсцис, складають: кореня селери – 1,24, бульб топінамбура – 1,73, листя стевії – 0,58, що дає нам можливість зробити висновок, що за кількісною оцінкою АОА кореня селери на 37% нижча, ніж бульб топінамбура, і на 56% вище, ніж листя стевії.

Оскільки ми плануємо використовувати заморожування як режим зберігання напівфабрикатів, є необхідним дослідження впливу низьких температур на антирадикальні властивості селери.

Для цього ми піддали заморожуванню екстракт селери і дослідили за вищевикладеною методикою АОА екстракту одразу після заморожування та після 1, 3 та 6 місяців зберігання в замороженому стані. Для кількісної оцінки АОА зручно використовувати такий параметр, як час ($\tau_{1/2}$), необхідний для зниження вихідної концентрації ДФПГ підчас його реакції з екстрактами на 50%.

Дані експерименту представлено на рис. 3.

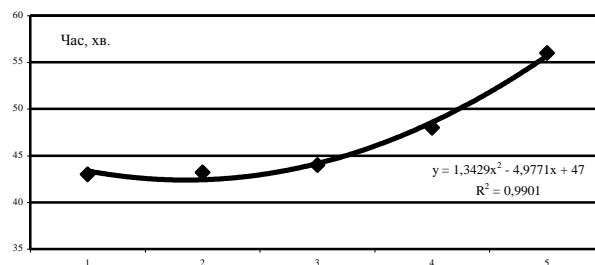


Рис. 3 – Залежність $\tau_{1/2}$ в реакції взаємодії ДФПГ з етаноловим екстрактом селери ($C = 0,02$ мас. %), $[ДФПГ] = 2,87 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹: 1 – контроль, 2 – після заморожування, 3 – після 1 місяця зберігання, 4 – після 3 місяців зберігання, 5 – після 6 місяців зберігання.

Як видно з рис. 3, заморожування не має впливу на АОА екстракту кореня селери, при зберіганні екстракту протягом трьох місяців АОА його залишається майже незмінною, зберігання ж понад чотирьох місяців сприяє зниженню АОА на 12%, понад шести – на 30%. Це дозволяє нам зробити висновок, що зберігання заморожених напівфабрикатів протягом трьох місяців дозволяє зберегти їхні функціональні (антиоксидантні) властивості.

Таким чином, можна прогнозувати, що селерова добавка в фаршевих виробках може сприяти стабілізації ліпідів м'яса та риби та буде мати безпосередній вплив на терміни зберігання цих продуктів.

Обговорення результатів

В роботі запропоновано використання колориметричного методу визначення АОА екстракту кореня селери (поДФПГ). Досліджено кінетику витрачання ДФПГ в реакції з екстрактом селери різних концентрацій

Серед досліджених етанолових екстрактів найбільш активні в реакції з ДФПГ екстракти бульб топінамбура і кореня селери. За кількісною оцінкою АОА кореня селери на 37% нижча, ніж бульб топінамбура, і на 56% вище, ніж листя стевії.

Заморожування не має впливу на АОА екстракту кореня селери, при зберіганні екстракту протягом трьох місяців АОА його залишається майже незмінною, зберігання ж понад чотирьох місяців сприяє зниженню АОА на 12%, понад шести – на 30%.

Висновки

Проведені дослідження довели, що селера є надзвичайно важливим джерелом природних антиоксидантних речовин, отже, важливою потенційною добавкою в технологіях фаршевої продукції.

Аналіз отриманих даних дозволяє говорити про здатність селери гальмувати окислювальні процеси у жиромісних фаршах підчас зберігання у замороженому вигляді.

У подальших дослідженнях планується дослідження динаміки зміни перекисного, кислотного та тіобарбітурового чисел січених мас з селерою протягом низькотемпературного зберігання як основних показників стабільності ліпідних фракцій м'ясних і рибних фаршів.

Список літератури

1. **Гончарук, Є. Г.** Вільнорадикальне окиснення як універсальний неспецифічний механізм пошкоджуючої дії шкідливих чинників довкілля (огляд літератури та власних досліджень) / **Є. Г. Гончарук, М. М. Коршун** // *Журнал Академії медичних наук України*. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 131-150.
2. **Kumar, Sh.** Free radicals and antioxidants: human and food system / **Sh. Kumar** // *Advances in applied science research*. – 2011. – 2 (1). – P. 129-135.

3. **Saha, D.** Xenobiotics, oxidative stress, free radicals vs. antioxidants: dance of death to heaven's life / **D. Saha, A. Tamrakar** // *Asian Journal Research. Pharm. Sci.* – 2011. – Vol. 1: Issue 2. – P. 36-38.
4. **Ramesh, C. K.** Concepts and trends of functional foods: a review / **C. K. Ramesh** // *International Journal of Pharmaceutical Research and Development*. – 2012. – Vol. 4, № 6. – P. 273-290.
5. **Vadnere, G. P.** In vitro free radical scavenging and antioxidant activity of Cicerarietinum L. (Fabaceae) / **G. P. Vadnere, A. V. Patil, S. S. Wagh, S. K. Jain** // *International Journal of PharmTech Research*. – 2012. – Vol. 4, No.1. – P. 343-350.
6. **Baananou, S.** Antiulcerogenic and antibacterial activities of Apium graveolens essential oil and extract / **S. Baananou, I. Bouffira, A. Mahmoud, K. Boukef, B. Marongiu, N. A. Boughtattas** // *Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters*. – 2013. – Vol. 27. – Issue 12. – P. 1075-1083. – doi: 10.1080/14786419.2012.717284.
7. **Yaser, A.** Chemical composition, phytochemical constituents and antioxidant activities of the seeds extract of Apiumgraveoleus L. from Yemen / **A. Yaser, A. Muneer, B. Abdelhafid, A. Fawzia** // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2014. – 5(1). – P. 1074-1087.
8. **Kooti, W.** The effects of hydro-alcoholic extract of celery on lipid profile of rats fed a high fat diet / **W. Kooti, M. Ghasemiboroon, M. Asadi-Samani, A. Ahangarpour, M. N. A. Abadi, R. Afrisham** // *Advances in Environmental Biology*. – 2014. – P. 325-329.
9. **Aqil, F.** Chemoprevention of rat mammary carcinogenesis by apiaceae spices / **F. Aqil, J. Jeyabalan, R. Munagala, S. Ravoori, M. V. Vadhanam, D. J. Schultz, R. C. Gupta** // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2017. – 18(2). – P. 425. – doi:10.3390/ijms18020425.
10. **Sorour, M. A.** Natural antioxidant changes in fresh and dried celery (Apium graveolens) // **M. A. Sorour, N. H. M. Hassanen, M. H. M. Ahmed** // *American Journal of Energy Engineering. Special Issue: Energy Conservation in Food Industry*. – 2015. – Vol. 3. – No. 2. – P. 12-16. – doi: 10.11648/j.ajee.s.2015030201.13].
11. **Бидарова, Ф. Н.** Экспресс-методы оценки антиокислительной и антирадикальной активности органических субстратов / **Ф. Н. Бидарова, Т. О. Хубаева, М. Т. Кисиева, И. В. Хубаева, Дз. В. Тавасиева**. – Владикавказ: СОГМА, 2014. – 32 с.
12. **Li, P.** In vitro and in vivo antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery / **P. Li, J. Jia, D. Zhang, J. Xie, X. Xu, D. Wei** // *Food & Function*. – 2014. – 5. – P. 50-56. – doi:10.1039/C3FO60273G.
13. **Середюк, К. М.** Дослідження антиоксидантної активності екстрактів лікарських рослин / **К. М. Середюк, Н. Є. Стадницька, О. С. Яремкевич, І. В. Павлюк, І. В. Дякон** // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія і технологія речовин та їх застосування*. – 2016. – № 789. – С. 228-232.
14. **Alsuhaibani, A. M. A.** Antioxidant activity of celery in vitro and vivo / **A. M. A. Alsuhaibani** // *Journal of American Science*. – 2013. – 9(6). – P. 459-465.
15. **Kolarovic, J.** Antioxidant activities of celery and parsley juices in rats treated with doxorubicin / **J. Kolarovic, M. Popovic, J. Zlinska, S. Trivic, M. Vojnovic** // *Molecules*. – 2010. – 15. – P. 6193-6204. – doi:10.3390/molecules15096193.
16. **De, B.** A study on antioxidant potential of a traditional indian spice mix / **B. De, S. Chatterjee** // *International*

- Journal of Food and Nutritional Sciences*. – 2014. – Vol. 3. – Iss. 1. – P.14-20.
17. **Слащева, А. В.** Технологія м'ясних і рибних січених напівфабрикатів з топінамбуrom : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / **Слащева А. В.** – Х., 2006. – 226 с.
 18. **Yaо, Y.** Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars / **Y. Yao, W. Sang, M. Zhou, G. Ren** // *Journal of Food Science*. – 2010. – 75(1). – P. 9-13. – doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01392.x.
 19. **Сирчін, С. О.** Оцінка антиоксидантної активності деяких дикорослих макроміцетів / **С. О. Сирчін, Г. А. Гродзинська** // *Український ботанічний журнал*. – 2015. – 72(3). – С. 257-260. – doi.org/10.15407/ukrbotj72.03.257
 20. **Kinjo, J.** Activity-guided fractionation of green tea extract with antiproliferative activity against human stomach cancer cells / **J. Kinjo, T. Nagao, T. Tanaka, G. Nonaka, M. Okawa, T. Nohara, H. Okabe** // *Biol. Pharm. Bull. (Pharmaceutical Society of Japan)*. – 2002. – V. 25. – №9. – P. 1238-1240.
 21. **Гніцевич, В. А.** Кількісна оцінка антиоксидантної активності екстракту топінамбура / **В. А. Гніцевич, А. В. Слащева** // *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. – 2004. – С.84-89.
 22. **Лагута, И. В.** Анализ антиоксидантных свойств экстрактов растений / **И. В. Лагута, О. Н. Ставинская, О. И. Дзюба, Р. В. Иванников** // *Dopov. NAN Ukraine*. – 2015. – №5. – С.130-137.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Goncharuk, E. G., Korshun, M. M.** Free-radical oxidation as a universal non-specific mechanism of the damaging effect of harmful environmental factors (literature review and own research), *Zhurnal Akademiyi medichnih nauk Ukrayini*, 2014, V. 10, № 1, 131-150.
 2. **Kumar, Sh.** Free radicals and antioxidants: human and food system, *Advances in applied science research*, 2011, 2 (1), 129-135.
 3. **Saha, D., Tamrakar, A.** Xenobiotics, oxidative stress, free radicals vs. antioxidants: dance of death to heaven's life, *Asian Journal Research. Pharm. Sci.*, 2011, Vol. 1 (2), 36-38.
 4. **Ramesh, C. K.** Concepts and trends of functional foods: a review, *International Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2012, 4 (6), 273-290.
 5. **Vadnere, G. P., Patil, A. V., Wagh, S. S., Jain, S. K.** In vitro free radical scavenging and antioxidant activity of *Cicerarietinum L.* (Fabaceae), *International Journal of PharmTech Research*, 2012, 4 (1), 343-350.
 6. **Baananou, S., Bouftira, I., Mahmoud, A., Boukef, K., Marongiu, B., Boughattas, N. A.** Antiulcerogenic and antibacterial activities of *Apium graveolens* essential oil and extract, *Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters*, 2013, 27 (12), 1075-1083. – doi: 10.1080/14786419.2012.717284.
 7. **Yaser, A., Muneer, A., Abdelhafid, B., Fawzia, A.** Chemical composition, phytochemical constituents and antioxidant activities of the seeds extract of *Apiumgraveoleus L.* from Yemen, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2014, 5(1), 1074-1087.
 8. **Kooti, W., Ghasemiboroon, M., Asadi-Samani, M., Ahangarpour, A., Abadi, M. N. A., Afrisham, R.** The effects of hydro-alcoholic extract of celery on lipid profile of rats fed a high fat diet, *Advances in Environmental Biology*, 2014, 325-329.
 9. **Aqil, F., Jeyabalan, J., Munagala, R., Ravoori, S., Vadhanam, M. V., Schultz, D. J., Gupta, R. C.** Chemoprevention of rat mammary carcinogenesis by apiaceae spices, *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(2), 425, doi:10.3390/ijms18020425.
 10. **Sorour, M. A., Hassanen, N. H. M., Ahmed, M. H. M.** Natural antioxidant changes in fresh and dried celery (*Apium graveolens*), *American Journal of Energy Engineering. Special Issue: Energy Conservation in Food Industry*, 2015, 3 (2), 12-16, doi: 10.11648/j.ajee.s.2015030201.13].
 11. **Bidarova, F. N., Hubaeva, T. O., Kisieva, M. T., Hubaeva, I. V., Tavasieva, Dz. V.** Ekspres-metodyi otsenki antioksidatnoy i antiradikalnoy aktivnosti organicheskikh substratov [Express methods of evaluation of antioxidant and antiradical activity of organic substrates]. Vladikavkaz, SOGMA, 2014. 32 c.
 12. **Li, P., Jia, J., Zhang, D., Xie, J., Xu, X., Wei, D.** In vitro and in vivo antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery, *Food & Function*, 2014, 5, 50-56, doi:10.1039/C3FO60273G.
 13. **Seredyuk, K. M., Stadnitska, N. E., Yaremkevich, O. S., Pavlyuk, I. V., Dyakon, I. V.** Doslidzhennya antioksidantnoyi aktivnosti ekstraktiv liskarskih roslin [The study of antioxidant activity of medicinal plant extracts], *Visnik Natsionalnogo universitetu "Lvivska politehnika". Himiya i tehnologiya rechovin ta yih zastosuvannya [Herald of National University "Lviv Polytechnic". Chemistry and technology of substances and their use]*, 2016, 789, 228-232.
 14. **Alsuhaibani, A. M. A.** Antioxidant activity of celery in vitro and vivo, *Journal of American Science*, 2013, 9(6), 459-465.
 15. **Kolarovic, J.** Antioxidant activities of celery and parsley juices in rats treated with doxorubicin, *Molecules*, 2010, 15, 6193-6204, doi:10.3390/molecules15096193
 16. **De, B., Chatterjee, S.** A study on antioxidant potential of a traditional indian spice mix, *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 2014, 3 (1), 14-20.
 17. **Slasheva, A. V.** Tehnologiya m'iasnih i ribnih slchenih napl'vfabrikatlv z topinamburum [Technology of meat and fish chopped semi-finished products with Jerusalem artichoke]. Kharkiv, Kharkiv state university of food technology and trade, 2006, 226 c.
 18. **Yaо, Y., Sang, W., Zhou, M., Ren, G.** Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars, *Journal of Food Science*, 2010, 75(1), 9-13, doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01392.x.
 19. **Sirchin, S. O., Grodzinska, G. A.** Otsinka antioksidantnoyi aktivnosti deyakih dikorosliih makromitsetiv [Evaluation of antioxidant activity of some wild macromates], *Ukrayinskiy botanichniy zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 2015, 72(3), 257-260, doi.org/10.15407/ukrbotj72.03.257
 20. **Kinjo, J., Nagao, T., Tanaka, T., Nonaka, G., Okawa, M., Nohara, T., Okabe, H.** Activity-guided fractionation of green tea extract with antiproliferative activity against human stomach cancer cells, *Biol. Pharm. Bull. (Pharmaceutical Society of Japan)*, 2002, 25 (9), 1238-1240.
 21. **Gnitsevich, V. A., Slasheva, A. V.** Kilkisna otsinka antioksidantnoyi aktivnosti ekstraktu topinambura [Quantitative assessment of antioxidant activity of the extract of Jerusalem artichoke], *Visnik Harkivskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu silskogo gospodarstva im. P. Vasilenka [Bulletin of Kharkov state*

technical University of agriculture named after P. Vasilenko, 2004, 84-89.

ekstraktov rasteniy [Analysis of antioxidant properties of plant extracts], *Dopovidi NAN Ukraine*, 2015, **5**, 130-137.

22. **Laguta, I. V., Stavinskaya, O. N., Dzyuba, O. I., Ivannikov, R. V.** Analiz antioksidantnyih svoystv

Сведения об авторах (About authors)

Слащева Аліна Вячеславівна – кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи; м. Кривий Ріг, Україна; e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

Alina Slashcheva – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of restaurant business technology and hotel and catering, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine; e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Слащева, А. В. Дослідження антиоксидантної активності екстракту кореня селери / **А. В. Слащева** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 182-187. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.29.

Please cite this article as:

Slashcheva, A. The study of antioxidant activity of the celery root extract. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 182–187, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.29.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Слащева, А. В. Исследование антиоксидантной активности экстракта корня сельдерея / **А. В. Слащева** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». - 2017. - № 23(1245). - С. 182-187. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.29.

АННОТАЦИЯ В работе доказана перспективность использования добавки на основе корня сельдерея в технологиях замороженных мясных и рыбных рубленых изделий. Исследована кинетика расщепления 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) в реакции с экстрактом сельдерея различных концентраций колориметрическим методом. Проведено количественную оценку антиоксидантной активности корня сельдерея в сравнении с ранее изученными сильными растительными антиоксидантами (клубнями топинамбура и листьями стевии) и установлено, что антиоксидантные свойства этих растений сопоставимы. Установлено, что при замораживании и хранении экстракта сельдерея в течение трех месяцев его антиоксидантная активность не изменяется, что свидетельствует о потенциальной способности корня сельдерея тормозить окислительные процессы в фарше на основе мяса и рыбы во время хранения в замороженном виде в течение трех месяцев.

Ключевые слова: антиоксидант; антиоксидантная активность; корень сельдерея; рубленые мясные и рыбные изделия; колориметрический метод.

Поступила (received) 31.05.2017

УДК 621.314

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.30

АНАЛІЗ СПЕКТРУ НАПРУГИ З ДВОПОЛЯРНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Є. В. ВЕРБИЦЬКИЙ

*Кафедра промислової електроніки, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, УКРАЇНА
email: verbitskiy@bigmir.net*

АНОТАЦІЯ Показано негативний вплив низьких гармонік в модульованій змінній напрузі інверторів з гальванічною розв'язкою на масу їх трансформаторів. Описано спосіб формування біполярної модульованої напруги, що суттєво зменшує вміст низьких гармонік. Запропоновано використовувати ряд Фур'є двох змінних для аналізу спектра біполярної модульованої напруги, що дозволяє описати спектральну характеристику напруги у компактній формі для довільного значення параметра кратності модуляції. Описано два різних випадки формування біполярної напруги залежно від значення параметра кратності модуляції. Проаналізовано спектр напруги з біполярною модуляцією. Показано, що основна частина енергії напруги з біполярною модуляцією передається гармоніками навколо частоти, що вдвічі менша від частоти несучої функції.

Ключові слова: двополярна напруга; інвертор з гальванічною розв'язкою; ряд Фур'є двох змінних; спектральна характеристика.

A BIPOLAR VOLTAGE MODULATION SPECTRUM ANALYSIS

I. V. VERBYTSKYI

The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Features of power grid based on renewable energy sources are described. The necessity of isolated power converters in the power grid is shown. Low harmonics negative impact in modulated AC voltage based on unipolar pulse width modulation for transformer weight of isolated invertors is underlined. An approach of bipolar voltage generation with inverting every second modulation pulse that significantly decreases the low harmonics amplitude and allows to decrease the transformer weight in several times is described. A double Fourier series implementation for bipolar voltage analysis that allows expressing a signal spectrum characteristic in compact form for any multiplicity parameter value is proposed. Representation of modulated signal based on two variables of carrier and modulation functions is considered. Two different cases of modulated voltage generation depending on multiplicity parameter value are described. Bipolar voltage signal representation based on the sum of two unipolar signals with two times lower carrier function frequency is proposed. Bipolar and unipolar modulated signals spectrum components of double Fourier series are calculated. Spectrum characteristic of bipolar voltage modulation is analyzed. Transmission of the significant energy amount of bipolar voltage by harmonics with frequencies near two times lower value than carrier function frequency is proved. A case with multiplicity parameter which is multiplied to number four is noted as more desirable due to decreasing the first harmonic value. A proposition about subsequent improvements of bipolar voltage modulation is given.

Keywords: bipolar voltage modulation; isolated inverter; double Fourier series; spectrum characteristic.

Вступ

Інвертори напруги часто використовуються для формування змінної напруги мережі від автономних джерел живлення, зокрема відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) [1,2]. Формування вихідної напруги інверторів здійснюється імпульсними методами, найчастіше широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). За необхідності забезпечення електричної ізоляції на виході встановлюються трансформатори. За умови використання класичні модифікації ШІМ, трансформатор інвертора перемагнічується з частотою мережі, що зумовлює його великі габарити [3].

Для зменшення габаритів трансформатора використовують модифікації ШІМ з двополярною модуляцією, за умови використання якої, полярність

кожного другого імпульсу модульованої напруги інвертується, що дозволяє перемагнічувати трансформатор з частотою, вдвічі меншою ніж частота несучої функції ШІМ і зменшити габарити трансформатора мінімум в декілька разів. Тому актуальною задачею є аналіз спектру напруги інвертора, яка формується на основі розглянутого методу модуляції. За умови використання ряду Фур'є однієї змінної спектр модульованої напруги можливо розрахувати лише у чисельному виді, що ускладнює аналіз і збільшує обсяг розрахунків через необхідність сумування спектру кожного періода несучої функції. Використання ряду Фур'є двох змінних дозволяє описати частотну характеристику модульованої вихідної напруги у згорнутій формі, що спрощує подальший аналіз [4-8].

Ціль роботи

Метою статті є розробка методики розрахунку спектру напруги з двополярною модуляцією на основі ряду Фур'є двох змінних та аналіз спектру отриманої напруги зазначеної модифікації ШІМ залежно від значення параметра кратності модуляції.

Основний матеріал

За умови використання ряду Фур'є двох змінних одна змінна, наприклад x пропорційна частоті ω несучої функції, $x = \omega \cdot t$, інша змінна, наприклад y – частоті Ω моделюючої функції $y = \Omega \cdot t$. Для ШІМ сигналу відношення між значеннями параметрів x та y дорівнює значенню параметра модуляції $x / y = P$.

Коефіцієнти ряду Фур'є двох змінних C_{mn} , які є спектральними складовими сигналу з кратністю m відносно частоти несучої функції і кратністю n відносно частоти модулюючої функції, розраховують за формулою:

$$C_{mn} = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^{2\pi x_2} \int_{x_1} f(x, y) e^{j(mx+ny)} dx dy, \quad (1)$$

де $f(x, y)$ – функція, спектр якої розраховується.

Застосування ряду Фур'є двох змінних дає можливість розрахувати спектральну характеристику модульованого сигналу в аналітичній формі. Формула для розрахунку амплітуди гармоніки k вихідної напруги C_k на основі ряду Фур'є двох змінних є такою [9]:

$$C_k = \sum_{m=0}^{\infty} C_{m(k-mP)}. \quad (2)$$

Розглянемо випадок однополярної модуляції типу ШІМ-2, який переважно використовують для формування вихідної напруги інверторів [9]. Спектральні складові C_{mn} для цього роду модуляції з синусоїдальною модулюючою функцією розраховують за формулою:

$$C_{mn} = \frac{H}{2\pi^2} \int_0^{\pi(1+\mu\sin(y))} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))}^{\pi(1+\mu\sin(y))} e^{j(mx+ny)} dx dy - \int_0^{\pi(1-\mu\sin(y))} \int_{\pi(1+\mu\sin(y))}^{\pi(1-\mu\sin(y))} e^{j(mx+ny)} dx dy = \frac{H(-1)^m}{2jm\pi^2} \left(\int_0^{\pi} e^{j(m\mu\sin(y)+ny)} - e^{j(-m\mu\sin(y)+ny)} dy - \int_{\pi}^{2\pi} e^{j(-m\mu\sin(y)+ny)} - e^{j(m\mu\sin(y)+ny)} dy \right), \quad (3)$$

де H – амплітуда модульованої напруги, μ – глибина модуляції напруги.

З урахуванням умови непарності модулюючої функції ($\sin(y) = -\sin(y+\pi)$) вираз (3) можна звести до виду:

$$C_{mn} = \frac{H(-1)^m}{2jm\pi^2} \int_0^{\pi} e^{j(m\mu\sin(y)+ny)} - e^{j(-m\mu\sin(y)+ny)} dy - \int_0^{\pi} e^{j(m\mu\sin(y)+n(y+\pi))} - e^{j(-m\mu\sin(y)+n(y+\pi))} dy = \frac{H(-1)^m}{2jm\pi^2} \int_0^{\pi} (e^{j(m\mu\sin(y)+ny)} - e^{j(-m\mu\sin(y)+ny)})(1 - (-1)^n) dy = \frac{H(-1)^m}{m\pi^2} \int_0^{\pi} \sin(m\mu\sin(y)) e^{jny} (1 - (-1)^n) dy. \quad (4)$$

Для парних значень n значення спектральної складової дорівнює нулю, $C_{m(2n)} = 0$, а для непарних:

$$C_{m(2n-1)} = \frac{2H(-1)^m}{m\pi} J_{2n-1}(m\mu\pi), m > 0, \quad (5)$$

де $J_n(y)$ – функція Бесселя першого роду [10,11].

Для випадку $m = 0$ в формулі (5) з'являється невизначеність $0/0$, після усунення якої отримаємо

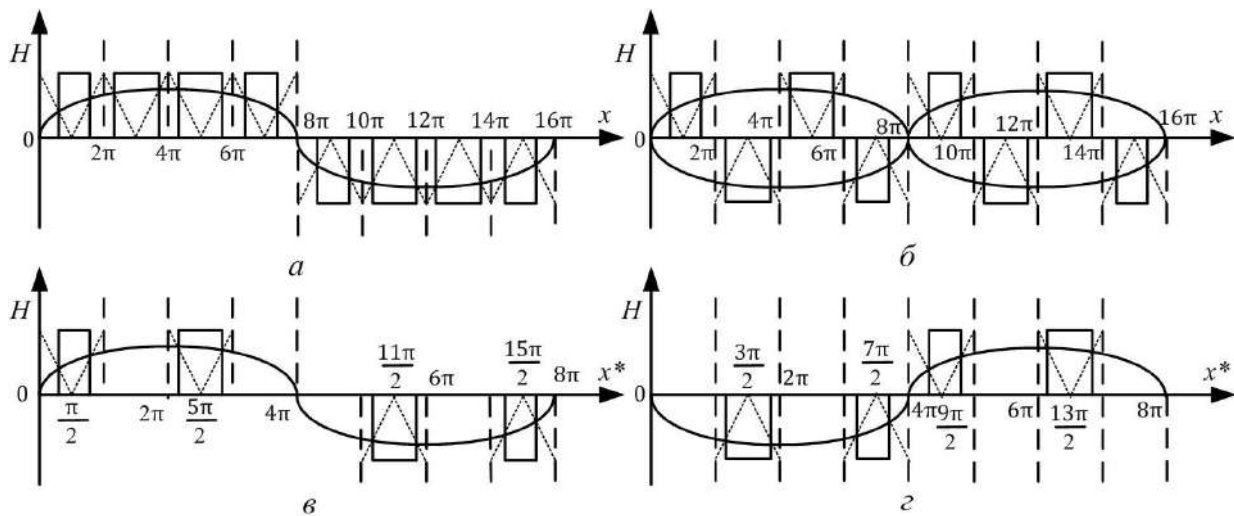
$$C_{01} = \mu H; C_{0n} = 0, m = 0. \quad (6)$$

Спектр напруги з інвертуванням полярності кожного другого імпульсу розраховується на основі виразів (5)-(6) з сувом кожного другого імпульсу на кут π по модулюючій функції y і на кут $P \cdot \pi$ по несучій функції x , рис. 1 а, 2 а. Для окремих випадків модуляції, коли параметр P кратний двом, $P = 2k$, і кратний чотирьом, $P = 4k$ аналітичні вирази спектральних складових відрізняються між собою, тому вони аналізуються окремо.

Випадок $P = 4k$

Діаграми модульованої напруги для випадку $P = 8$ показані на рис. 1. З модульованої напруги за законом ШІМ-2, наведеної на рис. 1 а, формується двополярна напруга шляхом інвертування полярності кожного другого імпульсу напруги, рис. 1 б.

Для розрахунку спектру двополярної напруги вона розкладається на два модульованих сигнали, наведених на рис. 1 в і рис. 1 г. Ці сигнали мають вдвічі меншу кратність модуляції $P^* = P / 2 = 4$ при такій же залежності модулюючої функції $y^* = y$. Тому значення змінної x^* зменшується в два рази, $x^* = P^* y^* = P y / 2$, також зменшується значення параметра глибини модуляції $\mu^* = \mu / 2$. Розглянемо особливості модуляції сигналів, наведених на рис. 1 в і рис. 1 г.



а) уніполярний модульований сигнал; б) біполярний модульований сигнал; в) перший модульований сигнал; г) другий модульований сигнал
Рис. 1 – Ілюстрація формування модульованої напруги для кратності модуляції $P = 4k$

Сигнал рис. 1 в на першій половині періода, $y^* = 0..π$, модулюється відносно точок $x^* = π/2 + 2πm$, на другій половині періода, $y^* = π..2π - x^* = 3π/2 + 2πm$. Формули для розрахунку спектральних складових C_{mn1} є такими:

$$C_{mn1} = \frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{j(mx+ny)} dx dy - \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{2\pi} \int_{\pi(3-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{j(mx+ny)} dx dy \right). \quad (7)$$

Після нескладних перетворень формула (7) матиме вид:

$$C_{mn1} = \frac{H(j)^m}{\pi^2 m} \left((1-(-1)^{m+n}) \int_0^{\pi} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) e^{jny} dy \right). \quad (8)$$

У формулі (8) є невизначеність при $m = 0$, для її усунення розрахуємо інтеграл (7) для цього випадку окремо:

$$C_{0n1} = \frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{jny} dx dy - \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{2\pi} \int_{\pi(3-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{jny} dx dy \right) = \frac{\mu H}{2\pi} \left((1-(-1)^n) \int_0^{\pi} e^{jny} \mu\sin(y) dy \right). \quad (9)$$

Відмінність модульованого сигналу зображеного на рис. 1 г у порівнянні з рис. 1 в полягає у тому, що на першій половині періода, $y^* = 0..π$, сигнал модулюється відносно точок $x^* = 3π/2 + 2πm$, на другій половині періода, $y^* = π..2π - x^* = π/2 + 2πm$. Формули для розрахунку спектральних складових C_{mn2} є такими:

$$C_{mn2} = -\frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} \int_{\pi(3-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{j(mx+ny)} dx dy - \int_{\pi(1+\mu\sin(y))/2}^{2\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{j(mx+ny)} dx dy \right) = -\frac{H(j)^m}{\pi^2 m} \left(((-1)^m - (-1)^n) \int_0^{\pi} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) e^{jny} dy \right); \quad (10)$$

$$C_{0n2} = -\frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} \int_{\pi(3-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{jny} dx dy - \int_{\pi(1+\mu\sin(y))/2}^{2\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi} e^{jny} dx dy \right) = -\frac{\mu H}{2\pi} \left((1-(-1)^n) \int_0^{\pi} e^{jny} \mu\sin(y) dy \right). \quad (11)$$

Спектр напруги з двополярною модуляцією є сумою спектрів двох сигналів:

$$C_{mn} = C_{mn1} + C_{mn2} = \frac{H(j)^m}{\pi^2 m} (1-(-1)^{m+n} - (-1)^m + (-1)^n) \times \int_0^{\pi} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) e^{jny} dy; \quad (12)$$

$$C_{0n} = C_{0n1} + C_{0n2} = 0. \quad (13)$$

Вираз (12) не дорівнює нулю за умови парних n , $n = 2k$ і непарних m , $m = 2k + 1$:

$$C_{(2m+1)(2n)} = \frac{4H(j)^{2m+1}}{\pi^2(2m-1)} \left(\int_0^{\pi} \sin((2m-1)\pi\mu\sin(y)/2) e^{j2ny} dy \right). \quad (14)$$

На основі формул (2) і (14) розраховується спектр сигналу. Оскільки спектральні компоненти C_{mn} мають парні індекси $2n$, що спектр сигналу має лише парні гармоніки.

Випадок $P = 2k$

Діаграми модульованої напруги для випадку $P = 10$ показані на рис. 2. Основна відмінність

модуляції сигналу у порівнянні з попереднім випадком $P = 4k$ полягає у непарному значенні параметра кратності модуляції $P^* = P / 2 = 5$ сигналів, зображених на рис. 2 в і рис. 2 г. Сигнал, показаний на рис. 2 в, модулюється відносно точок $x^* = \pi/2 + 2\pi m$, тому він має кратність модуляції $P_1^* = [P/2] + 1 = 6$. Сигнал, показаний на рис. 2 г, модулюється відносно точок $x^* = 3\pi/2 + 2\pi m$, тому для нього параметр кратності модуляції має значення $P_2^* = [P/2]-1 = 4$.

Перший модульований сигнал, що показаний на рис. 2. в, розраховується за формулою:

$$C_{mn3} = \frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} e^{j(mx+ny)} dx dy - e^{j\pi n + j\pi m P} \int_0^{\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} e^{j(mx+ny)} dx dy \right) = \frac{H(j)^m}{\pi^2 m} \left((1 - (-1)^{n+m}) \int_0^{\pi} e^{jny} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) dy \right); \quad (15)$$

$$C_{0n3} = \frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} e^{jny} dx dy - e^{j\pi n} \int_0^{\pi} \int_{\pi(1-\mu\sin(y))/2}^{\pi(1+\mu\sin(y))/2} e^{jny} dx dy \right) = \frac{H}{2\pi^2} \left((1 - (-1)^n) \int_0^{\pi} e^{jny} \mu\sin(y) dy \right). \quad (16)$$

Відповідно, другий модульований сигнал, зображений на рис. 2 г, розраховується за такою формулою:

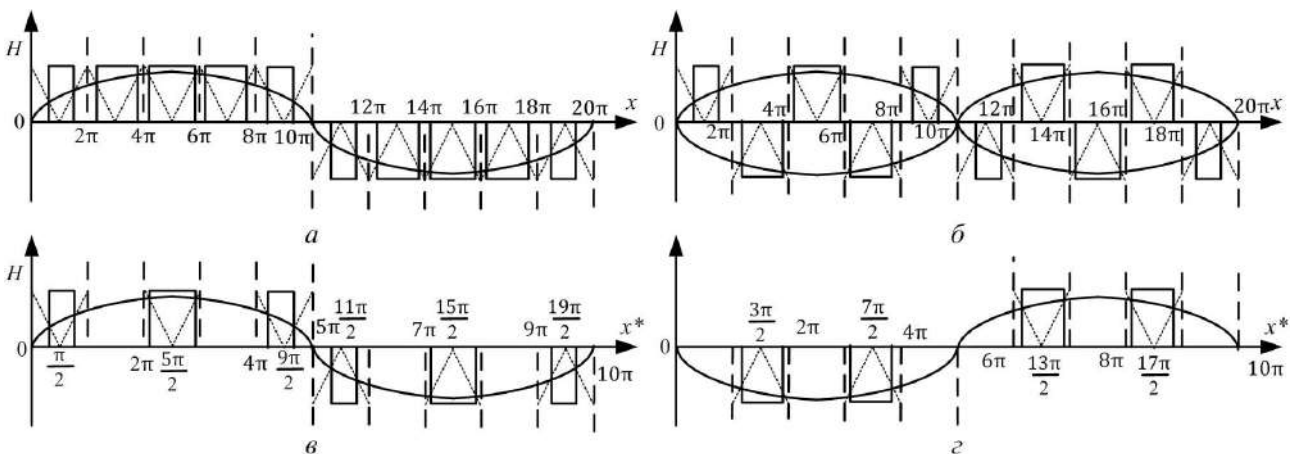
$$C_{mn4} = -\frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi} \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} e^{j(mx+ny)} dx dy - e^{j\pi n + j\pi m P} \int_0^{\pi} \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} e^{j(mx+ny)} dx dy \right) = -\frac{H(-1)^m (j)^m}{\pi^2 j m} (1 - (-1)^{n+m}) \times \int_0^{\pi} e^{jny} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) dy; \quad (17)$$

$$C_{0n4} = -\frac{H}{2\pi^2} \left(\int_0^{\pi} \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} e^{jny} dx dy - e^{j\pi n} \int_0^{\pi} \int_{\pi(3+\mu\sin(y))/2}^{\pi(3+\mu\sin(y))/2} e^{jny} dx dy \right) = -\frac{H}{2\pi^2} (1 - (-1)^n) \int_0^{\pi} e^{jny} \mu\sin(y) dy. \quad (18)$$

Спектральні компоненти C_{mn} сигналу з біполярною модуляцією, показаному на рис. 2 б є сумою спектральних компонент C_{mn3} і C_{mn4} двох проаналізованих однополярних модульованих сигналів:

$$C_{mn} = C_{mn3} + C_{mn4} = \frac{H(j)^m}{\pi^2 m} (1 - (-1)^{m+n} - (-1)^m (1 - (-1)^{m+n})) \times \int_0^{\pi} \sin(m\pi\mu\sin(y)/2) e^{jny} dy; \quad (19)$$

$$C_{0n} = C_{0n3} + C_{0n4} = 0. \quad (20)$$



а) уніполярний модульований сигнал; б) біполярний модульований сигнал; в) перший модульований сигнал; г) другий модульований сигнал

Рис. 2 – Ілюстрація формування модульованої напруги для кратності модуляції $P = 2k$

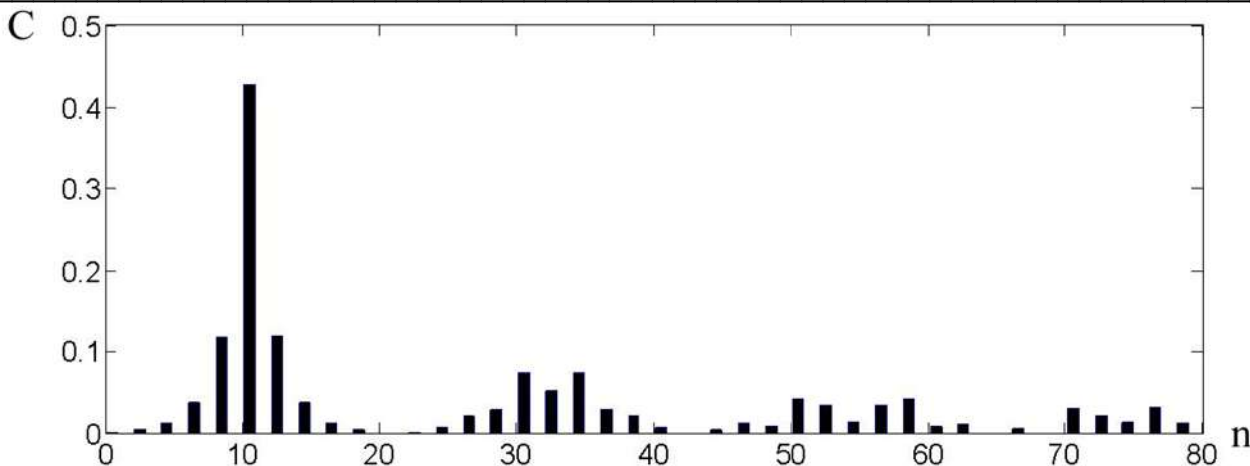


Рис. 3 – Спектр біполярної напруги для випадку $P = 22$

Аналогічно до попереднього випадку ненульові значення спектральних компонент при $n = 2k$ і $m = 2k+1$ розраховуються за формулою (14):

$$C_{(2m+1)(2n)} = \frac{4H(j)^{2m+1}}{\pi^2(2m-1)} \left(\int_0^\pi \sin((2m-1)\pi\mu \sin(y)/2) e^{j2my} dy \right) = \frac{8H(j)^{2m+1}}{\pi^2(2m-1)} \sum_{k=1}^\infty J_{2k-1}((2m-1)\pi\mu/2) \times \left(\frac{1}{(2k-1-2n)} + \frac{1}{(2k-1+2n)} \right). \quad (21)$$

Розрахунок спектру

Спектр біполярної напруги, розрахованої за формулою (21) для випадків, $P = 2k$ і $P = 4k$ має аналогічну структуру, зазначену для випадку $P = 22$ і $\mu = 0.5$, що показаний на рис. 3.

Енергія сигналу, сконцентрована у гармоніці з номером $P/2 = 11$ відповідно до спектральної характеристики, показаної на рис. 3. Амплітуди $\Delta n \approx 8$ бічних гармонік мають значення, порівнянні з основною гармонікою з номером 11. Ширина спектра поблизу основної гармоніки; $\Delta f = (2\Delta n + 1)\Omega = 17\Omega$. Модуляція з параметром кратності модуляції $P = 4k$ є ефективнішою, оскільки модульований сигнал має однакову кількість позитивних і негативних імпульсів на половині періода, що зменшує значення першої гармоніки в спектрі. Біполярна модуляція дозволяє змістити передачу енергії в область високих частот і зменшує вагу трансформатора для обох $P = 2k$ і $P = 4k$ випадків. Подальше поліпшення спектру модульованої напруги можливе за умови усунення низькочастотних бічних гармонік.

Висновки

У статті аналізується спектр напруги з біполярною модуляцією на основі ряду Фур'є двох змінних. Показано можливість передачі енергії на частоті, яка дорівнює половині частоти несучої функції. Таким чином, цей тип модуляції дозволяє зменшити вагу трансформатора. Проте, через значний

вміст низькочастотних гармонік вказана модуляція вимагає подальшого вдосконалення.

Список літератури

- Zhong, Q.** Control of power inverters in renewable energy sources and Smart grid / **Q. Zhong, T. Hornik** // *John Wiley & Sons Ltd*, 2013, 411 p.
- Zhiliang, Z.** An Optimal Control Method for Photovoltaic Grid-Tied-Interleaved Flyback Microinverters to Achieve High Efficiency in Wide Load Range / **Z. Zhiliang, X. F. He, L. Yan** // *IEEE Trans. Power Electron.* – 2013. – 28. – 11. – P. 5074-5087. – doi: 10.1109/TPEL.2013.2245919.
- Koutroulis, E.** A bidirectional, sinusoidal, high-frequency inverter design / **E. Koutroulis, J. Chatzakis, K. Kalaitzakis, N. Voulgaris** // *Electric Power Applications, IEE Proceedings.* – 2001. – 148. – 4. – P. 315-321. – doi: 10.1049/ip-epa:20010351.
- Holmes, D. Grahame.** Pulse width modulation for power converters. Principles and practice / **D. Grahame Holmes, Thomas A. Lipo.** // *IEEE Press Series on Power Engineering.* – 2003. – P. 724. – doi: 10.1109/9780470546284.
- Вербицкий, Е. В.** Использование двойного ряда Фурье для расчета спектра модулированных сигналов / **Е. В. Вербицкий** // *Технічна електродинаміка.* – 2014. – № 4. – С. 96-98.
- Mihret, M.** Optimal Synthesis of Output Voltage Waveforms for Multilevel Cascaded Single Phase DC-AC Converters / **M. Mihret, C. Odeh, N. V. Angirekula, O. Ojo** // *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE.* – 2013. – P. 2690 – 2697. – doi:10.1109/APEC.2013.6520676.
- Lau, W. H.** Compact Analytical Solutions for Determining the Spectral Characteristics of Multicarrier-Based Multilevel PWM / **W. H. Lau, Bin Zhou, S. Henry, H. Chung** // *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers.* – 2004. – 51. – 8. – P. 157-158. – doi: 10.1109/TCSI.2004.832790.
- Vasca, F.** Dynamics and Control of Switched Electronic Systems: Advanced Perspectives for Modeling, Simulation and Control of Power Converters (Advances in Industrial Control) / **F. Vasca, L. Iannelli** // *Springer-Verlag London*, 2012. – 493 p.
- Вербицкий, С. В.** Особенности расчета спектра напруги, модульованої по закону ШІМ І і ІІ на основі подвійного ряду Фур'є / **С. В. Вербицкий** // *Електроніка і зв'язок.* – 2015. – № 5. – С. 36-45.

- 10 **Watson, G. N.** A Treatise on the Theory of Bessel Functions (2nd.ed.) // **G. N. Watson** // Cambridge University Press, 1966, 798 p.
- 11 **Abramovitz, M.** Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables / **M. Abramovitz, I. A. Stigun** // *Aplied mathematics series* – 55, 1964.
- 1 **Zhong, Q., Hornik, T.** Control of power inverters in renewable energy sources and Smart grid. *John Wiley & Sons Ltd*, 2013, 411 p.
- 2 **Zhiliang, Z., He, X.F., Yan, L.** An Optimal Control Method for Photovoltaic Grid - Tied - Interleaved Flyback Microinverters to Achieve High Efficiency in Wide Load Range. *IEEE Trans. Power Electron.*, 2013, **28**, 11, 5074-5087, doi: 10.1109/TPEL.2013.2245919.
- 3 **Koutroulis, E., Chatzakis, J., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N.** A bidirectional, sinusoidal, high-frequency inverter design. *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, 2001, **148**, 4, 315-321, doi: 10.1049/ip-epa:20010351.
- 4 **Holmes, D. Grahame, Lipo, Thomas, A.** Pulse width modulation for power converters. Principles and practice. *IEEE Press Series on Power Engineering*, 2003, 724 p, doi: 10.1109/9780470546284.
- 5 **Verbytskyi, Ye. V.** Ispol'zovaniye dvoynogo ryada Fur'ye dlya rascheta spektra modulirovannykh signalov [Double Fourier series using for calculating modulating signals spectrum]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamic]*, 2014, № 4, 96-98.
- 6 **Mihret, M., Odeh, C., Angirekula, N. V, Ojo, O.** Optimal Synthesis of Output Voltage Waveforms for Multilevel Cascaded Single Phase DC-AC Converters. *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE*, 2013, 2690 – 2697, doi:10.1109/APEC.2013.6520676.
- 7 **Lau, W. H., Zhou, Bin, Henry, S., Chung, H.** Compact Analytical Solutions for Determining the Spectral Characteristics of Multicarrier-Based Multilevel PWM. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2004, **51**, 8, 157-158, doi: 10.1109/TCSI.2004.832790.
- 8 **Vasca, F., Iannelli, L.** Dynamics and Control of Switched Electronic Systems: Advanced Perspectives for Modeling, Simulation and Control of Power Converters (Advances in Industrial Control). *Springer-Verlag London*, 2012, 493 p.
- 9 **Verbytskyi, I. V.** Osoblyvosti rozrahunku spectru naprugi, modulyovanoiy po zakonu SHIM I I SHIM II na osnovy podviynogo ryadu Furiye [Features of voltage spectrum calculations modulated by PWM I and II on basis double Fourier series]. *Electronika i zvyazok [Electronics and communication]*, 2015, № 5, 36-45.
- 10 **Watson, G. N.** A Treatise on the Theory of Bessel Functions (2nd.ed.). *Cambridge University Press*, 1966, 798 p.
- 11 **Abramovitz, M., Stigun, I. A.** Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. *Aplied mathematics, series № 55*, 1964.

Bibliography (transliterated)

Дані про автора (About author)

Вербицький Євген Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри промислової електроніки, факультет електроніки, Київ, Україна; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Ievgen Verbytskyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вербицький, С. В. Аналіз спектру напруги з двополярною модуляцією / **С. В. Вербицький** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 188-193. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.30.

Please cite this article as:

Verbytskyi, I. V. A Bipolar Voltage Modulation Spectrum Analysis. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 188–193, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.30.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вербицкий, Е. В. Анализ спектра напряжения с двополярной модуляцией / **Е. В. Вербицкий** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 188-193. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.30.

АННОТАЦІЯ Показано негативное влияние низких гармоник в модулированном переменном напряжении инверторов с гальванической развязкой на массу их трансформаторов. Описано способ формирования биполярного модулированного напряжения, что существенно уменьшает содержание низких гармоник. Предложено использовать ряд Фурье двух переменных для анализа спектра биполярного модулированного напряжения, что позволяет описать спектральную характеристику напряжения в компактной форме для произвольного значения параметра кратности модуляции. Описано два разных случая формирования биполярного напряжения в зависимости от значения параметра кратности модуляции. Проанализировано спектр напряжения с биполярной модуляцией. Показано, что основная часть энергии напряжения с биполярной модуляцией передается гармониками около частоты, которая вдвое меньше частоты несущей функции.

Ключевые слова: двополярное напряжение; инвертор с гальванической развязкой; ряд Фурье двух переменных; спектральная характеристика.

Надійшла (received) 23.05.2017

УДК 622.85

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.31

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЕ ЗАПЫЛЕННЫХ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В ФИЛЬТРЕ РЕСПИРАТОРА

Ю. И. ЧЕБЕРЯЧКО

Кафедра Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, УКРАЇНА
*email: cheberiachkoyi@ukr.net

АННОТАЦИЯ В статье приведены результаты математического моделирования движение запыленных потоков воздуха в фильтре респиратора. Разработана математическая модель для получения рациональных геометрических параметров префильтрующей и фильтрующей зон респиратора. Получены зависимости между аэродинамическими и геометрические параметры префильтрующей и фильтрующей зон респиратора. Определены геометрические параметры фильтра с наибольшей эффективностью очистки запыленного потока. Разработана математическая модель позволяет получать рациональных геометрических параметров фильтра респиратора.

Ключевые слова: респиратор; префильтрующая и фильтрующая зоны респиратора; математическое моделирование; метод наименьших квадратов; метод конечных элементов; метод локальных вариаций.

MATHEMATICAL MODEL OF MOTION IN THE DUSTY AIR FLOW FILTER RESPIRATOR

Yu. CHEBERIACHKO

The department Aerology and protecti on of labour, State Instituti on of Higher Education «National Mining University», Dnipro, UKRAI NE

ABSTRACT Purpose. To determine the relationship between the filter parameters and the aerodynamic characteristics of the dust-air flow in order to improve its dust collection efficiency.

Method. The airflow velocities distribution and pressure drop gradients across a filter was studied on a mathematical model using the least squares method, finite elements, and local variations. This technique allows to obtain kinematic parameters of the dusty flow, as well as the density distribution over the volume of the filter model. The mathematical model adequacy in modeling the dusty flows filtration through a respirator was established on an experimental bench.

Results. A mathematical model for obtaining rational geometric parameters of the prefiltration and the respirator filtration zones has been developed.

Scientific novelty. Mathematical modeling of aerodynamic processes in a filter with the help a 4 nonlinear differential equations system the first order in partial derivatives, describing the motion of a dusty stream in it. Dependences between aerodynamic and geometric parameters of the prefiltration and filtration zones of the respirator are obtained.

Practical novelty. Geometric parameters the filter with a highest efficiency of cleaning the dusty flow are determined. A mathematical model that allows us to obtain rational geometric parameters of the respirator filter is developed.

Keywords: respirator; prefiltration and filtering zones of the respirator; math modeling; least square method; finite element method; method of local variations.

Введение

Высокоэффективный аэрозольный фильтр представляет собой устройство, в котором воздух, очищается пропускается через слой фильтрующего материала, который задерживает аэрозольные частицы с помощью нескольких механизмов улавливания и постепенно накапливает их осадок в своем объеме. При этом растет их перепад давления и ухудшаются эксплуатационные свойства. Особенно при высоких концентрациях пыли в рабочей зоне. Поэтому, повышение срока защитного действия противопылевых респираторов в условиях горных предприятий, которые характеризуются чрезвычайно сложными условиями эксплуатации последних, является актуальной задачей.

Решения задач о движении загрязненных потоков через респиратор с целью нахождения его оптимального режима работы и геометрических размеров для этих условий может быть выполнено как путем их математического анализа, так и путём экспериментальных исследований. Следует отметить, что теория осаждения частиц, позволяющая в значительной мере оценить эффективность фильтров, а также ее развитие представлены в работах отечественных исследователей [1-4]. Значительный вклад был также внесен и американскими исследователями [5-7]. Однако обратим внимание на то, что аналитические модели были предложены для частных случаев. Построение теоретических моделей во многом определялось характеристиками используемых на практике фильтров. Это

обстоятельство предопределило ограниченность их практического применения, что не позволяет учесть одновременное действие разных факторов в процессе работы. Кроме того, они не учитывали влияние уже осевших частиц на захват последующих, так что ресурс фильтра в этих подходах был явно завышен.

Отметим еще одно направление, позволяющее снижать энергетические затраты при прохождении воздуха через фильтр. Это направление связано с разработкой геометрии фильтрующих элементов. В частности, предлагаются схемы, в которых осуществляется развёртка фильтрующего материала, например, путём гофрирования тонкослойного фильтра, или путём включения электростатических эффектов, которые исходно реализуются в фильтрах [8].

Цель работы

Определить взаимосвязь между параметрами фильтра и аэродинамическими характеристиками пылевоздушного потока что позволит проводить оценку времени защитного действия респиратора.

Изложение основного материала

Для исследования движения пылегазовой смеси в фильтрующей коробке респиратора можно использовать различные модели математического описания с элементами теории гидродинамического подобия [9]. Процесс моделирования, является основой научного эксперимента, цель которого получить картину течения запыленных воздушных потоков в фильтрующих элементах респираторов, выразить их математически, в форме дифференциальных уравнений, получить кинематические и динамические характеристики как непрерывные функции координат и времени. Такая задача может быть выполнена двумя аналитическими методами исследования: методом Лагранжа или методом Эйлера. Согласно методу Лагранжа движение воздушных потоков оценивается наблюдением за движением отдельных частиц через потоки пространства, то есть по существу все сводится к изучению совокупности траекторий этих частиц, и прослеживанию во времени за изменением их кинематических характеристик. Поэтому для анализа движения пылегазового потока в фильтре респиратора был выбран метод Эйлера, согласно которого, исследование кинематики фильтрующей коробки респиратора свидетельствует о том, что одновременный учет всех факторов, действующих в потоке пылегазовой смеси в упомянутых выше математических моделях, значительно усложняет их структуру. Последнее затрудняет использование численных методов для решения уравнений движения или же не отражает реальной картины

физики процессов. Поэтому для составления математической модели движения потока пылегазовой смеси использовались дифференциальные уравнения с некоторыми допущениями. Смесь "воздух - твердые частицы" рассматривается как сплошная среда с непрерывным распределением плотности. Возможность такого допущения основана на большом количестве взвешенных частиц малого размера и используемый прием усреднения плотности двухкомпонентной смеси является типичным для механики сплошных сред [10]. Такое обобщение может быть выполнено с ведением сила сопротивления фильтра, отнесенных к единичному объему. Остановимся на некоторых экспериментальных фактах, позволяющих определить зависимость такой силы от скорости потока и плотности фильтрующего элемента. Опытные данные приведены в работе [11]. Это дает возможность дискретные действия частиц заменить непрерывно действующей силой в фильтрующем элементе $F_{\phi r}$, $F_{\phi z}$, $F_{\phi \theta}$ по осям координат.

Будем считать, что значение скорости на входе в фильтр будет постоянным и не зависит от времени. Это подтверждается исследованиями [12]. Выделим в фильтрующей коробке элементарный объем размерами ∂r , $\partial \theta$, ∂z и запишем уравнения движения и неразрывности потока в цилиндрической системе координат r , z , θ в Эйлеровых переменных (рис. 1.).

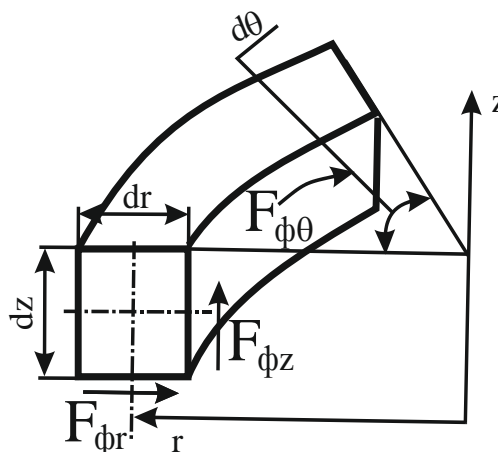


Рис.1 – Элементарный объем размерами ∂r , $\partial \theta$, ∂z

Так как движение запыленного потока во всех зонах - осесимметричное, то существенными аргументами искомых функций для него будут только координаты r , z .

Таким образом, в исходных уравнениях при получении математической модели учитывались плотность потока; силы, вызывающие градиент перепада давления; сила сопротивления фильтра. Для получения величины перепада давления в фильтре

использовались уравнения состояния связывающее перепад давления в фильтре с плотностью потока [2-4].

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{r} \rho V_r + \frac{\partial \rho}{\partial r} V_r + \frac{\partial V_r}{\partial r} \rho + V_z \frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \rho &= 0; \\ V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V_\theta^2}{r} &= k_\phi \cdot V_r - \frac{1}{\rho} RT \frac{\partial \rho}{\partial r}; \\ V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} + \frac{V_r V_\theta}{r} &= k_\phi \cdot V_\theta; \\ V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= k_\phi \cdot V_z - \frac{1}{\rho} RT \frac{\partial \rho}{\partial z} \end{aligned} \right.$$

где V_r, V_θ, V_z - проекции скоростей по осям координат, м/с; ρ - плотность пылегазового потока в фильтрующем элементе, кг/м³; k_ϕ - коэффициент частоты соударений частиц с фильтром, 1/с; R - газовая постоянная, $R \approx 287$ Дж/(кг·К); T - температура запыленного потока, К.

Разработанная математическая модель описывающая движения запыленных потоков фильтрующей коробке состоит из четырёх дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка. Она связывает между собой его кинематические и геометрические параметры, а также плотность запыленного потока вдоль фильтрующего элемента. Задаваясь технологическими параметрами фильтра возможно оптимизировать его геометрические параметры.

Одним из основных исходных параметров для проведения расчета на математической модели являются скорость движения и плотность запыленного потока на входе в фильтр. При расчетах использовалась средняя скорость движения воздуха, а также плотность потока на входе в фильтр которые определялись при экспериментальных исследованиях [12]:

$$V_0 = \frac{Q}{S_\phi}$$

где Q - расход воздуха через фильтр, м³/с; S_ϕ - площадь входного сечения фильтра, м².

В процессе осаждения пыли на фильтрующем элементе происходит уменьшение плотности потока запыленного воздуха по толщине фильтра. Как показали исследования, пылеемкость фильтрующего элемента зависит от скорости его продвижения через фильтр и от толщины фильтрующего слоя, диаметра волокон, плотности упаковки и для различных видов фильтрующих элементов, поэтому математическое описание этого процесса будет зависеть от коэффициентная фильтрации. Он изменяется в зависимости от

времени работы фильтра. Плотность запыленного потока в уравнении неразрывности при решении математической модели будет изменяться по мере продвижения запыленного воздушного потока по объему фильтра. Такое изменение учитывается дополнительным уравнением при построении эпюр распределения плотности по сечениях фильтрующего элемента. Эти уравнения зависят от типов и конструкций фильтрующих элементов, и в соответствии с законом фильтрации используются различные модели: линейной зависимости, модель утолщающегося волокна, модель полидисперсного волокна и другие, которые выбираются в математической модели индивидуально. При выборе этих уравнений для расчетов необходимо учитывать также исходную концентрацию пыли на входе в фильтр. Эти математические зависимости при моделировании выбираются для конкретного фильтрующего элемента и представлены в работе [12].

Данная система уравнений решается численными методами с применением математических пакетов решения на ПЭВМ. В результате решения будут получены аэродинамические характеристики в любых точках воздушного потока в зависимости от геометрических параметров в зонах фильтрующей коробки.

Задача решалась с использованием методов наименьших квадратов, конечных элементов и локальных вариаций. Задавая геометрические и технологические параметры потока в математической модели, получим его аэродинамические параметры и распределение плотности пылегазовой смеси по объему фильтра респиратора.

Для проверки адекватности математической модели использовались результаты математического моделирования предфильтрующей зоны (рис. 2.), в которой осевые, радиальные и тангенциальные скорости определялись по ее объему, так как их распределение главным образом влияет на процесс улавливания пыли в фильтре. Для этой зоны были приняты следующие граничные условия, на стенках фильтра принята гипотеза о прилипанию частиц т.к. движение их там практически отсутствует. Для проведения расчетов задаемся скоростью и плотностью запыленного потока на входе в фильтр, а также геометрическими размерами исследуемой зоны. В результате математического моделирования получаем зависимости между аэродинамическими и геометрическими параметрами предфильтрующей зоны.

Исходными данными для расчета были расход воздуха в выходном патрубке диаметром d_1 и плотность запыленного потока на входе в фильтр, а также высота предфильтрующей зоны H_1 и ее диаметр D_1 , а также коэффициент фильтрации был принят равным нулю, так как в этой зоне

отсутствует запыленный воздух. При моделировании определялись осевые, радиальные и тангенциальные скорости по диаметру зоны рис. 3 и рис. 4.

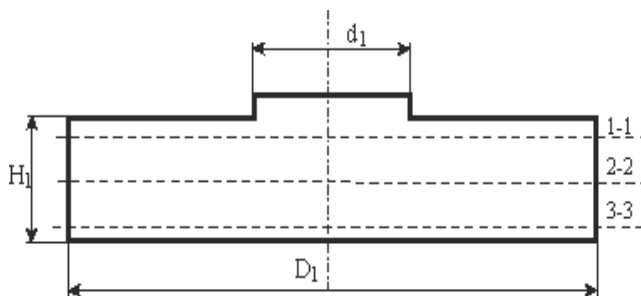


Рис. 2 – Схема конструкции фильтрующей коробки

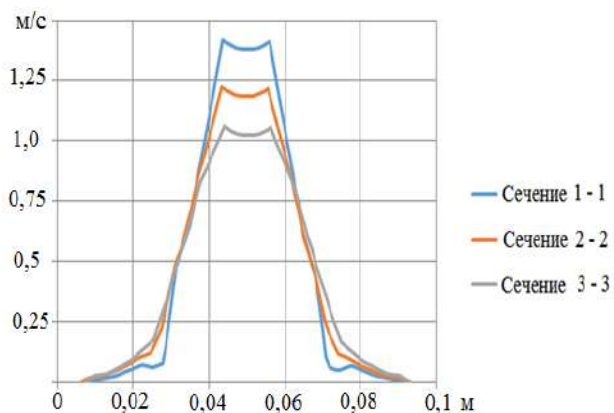


Рис. 3 – Распределения осевых скоростей

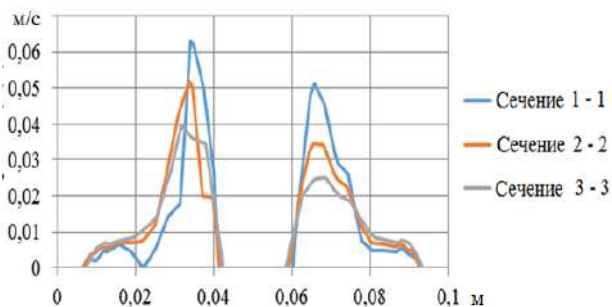


Рис. 4 – Распределения радиальной скорости

Как видно из графиков рис. 3 и рис. 4 распределение осевых и радиальных скоростей по объему этой зоны носит не равномерный характер, а у пристеночной области они отсутствуют вовсе, также наблюдаются пульсации скорости. Такое распределение скоростей не способствует пылеулавливанию в фильтрующем элементе нарушает кинематику потока, поэтому возникает необходимость существенной доработки конструкции фильтрующей коробки. Тангенциальные составляющие скорости пылегазового потока при экспериментальных исследованиях и математическом моделировании были не обнаружено.

Для установления адекватности модели результаты математического моделирования сравнивались с экспериментальными исследованиями. В лабораторных условиях определяли экспериментально распределение скорости воздушного потока и перепада давления на фильтре соответствии с требованиями по ДСТУ EN 143: 2002. Для этого в задней стенке корпуса фильтровальной коробки просверливаем отверстия размером 5 мм, через каждые 10 мм в которые устанавливалась трубка Пито, подключена к электронному манометру Testo 512. Манометр позволяет одновременно определять скорость потока в диапазоне от 0 до 10 м/с и перепад давления от 0 до 200 Па. Для обеспечения контроля заданного расхода воздуха использовали ротаметр с погрешностью 2,5%. Подключение (зажима) фильтровальных коробок к сети со сжатым воздухом выполнили через специальную насадку.

Исследования показали удовлетворительное совпадение при сравнении результатов, полученных при математическом моделировании, с результатами экспериментальных исследований, что свидетельствует об адекватности математической модели.

Выводы

На основании рассмотренного материала можно сделать следующие выводы:

- установлено, что существующие конструкции фильтровальных коробок влипают перепад давления респиратора, из-за неиспользования значительной поверхности фильтров (образование мертвых зон в которых воздух не движется) и тем самым увеличивают сопротивление дыханию.

- установлена адекватность математической модели при моделировании прохождения запыленных потоков через респиратор;

- разработанную математическую модель можно рекомендовать для получения рациональных геометрических параметров фильтрующих коробок респиратора.

Предметом дальнейших исследований влияния аэродинамических параметров фильтрующих коробок респираторов на их геометрические параметры с целью уменьшения сопротивления дыханию, увеличение срока защитного действия и пылеемкости, На базе предложенного подхода можно установить рациональные параметры фильтровальных коробок для обеспечения равномерного обтекания всей поверхности фильтра.

Список літератури

1. Черняков, А. Л. Эффективность инерционного осаждения аэрозольных частиц в волокнистых фильтрах с учетом их отскока от волокон / А. Л. Черняков, А. А. Кириш, В. А. Кириш // *Коллоид. журн.* – 2011. – Т. 73. № 3. – С. 387–391.
2. Высокоэффективные средства защиты органов дыхания. Фильтро-вентиляционные установки: Проспект МПЦ «Антарес». – Одесса, 2003. – 4 с.
3. Каминский, С. Л. Средства индивидуальной защиты в охране труда / С. Л. Каминский. – СПб: Проспект Науки, 2011. – 304 с.
4. Спельникова, М. И. Обеспечение эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания / М. И. Сапельникова // *Справочник специалиста по охране труда.* – 2015. – № 6. – С. 49-55.
5. Wang, J. Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media / J. Wang, D. R. Chen, D. Y. H. Pui // *Journal of Nanoparticle Research.* – 2007. – 9. – P. 109–15. – doi: 10.1007/978-1-4020-5859-2_11.
6. Boskovic, L. Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres / L. Boskovic, I. E. Agranovski, R. D. Braddock // *Journal of Aerosol Science.* — 2007. — 38. — P. 1220—1229. — doi: 10.1016/j.jaerosci.2007.09.003.
7. Kuo, Y.-M. Evaluation of Exhalation / Y.-M. Kuo, C.-Y. Lai, C.-C. Chen, B.-H. Lu, S.-H. Huang, C.-W. Chen // *Valves British Occupational Hygiene Society.* – 2005. – Vol. 49. – 7. – P. 563–568. – doi: 10.1093/annhyg/mei003.
8. Yang, C.-M. Dynamic Respirator Exhalation Valve Test Apparatus / C.-M. Yang, S.-H. Huang, C.-C. Chen // *Conference Occupational Hygiene.* – 2011. – Holiday Inn, Stratford upon Avon, UK. – P. 19 - 20.
9. Slavich, G. M. Transformational Teaching: Theoretical Underpinnings, Basic Principles, and Core Methods / G. M. Slavich, P. G. Zimbardo // *Educational psychology review.* – 2012. – 24.4. – 569–608.
10. Лекции по основам механики сплошных сред / М. Э. Эглит. - Изд. стереотип. - М. : Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2013. - 207 с..
11. Чеберячко, С. И. Исследование влияния толщины фильтрующего слоя, диаметра волокон и плотности упаковки на основные показатели фильтрующих элементов / С. И. Чеберячко, Д. И. Радчук, Ю. И. Чеберячко // *Зб. наук. пр. НГУ.* – 2007. – № 29. – С. 224 – 229.

12. Соловьева, О. В. Течение газозвеси в периодическом ряду цилиндров: расчет полей концентраций частиц / О. В. Соловьева // *Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки.* – 2015. – Т. 157. – №. 4. – С. 149–157.

Bibliography (transliterated)

1. Chernyakov, A. L., Kirsh, A. A., Kirsh, V. A. Effektivnost' inertsionnogo osazhdeniya aerazol'nykh chastits v voloknistykh fil'trakh s uchetom ikh otskoka ot volokon [Efficiency of inertial deposition of aerosol particles in fibrous filters taking into account their rebound from fibers], *Colloid. Journal*, 2011, **73**. No 3, 387-391.
2. Vysokoeffektivnyye sredstva zashchity organov dykhaniya. Fil'tro-ventilyatsionnyye ustanovki [Highly effective respiratory protection Filtro-ventilation units] *Prospekt MPTS «Antares»*, Odessa, 2003, 4 p.
3. Kaminsky, S. L. Sredstva individual'noy zashchity v okhrane truda [Means of individual protection in labor protection]. – SPb: Prospect of Science, 2011, 304 p.
4. Splelnikova, M. I. Obespecheniye effektivnosti sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya [Ensuring the effectiveness of personal protective equipment for respiratory organs], *Handbook of a specialist in occupational safety*, 2015, **6**, 49-55.
5. Wang, J., Chen, D. R., Pui, D. Y. H. Modeling of filtration efficiency of nanoparticles in standard filter media, *Journal of Nanoparticle Research*, 2007, **9**, 109–15, doi: 10.1007/978-1-4020-5859-2_11.
6. Boskovic, L., Agranovski, I. E., Braddock, R. D. Filtration of nanosized particles with different shape on oil coated fibres, *Journal of Aerosol Science*, 2007, **38**, 1220—1229, doi: 10.1016/j.jaerosci.2007.09.003.
7. Kuo, Y.-M., Lai, C.-Y., Chen, C.-C., Lu, B.-H., Huang, S.-H., Chen, C.-W. Evaluation of Exhalation, *Valves British Occupational Hygiene Society*, 2005, **49**, 7, 563–568, doi:10.1093/annhyg/mei003.
8. Yang, C.-M., Huang, S.-H., Chen, C.-C. Dynamic Respirator Exhalation Valve Test Apparatus, *Conference Occupational Hygiene*, 2011, Holiday Inn, Stratford upon Avon, UK, 19-20.
9. Slavich, G. M., Zimbardo, P. G. Transformational Teaching: Theoretical Underpinnings, Basic Principles, and Core Methods, *Educational Psychology Review*, 2012, **24**(4), 569–608, doi:10.1007/s10648-012-9199-6.
10. Eglit, M. E. Leksii po osnovam mekhaniki sploshnykh sred [Lectures on the fundamentals of continuum mechanics]. - Ed. stereotype. - M.: The book house "LIBROKOM", 2013. 207 p.
11. Cheberyachko, S. I., Radchuk, D. I., Cheberyachko, Yu. I. Issledovaniye vliyaniya tolshchiny fil'truyushchego sloya, diametra volokon i plotnosti upakovki na osnovnyye pokazateli fil'truyushchikh elementov, *Zb. nauk. pr. NGU*, 2007, **29**, 224 - 229.
12. Solov'eva, O. V. Techeniye gazozvesi v periodicheskom ryadu tsilindrov: raschet poley kontsentratsiy chastits, *Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta*, 2015, **157**, 4, 149–157.

Сведения об авторах (About authors)

Чеберячко Юрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Аерології та охорони праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, Україна; email: cheberiachkoyi@ukr.net.

Yuriy Cheberiachko – Candidate of Technical Science (Ph.D), Associate Professor of department Aerology and protection of labour, State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipro, Ukraine; email: cheberiachkoyi@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чеберячко, Ю. И. Математическая модель движение запыленных потоков воздуха в фильтре респиратора / **Ю. И. Чеберячко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 194-199. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.31.

Please cite this article as:

Cheberiachko, Yu. Mathematical model of motion in the dusty air flow filter respirator. *Bulletin of NTU "KhPI"*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 194–199. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.31.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чеберячко, Ю. І. Математична модель руху запылених потоків повітря у фільтрі респіратору / **Ю. І. Чеберячко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 194-199. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.31.

АНОТАЦІЯ У статті наведено результати математичного моделювання руху запылених потоків повітря в фільтрі респіратору. Розроблено математичну модель для отримання раціональних геометричних параметрів передфільтруючої і фільтруючої зони респіратору. Отримано залежності між аеродинамічними і геометричними параметрами передфільтруючої і фільтруючої зони респіратору. Визначено геометричні параметри фільтру з найбільшою ефективністю очищення запыленого потоку. Розроблено математичну модель дозволяє отримувати раціональних геометричних параметрів фільтра респіратору.

Ключові слова: респіратор; передфільтруюча та фільтруюча зони респіратору; математичне моделювання; метод найменших квадратів; метод кінцевих елементів; метод локальних варіацій.

Поступила (received) 29.05.2017

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

<i>Васильєв О. С., Васильєв Є. А., Rogozin I. A.</i> Дослідження об'ємного ККД диференціального розчинососа залежно від конструкції клапанних вузлів	5
<i>Вовченко В. П., Милушицький О. В., Васильєв Є. А., Васильєв А. В.</i> Визначення умов наповнення гідравлічного компенсатора поршневого розчинососа	11
<i>Іванов В. В., Чумак Н. В.</i> Оптимізація розкладу проектів зворотного інжинірингу стандартизованих виробів	16
<i>Ільїн Я. В.</i> Вплив середовища заморожування на показники часу життя асфальтобетону	22
<i>Лесик Д. А., Джемелінський В. В., Мордюк Б. М., Прокопенко Г. І., Данилейко О. О.</i> Визначення оптимальних режимів комбінованого лазерно-ультразвукового зміцнення інструментальної сталі X12МФ	27
<i>Надутьий В. П., Єлісєєв В. І., Луценко В. І., Костира С. В.</i> Експериментальне визначення залежності водонасичення подрібненої гірської маси від розмірів шматків	36
<i>Рубаненко О. Є., Лабзун М. П., Грищук М. О.</i> Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів	41
<i>Чепурний А. Д., Шейченко Р. І., Граборов Р. В., Ткачук М. А., Бондаренко М. О., Грабовський А. В., Луньов Є. О.</i> Числові дослідження вантажного вагону	47
<i>Шаповалова М. І., Водка О. О.</i> Методи розпізнавання мікроструктури матеріалу	56
<i>Шовкун В. О.</i> Розробка імітаційної моделі вантажного вагону з метою отримання оцінки динамічних показників	62

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

<i>Білоус Н. В., Красов О. І.</i> Обчислювальний метод визначення постійних проектного перетворення координат системи координат поточного кадру в систему координат базового	68
<i>Букарос В. М., Онищенко О. А., Налева Г. В., Букарос А. Ю.</i> Автоматизація процесів керування конденсаторами холодильних установок	76
<i>Вавіленкова А. І.</i> Застосування темпоральної логіки при побудові формальних моделей електронних текстів	84
<i>Вербицький Є. В., Ларін Д. А.</i> Онтологічний аналіз біометричних даних	89
<i>Єгорова І. М., Гладка А. О.</i> Дослідження можливостей резервного копіювання веб-сайтів, створених на основі WordPress	95
<i>Єгорченкова Н. Ю.</i> Концептуальні основи побудови системи електронного управління інформаційними проектами	100
<i>Зацерковний В. І., Оберемок І. І., Оберемок Н. В., Латишева Т. В.</i> Впровадження системи мотивації учасників проектного управління компанії з використанням MS Project Online	105
<i>Кодола Г. М., Рогоза Б. Є.</i> Побудова технологічної матриці варіантів лінійного розкреду	111
<i>Костенко В. Л., Кондратьєв С. Б., Ярова М. В., Попов Д. О.</i> Інформаційна система вимірювання та контролю параметрів повітряного середовища	117
<i>Пелецишин А. М., Вовк Н. С.</i> Формування інформаційного середовища у провідних вищих навчальних закладах України	123
<i>Хоменко І. В., Омельченко І. О., Стасюк І. В.</i> Розробка концепції багатопараметричного та безперервного контролю і управління енергоспоживанням в електричних мережах	131

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

<i>Вецнер Ю. І.</i> Дослідження процесу отримання фосфату карбаміду	137
<i>Євлаш В. В., Акмен В. О., Нікітін С. В.</i> Вплив ступіню подрібнення сланей водоростей вакаме на показники якості білково-мінеральних батончиків «Algae bar wakame»	144
<i>Кондратов С. О., Красильнікова А. О.</i> Комп'ютерне моделювання реактору для високотемпературного адіабатичного нітрування бензену	150
<i>Палюх З. Ю., Мельник Ю. Р., Мельник С. Р.</i> Алкоголіз тригліцеридів етанолом у присутності солей двовалентних металів	158

<i>Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Ткаченко В. В.</i> Оптимізація компонентного складу начинки збагаченого сирка в білковій глазури	164
<i>Самойленко Н. М., Баранова А. О.</i> Фармацевтичні відходи зі скла та їх ресурсна база в Україні	170
<i>Сердюк М. Є., Байбєрова С. С., Гаприндашвілі Н. А., Сухаренко О. І.</i> Вплив обробки антиоксидантними композиціями на вихід стандартної плодової продукції після холодильного зберігання	176
<i>Слащева А. В.</i> Дослідження антиоксидантної активності екстракту кореня селери	182

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

<i>Вербицький Є. В.</i> Аналіз спектру напруги з двополярною модуляцією	188
<i>Чеберячко Ю. І.</i> Математична модель руху запиленних потоків повітря у фільтрі респіратора	194

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

<i>Vasyliiev A., Vasyliiev I., Rogozin I.</i> Research volumetric energy conversion efficiency differential pump depending on the design valve units	5
<i>Vovchenko V., Malyushitskiy O., Vasyliiev I., Vasyliiev A.</i> Determining the conditions of filling the hydraulic compensator in a piston mortar pump	11
<i>Ivanov V., Chumak N.</i> Optimization of curriculum of projects of the reverse engineering of the standardized wares	16
<i>Iliyn Ya. V.</i> Influence of the media of freezing at the life length of asphalt concrete	22
<i>Lesyk D. A., Dzhemelinskiy V. V., Mordiyuk B. N., Prokopenko G. I., Danyleiko O. O.</i> Determination of optimum regimes of combined laser-ultrasonic hardening and finishing of tool steel AISI D2	27
<i>Nadutyy V. P., Eliseev V. I., Lutsenko V. I., Kostyrya S. V.</i> Experimental determination of the dependence of the water sediment of the milled mount mass from the sizes of pieces	36
<i>Rubanenko A., Labzun M., Hryshchuk M.</i> Definition defects of transformer equipment using frequency diagnostic parameters	41
<i>Chepurnoy A., Sheychenko R., Graborov R., Tkachuk M., Bondarenko M., Grabovskiy A., Lunyov E.</i> Numerical study of freight railcar	47
<i>Shapovalova M., Vodka A.</i> Methods for recognizing the microstructure of a material	56
<i>Shovkun V.</i> Development of simulation model of freight car with the aim of obtaining estimates of dynamic parameters	62

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

<i>Bilous N. V., Krasov A. I.</i> Computational method for determining projective transformation constants of the current frame coordinates into basic coordinate system	68
<i>Bukaros V., Onishchenko O., Naleva G., Bukaros A.</i> Automation of the control processes of the refrigeration units condensers	76
<i>Vavilenkova A.</i> Application of temporal logic for construction of formal models of electronic texts	84
<i>Verbytskyi I. V., Larin D. A.</i> Ontological Analysis of Biometric Data	89
<i>Iegorova I., Gladkaya A.</i> Research for backup possibilities of websites created in WordPress	95
<i>Yehorchenkova N.</i> Conceptual bases of creation of a system of information projects electronic management	100
<i>Zatserkovnyi V., Oberemok I., Oberemok N., Latysheva T.</i> Implementation of motivation system for project team using MS Project Online	105
<i>Kodola G., Rogoza B.</i> Construction a technological matrix of variants linear cutting	111
<i>Kostenko V., Kondratyev S., Yadrova M., Popov D.</i> Information system of measurement and control parameters of the air framework	117
<i>Peleshchyshyn A., Vovk N.</i> Formation of the information Environment in Ukrainian leading Universities	123

- Khomenko I., Omelchenko I., Stasiuk I.*** Development of the concept of multi and continuous monitoring and control of energy consumption in electric networks 131

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

- Vetsner Yu.*** Research of the process of obtaining carbamide phosphate 137
- Yevlash V., Akmen V., Nikitin S.*** Influence degree of milling of algae wakame thallus on the quality indicators of the protein-mineral bars "algae bar wakame" 144
- Kondratov S., Krasyl'nikova A.*** Computer simulation of a reactor for high-temperature adiabatic nitration of benzene 150
- Palyukh Z., Melnyk Yu., Melnyk S.*** Transesterification of triglycerides by ethanol in the presence of divalent metal salts 158
- Popova N., Misyura T., Tkachenko V.*** Optimization component composition filling marmot in the protein-rich glaze 164
- Samoilenko N., Baranova A.*** Pharmaceutical waste from glass and resource base in Ukraine 170
- Serdyuk M., Baiberova S., Gprindashvili N., Sukharenko E.*** The effect of treatment with antioxidant composition on the number of standard fruits after the cold storage 176
- Slasheva A.*** The study of antioxidant activity of the celery root extract 182

MODERN INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

- Verbytskyi I. V.*** A Bipolar Voltage Modulation Spectrum Analysis 188
- Cheberiachko Yu.*** Mathematical model of motion in the dusty air flow filter respirator 194

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

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 23 (1245) 2017

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. фіз.-мат. наук С. І. Меньшикова

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 22-17

Підп. до друку «23» червня 2017 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. Кирпичова, 2
