

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

ВІСНИК

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

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 12 (1184) 2016

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 р.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184) – 215 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською, російською та англійською мовами.

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

Координаційна рада:

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

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

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

Редакційна колегія серії:

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

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

А. В. Грабовський, канд. техн. наук.

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

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

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ «ХПІ»

Протокол № 3 від «08» квітня 2016 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2016

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
“KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

BULLETIN

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

Series: " New solutions in modern technologies"

№ 12 (1184) 2016

Collected Works

The publication was founded in 1961

Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 215 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.

Coordinating Board:

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

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

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

Editorial Board:

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

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

A. V. Grabovskiy, PhD. Tech. Sci.

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

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

Recommended for publication by the Academic Council of NTU "KhPI"
Protocol number 3 of April, 08, 2016

© National Technical University "KhPI", 2016

УДК 66.081.6

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.01

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРВАПОРАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

*I. А. БУРТНА, Л. І. РУЖИНСЬКА, Л. С. РУДЕНКО**

*Кафедра біотехніки та інженерії, НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, УКРАЇНА
email: rudenko.lesia@gmail.com

АНОТАЦІЯ З розвитком сучасного суспільства зростає інтерес до енергоощадних та безвідходних технологій. Одними з таких є мембранні процеси, а саме первапорація, яка дозволяє розділяти суміші на окремі «чисті» компоненти. В даній статті представлено аналіз особливостей масообмінних процесів при первапораційному розділенні рідких органічних сумішей. Запропонована математична модель процесу, та сформульовані початкові і граничні умови. Показано, що вирішення даної математичної моделі дозволяє знайти такий технологічний режим, при якому максимально реалізуються можливості мембрани, а енергетичні затрати на процес є мінімальними.

Ключові слова: первапорація, мембранні процеси, «чистий» компонент, математична модель, розділення сумішей, водно-органічна суміш.

MATHEMATICAL MODEL OF MASS TRANSFER PROCESSES OF PERVAPORATION WATER PURIFICATION

*I. BURTNA, L. RUZHINSKA, L. RUDENKO**

*Department of Bioengineering and Engineering, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UKRAINE
email: rudenko.lesia@gmail.com

ABSTRACT *Object. Theoretical studies of pervaporation separation of water -organic mixture by mathematical modeling of process.*

Design. Methodology. Approach. The current state of the problem, namely the existing mathematical model of membrane processes had been analyzed. After analysis of features of pervaporation purification process the mathematical model was formulated. The mathematical model describes the pervaporation of organic liquid component through the non-porous membrane in a circular cross section channel. Initial and boundary conditions for this mathematical model had been recorded. Without these conditions the solution is impossible

Conclusions. Solution of the equations of mathematical model with the initial and boundary conditions allows to determine the concentration distribution of liquid flow which passes the membrane, and also though the membrane thickness depending on the size of the membrane, the modes of motion of initial and gas-vapor mixture, the concentration of organic impurities in initial and gas-vapor mixture. A mathematical model allows to finding a mode of operating of unit at which completely realized possibilities of membranes and minimized the cost of liquid heating and condensate cooling.

In further the research of experimental studies of pervaporation process are planned to continue, to confirm the results obtained by mathematical modeling.

Keyword: *pervaporation, membrane processes, «pure» component, mathematical model, division of mixtures, water -organic mixture.*

Вступ

На сьогодні зросла кількість галузей в яких потребується виділення окремих компонентів(найчастіше органічних) з мінімальними енергетичними та економічними затратами [1].

Однією з таких є фармацевтична галузь. Розглянемо виробництво лікарських засобів котре є складним, багатостадійним процесом. До його складу можуть входити різноманітні стадії неорганічного хімічного синтезу, і органічного синтезу з використанням мікробіологічних процесів. Таким чином вода використовується у всіх стадіях. В результаті виконання цих етапів виробництва утворюються стічні води фармацевтичної галузі, до яких потрапляють мінеральні солі, вільні кислоти та

луги, виробничі напівпродукти, та величезна група органічних і неорганічних продуктів і напівпродуктів [2, 3].

Слід відмітити, що не тільки стічні води але й цільові продукти, або напівфабрикати певних стадій виробництва лікарських засобів можна очищати за допомогою мембранних методів. Розділення таким способом дозволить крім очистки вихідної водної суміші(в загальному випадку не обов'язково водної) виділяти окремі хімічні з'єднання, а саме органічні розчинники, які можуть бути повторно використані у виробничому циклі [2, 4].

Первапораційному очищенню підлягають стічні води, які містять у своєму складі органічні розчинники. Такі води поступають у мембранні апарати, що складаються з полімерних трубок,

виготовлених з матеріалів, які мають властивість вибірково(селективно) пропускати через свої стінки певні органічні речовини, які на протилежному боці стінки мембрани випаровуються у вільний між мембранний простір. Процес первапорації проходить за рахунок дифузії органічної речовини з поверхні що контактує з рідкою фазою, на поверхню що контактує з газовою [5].

Переважає більшість досліджень мембранних процесів стосується нових матеріалів для мембран та їх модифікації [6,7]. Питання математичного моделювання процесу первапорації розглядається переважно у закордонних публікаціях. Аналіз закордонних публікацій [8,9,10] показує, що більшість математичних моделей присвячені моделюванню процесу первапорації для виділення одного компонента з рідини(суміші), або представляють моделі розчинення з наступним дифузійним проходженням компонента крізь мембрану.

В статті [11] представлена математична модель процесу первапорації бінарних сумішей, яка описує ситуацію в каналі(мембрані) прямокутного перерізу. Дана модель розглядає на ряду з масообмінними процесами і теплові, і остаточно записується у вигляді:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{пол}}{c_p \rho_{пол}} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right);$$

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right);$$

Показано, що розв'язання рівнянь при початкових і граничних умовах дозволить визначити розподіл температур і концентрацій по товщині мембрани в залежності від розмірів мембрани, режимів руху вихідної та парогазової суміші, температури вихідної та парогазової суміші, концентрації органічної домішки в вихідній та парогазовій суміші. Нажаль, дана модель не може бути використана для описання процесу сорбції тому, що вона не враховує розбухання елемента і умови однозначності даного процесу.

В статті [12] описується процес визначення коефіцієнта дифузії. Дана математична модель записана для прямокутної системи координат, і як в попередній моделі не враховується розбухання.

В статті [13] описано математичну модель процесу сорбції органічної рідини полімерним мембранним елементом (адсорбентом).

Математична модель записується, як:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{1}{r^2} \frac{\partial C}{\partial \eta} \right);$$

$$\begin{aligned} \tau = 0 & \quad C = C_n; \\ \eta = 1 & \quad \beta_1 (C^* - C) = -\frac{D}{r_{вн}} \frac{\partial C}{\partial \eta}; \\ \eta = K & \quad \beta_2 (C^* - C) = \frac{D}{r_{вн}} \frac{\partial C}{\partial \eta}. \end{aligned}$$

Наведена вище математична модель описує масообмінну обстановку в апараті з нерухомим шаром адсорбенту(в даному випадку – мембранні елементи) під час розділення водно-органічних сумішей. Модель враховує розбухання адсорбенту в процесі сорбції органічної рідини.

Мета статті

Метою статті є теоретичне дослідження первапораційного розділення водно-органічної суміші шляхом математичного моделювання процесу.

Аналіз особливостей процесу

Розглянемо процес первапорації органічного розчинника, що міститься у стічній воді, яка подається всередину мембрани (рис. 1). Мембрана виготовлена у вигляді трубки з внутрішнім діаметром $d_{вн}$ і зовнішнім – $d_{зовн}$. Мембрана всередині повністю заповнена рідкою фазою (стічною водою). При контакті забрудненої води з внутрішньою поверхнею мембрани, розчинник дифундує в матеріал мембрани. Рушійною силою процесу переносу розчинника є різниця концентрацій, яка призводить до руху розчинника на зовнішню поверхню. З зовнішньої поверхні розчинник випаровується в навколишнє середовище, який представляє парогазову суміш, яка складається з пари розчинника і носія (приклад – повітря). В процесі первапорації концентрація розчинника зростає до повного витіснення носія з об'єму навколишнього середовища.

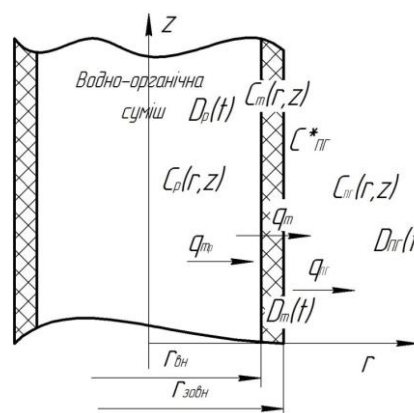


Рис 1. – Мембранний елемент при проведенні первапорації

Процес вилучення розчинника з стічної води залежить від:

- температури,
- режиму руху рідини в середині трубки,
- інтенсивності відведення пари розчинника з простору, тобто розчинник поступає в теплообмінник де відбувається процес конденсації.

Інтенсифікація процесу первапорації розчинника залежить від підведення його з рідкої фази до внутрішньої поверхні мембрани, перенесення розчинника через мембрану і відведення розчинника з зовнішньої поверхні мембрани.

На кожній з цих ділянок створюються потоки маси розчинника і найкращим вважається такі умови роботи апарату, коли ці потоки маси рівні.

Формулювання математичної моделі

Вирішення математичної моделі дозволяє визначити концентраційні поля органічного компонента в рідині, що проходить через мембрану та в самій мембрані, а також виявити фактори, що впливають на швидкість виділення органічної домішки.

Мембранний елемент має форму порожнистого циліндра, симетричного відносно осі z , із зовнішнім діаметром $D_{зовн}$, внутрішнім $D_{внутр}$, довжиною L ($L \gg D_{зовн}$). Так як мембранний елемент має циліндричну форму, то для його опису використовуємо циліндричну систему координат: вісь z - вісь симетрії, вісь r співпадає по напрямку з радіусом, а вісь φ - вісь обертання навколо власної осі циліндра (кутова координата).

При формулюванні математичної моделі приймаємо такі припущення:

- 1) внутрішній об'єм мембранного елемента повністю заповнений вихідним розчином;
- 2) рух рідини, що знаходиться всередині мембранного елемента, є ламінарним; профіль швидкостей повністю розвиненим;
- 3) процес ізотермічний;
- 4) тепловий потік і потік маси направлені вздовж осі r ;
- 5) градієнти швидкостей і концентрацій в напрямку φ відсутні;
- 6) мембрана має ізотропну структуру.

Розглянемо рівняння руху для рідини в середині мембрани в умовах ламінарного режиму. Рух рідини в напрямку осі r практично відсутній, отже значення W_r можна вважати близьким до нуля, а оскільки задача осесиметрична то W_φ також дорівнює нулю. З урахуванням припущень рівняння руху записується тільки в проекції на вісь z а, також що $\frac{\partial W_z}{\partial z} = 0$, то рівняння приймає вид:

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 W_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W_z}{\partial r} \right) = 0.$$

Рівняння конвективного масопереносу всередині мембрани

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial t} + W_r \frac{\partial C_p}{\partial r} + \frac{W_\varphi}{r} \frac{\partial C_p}{\partial \theta} + W_z \frac{\partial C_p}{\partial z} \right) = D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 C_p}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 C_p}{\partial z^2} \right).$$

В умовах ламінарного руху рідини приймаємо $W_r = 0, W_\varphi = 0$. Опір переносу маси за рахунок дифузії в напрямку осі φ і z набагато більший ніж в напрямку осі r , приймаємо $\frac{\partial C_p}{\partial \varphi} = 0; \frac{\partial C_p}{\partial z} = 0$ - і тоді рівняння конвективного масопереносу приймає вид:

$$W_z \frac{\partial C_p}{\partial \tau} = D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_p}{\partial r} \right) \right),$$

або

$$\frac{\partial C_p}{\partial \tau} = \frac{D}{W_z} \left(\frac{\partial^2 C_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_p}{\partial r} \right).$$

Для визначення розподілення швидкості W_z поблизу внутрішньої поверхні мембрани скористаємося методикою [14]. Для цього запишемо рівняння рівня руху у вигляді:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 W_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W_z}{\partial r} \right) = \frac{\partial p}{\partial z}.$$

Для даного рівняння граничними умовами будуть:

$$W_z = 0 \text{ при всіх } r = r_{вн}.$$

Вирішивши наведене рівняння, ми отримаємо розподілення швидкостей в поперечному перерізі мембрани:

$$W_z(r) = \frac{1}{4\mu} \frac{\partial p}{\partial z} (r_{вн}^2 - r^2).$$

Використавши вираз для визначення об'єму рідини, яка проходить через поперечний переріз мембрани і здійснивши відповідні перетворення отримаємо вираз для визначення градієнту тиску:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{8G\mu}{\pi r_{вн}^4}.$$

Підставивши вираз для визначення градієнту тиску в рівняння $W_z(r)$, отримаємо наступне

рівняння для розподілення швидкостей в поперечному перерізі мембрани:

$$W_z(r) = \frac{2G}{\pi \rho r_{вн}^4} (r_{вн}^2 - r^2) .$$

Запишемо рівняння конвективного масопереносу у вигляді:

$$\frac{\partial C_p}{\partial \tau} = \frac{D}{Wz} \left(\frac{\partial^2 C_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_p}{\partial r} \right).$$

Це рівняння належить до диференціальних рівнянь параболічного типу.

Запишемо $f(r, z) = \frac{D}{Wz}$, тоді попереднє рівняння представимо у вигляді:

$$\frac{\partial C_p}{\partial \tau} = f(r, z) \cdot \left(\frac{\partial^2 C_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_p}{\partial r} \right).$$

Враховуючи, що функція $f(r, z)$ нелінійно залежить від координат r і z , то для розв'язання останнього рівняння необхідно використовувати наближені або числові методи.

Розподілення концентрацій органічного розчинника в мембранному елементі описується рівнянням дифузії:

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} \right).$$

Для циліндричної системи координат це рівняння запишемо у виді:

$$\frac{dC_m}{dt} = D \left(\frac{\partial^2 C_m}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_m}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 C_m}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} \right).$$

Розміщуємо систему координат на площині симетрії як показано на рис.2, вісь z направляємо вздовж осі елемента. Задачу розв'язуємо в циліндричній системі координат.

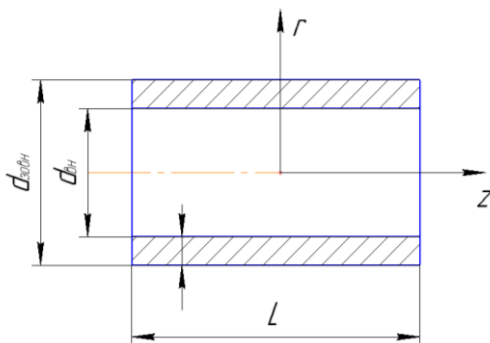


Рис. 2 – До запису математичної моделі процесу масообміну

Масообмін направлено в радіальному напрямі (вздовж осі r), вісь z суміщена з віссю труби і масообміном вздовж осі z нехтуємо, тому:

$$\frac{\partial C_m}{\partial z} = 0 \text{ та } \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} = 0.$$

Матеріал мембранного елемента – ізотропний, тобто його властивості у всіх точках однакові. Якщо умови масообміну на внутрішній і зовнішній границі мембранного елемента постійні(осесиметричні), то тоді концентрація не повинна змінюватись також вздовж φ , тобто градієнт:

$$\frac{\partial C_m}{\partial \varphi} = 0 \text{ та } \frac{\partial^2 C_m}{\partial \varphi^2} = 0.$$

З урахуванням цих виразів рівняння масопереносу в мембрані приймає вид:

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_m}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_m}{\partial r} \right).$$

Початкові та граничні умови

Формулювання початкових умов полягає у визначенні закону розподілу концентрації всередині потоку рідини в мембрані в залежності від висоти мембрани.

Тобто початкові умови записуються наступним чином:

$$\begin{aligned} z = 0, C = C_{рн}; \\ r = 0, \frac{\partial C}{\partial r} = 0; \\ r = r_{вн}, C = C^*; \end{aligned}$$

де $C_{рн}$ - початкова концентрація органічного компонента, C^* - рівноважна концентрація.

Граничні умови для масообмінної задачі розглядаються на внутрішній та зовнішній поверхнях мембрани мембранного елемента. Для даних умов задаються концентрації органічної домішки на границі середовищ і закон масообміну між поверхнею тіла і зовнішнім середовищем.

Враховуючи, що

$$\left. \begin{aligned} \text{при } r = r_{вн} \quad C = C^* \\ \text{при } r = r_{зовн} \quad C = C_{зр}^* \end{aligned} \right\}$$

можна виразити процеси масообміну на границі розподілу:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } r = r_{вн} \quad \beta_p (C_{рн} - C^*) = -D \frac{\partial C_m}{\partial r} \\ \text{при } r = r_{зовн} \quad \beta_{III} (C_{зр}^* - C_{нз}) = -D \frac{\partial C_m}{\partial r} \end{aligned} \right\}$$

де β_p - коефіцієнт масовіддачі вихідної суміші, $\frac{M}{c}$;
 β_{III} - коефіцієнт масовіддачі парогазової суміші, $\frac{M}{c}$;
 C_{pH} - концентрація органічної домішки у вихідній суміші, $\frac{KZ}{M^3}$; C_p^* - концентрація органічної домішки на внутрішній стінці мембранного елемента, $\frac{KZ}{M^3}$;
 C_{zp}^* - концентрація органічної домішки на зовнішній стінці мембранного елемента, $\frac{KZ}{M^3}$; C_{nz} - концентрація органічної домішки у парогазової суміші, $\frac{KZ}{M^3}$; D - коефіцієнт дифузії органічної домішки в матеріалі мембрани, $\frac{M^2}{c}$; C_p, C_m - концентрація органічної домішки в даній точці у суміші або мембрані відповідно, $\frac{KZ}{M^3}$;

Остаточно математичну модель перапорації можна записати наступним чином:

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = \frac{D_p}{Wz} \left(\frac{\partial^2 C_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_p}{\partial r} \right)$$

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C_m}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C_m}{\partial r} \right)$$

$$z = 0, C_p = C_{pH};$$

$$r = 0, \frac{\partial C_p}{\partial r} = 0;$$

$$r = r_{вн}, C_p = C_p^*;$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } r = r_{вн} \quad \beta_p (C_{pH} - C_p^*) = -D \frac{\partial C_m}{\partial r} \\ \text{при } r = r_{зовн} \quad \beta_{III} (C_{zp}^* - C_{nz}) = -D \frac{\partial C_m}{\partial r} \end{array} \right\}$$

Розв'язання рівнянь перших двох рівнянь при початкових умовах і граничних умовах дозволяє визначити розподіл концентрацій у потоці рідини, яка проходить в мембрані, а також по товщині мембрани в залежності від розмірів мембрани, режимів руху вихідної та парогазової суміші, концентрації органічної домішки в вихідній та парогазовій суміші.

Висновки

Перапораційні процеси займають особливе місце серед мембранних. Це визначається їх ефективністю, енергозбереженням, можливістю проводити тонке розділення сумішей з отриманням

продуктів високої якості, а також їх незаперечною екологічною безпекою.

Запропонована математична модель процесу перапорації органічного компонента через непористу мембрану в каналі круглого перетину, яка може використовуватися для різних перапораційних установок очистки стічних вод. Крім того, ця модель може бути застосована також при моделюванні процесів розділення азеотропних сумішей.

Побудована математична модель дозволяє знайти такий режим роботи установки при якому повністю реалізуються можливості мембрани, а затрати на нагрівання рідини і охолодження конденсату мінімальні.

Список літератури

- 1 **Шапочка, М. К.** Основи екології і економіки природокористування. Навчально-методичні матеріали Сумського державного Університету. [Електронний ресурс] / **М. К. Шапочка.** – Режим доступу: <http://sumdu.telesweet.net/doc/lections/Osnovy-i-ekonomiki-prirodopolzovaniya/8332/index.html>.
- 2 **Шнайдман, Л. О.** Производство витаминов / **Л. О. Шнайдман.** – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 439 с.
- 3 **Яковлев, С. В.** Очистка сточных вод предприятий фармацевтической промышленности / **С. В. Яковлев, Т. А. Карюхин, С. А. Рыбаков.** – М.: Стройиздат. – 1984. – 250 с.
- 4 **Запольський, А. К.** Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник / **А. К. Запольський.** – К.: Вища школа. – 2005. – 671 с.
- 5 **Lipnizki, F.** Use of Pervaporation-Bioreactor Hybrid Processes in Biotechnology / **F. Lipnizki, S. Hausmanns, G. Laufenberg, R. Field, B. Kunz** // *Chem. Eng. Tech.* – 2000. – V.23 №7. – P. 569-577. – doi:10.1002/1521-4125(200007)23:7<569::AID-CEAT569>3.0.CO;2-1.
- 6 **Marion, K. Buckley-Smith** The Use of Solubility Parameters to select membrane materials for Pervaporation of organic mixtures / **K. Marion Buckley-Smith.** – The University of WAIKATO, Hamilton, New Zealand. – 2006. – P. 18-56.
- 7 **Oliveira, T. A. C.** Pervaporation-biological oxidation hybrid process for removal of volatile organic compounds from wastewaters / **T. A. C. Oliveira, J. T. Scarpello, A. G. Livingston** // *J. Membr. Sci.* – 2002. – V.195. – P. 75-88. – doi:10.1016/S0376-7388(01)00555-5.
- 8 **Sumesh, P. T.** Analysis of phase change during pervaporation with single component permeation / **P. T. Sumesh, P. K. Bhattacharya** // *Science Direct. Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects.* – 2006. – No 290. – P. 263-272.
- 9 **Alvarez, Mario E. T.** Prediction and estimation techniques for modeling pervaporation process / **Mario E. T. Alvarez, Elenise B. Moraes, Maria R. W. Maciel** // *16th European Symposium on computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process System Engineering. Published by Elsevier B. V.* – 2006. – P. 619-624. – doi:10.1016/S1570-7946(06)80114-8.
- 10 **Moraes, E. B.** Modeling and Simulation for Pervaporation Process: An Alternative for removing Phenol from Wastewater / **E. B. Moraes, M. E. T. Alvarez, F. R.**

- Perioto, M. R. Wolf-Maciell** // *Separation Process Development Laboratory.School of Chemical Engineering. University of Campinas, Brasil.*
- 11 **Буртная, И. А.** Математическая модель процесса перапарации для бинарных смесей / **И. А. Буртная, Д. В. Литвиненко** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2011. – Т.2, №4 (50). – С. 8-11
 - 12 **Шишацкий, Ю. И.** Определение коэффициента диффузии экстрактивных веществ в сырье растительного происхождения при экстрагировании диоксидам углерода / **Ю. И. Шишацкий, С. Ю. Плюха** // *Университет им. В.И. Вернадского.* – 2011. – Т.4, №35. – С. 95-101.
 - 13 **Буртная, І.** Математична модель процесу сорбції полімерними мембранними елементами рідких органічних речовин / **І. Буртная, Л. Ружинська, М. Мурашко, Л. Руденко** // *Східно-Європейський журнал передових технологій.* – 2014. – Т. 6, № 6(72). – С. 19-23. – doi:10.15587/1729-4061.2014.32027.
 - 14 **Шлихтинг, Г.** Теория пограничного слоя / **Г. Шлихтинг.** – Изд-во «Наука», Москва, – 1974. – 708 с.
- Bibliography (transliterated)**
- 1 **Shapochka, M. K.** Osnovi ekologii i ekonomiki prirodokoristuvannja. Navchal'no-metodichni materiali Sums'kogo derzhavnogo Universitetu. [Fundamentals of Ecology and Environmental Economics. Educational materials Sumy State University] [Web]: <http://sumdu.telesweet.net/doc/lections/Osnovy-ekologii-i-ekonomiki-prirodopolzovaniya/8332/index.html>.
 - 2 **Shnajdman, L. O.** Proizvodstvo vitaminov [Production vitamins]. – Moscow: Pishhevaja promyshlennost', 1973, 439 p.
 - 3 **Jakovlev, S. V., Karjuhina, T. A., Rybakov, S. A.** Ochistka stochnyh vod predpriyatij farmacevticheskoj promyshlennosti [Clean water stochnyh industry enterprises farmatsevticheskoj] – Moscow: Strojizdat, 1984, 250 p.
 - 4 **Zapol'skij, A. K.** Vodopostachannja, vodovidvedennja ta jakist' vodi: Pidruchnik [Water supply, sanitation and quality of water] – Kyiv: Vishha shkola, 2005, 671 p.
 - 5 **Lipnizki, F., Hausmanns, S., Laufenberg, G., Field, R., Kunz, B.** Use of Pervaporation-Bioreactor Hybrid Processes in Biotechnology, *Chemical Engineering & Technology.*, 2000, **23** (7), 569-577, doi:10.1002/1521-4125(200007)23:7<569::AID-CEAT569>3.0.CO;2-1.
 - 6 **Marion, K. Buckley-Smith** The Use of Solubility Parameters to select membrane materials for pervaporation of organic mixtures. The University of WAIKATO, Hamilton, NewZealand, 2006, 18-56.
 - 7 **Oliveira, T. A. C., Scarpello, J. T., Livingston, A. G.** Pervaporation-biological oxidation hybrid process for removal of volatile organic compounds from wastewaters. *Journal of Membrane Science*, 2002, **195**, 75-88, doi:10.1016/S0376-7388(01)00555-5.
 - 8 **Sumesh, P. T., Bhattacharya, P. K.** Analysis of phase change during pervaporation with single component permeation. *ScienceDirect. Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects*, 2006, **290**, 263-272.
 - 9 **Alvarez, Mario E. T., Moraes, Elenise B., Maciel, Maria R. W.** Prediction and estimation techniques for modeling pervaporation process. *16th European Symposium on computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process System Engineering. Published by Elsevier B. V.*, 2006, 619-624, doi:10.1016/S1570-7946(06)80114-8.
 - 10 **Moraes, E. B., Alvarez, M. E. T, Perioto, F. R., Wolf-Maciell, M. R.** Modeling and Simulation for Pervaporation Process: An Alternative for removing Phenol from Wastewater. *Separation Process Development Laboratory.School of Chemical Engineering.University of Campinas, Brasil.*
 - 11 **Burtная, I. A., Litvinenko, D. V.** Matematicheskaja model' processa pervaporacii dlja binarnyh smesej [Mathematical model of pervaporation process for binary mixtures], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2011, **2**(4 (50)), 8-11.
 - 12 **Shishackij, Ju. I., Pljuha, S. Ju.** Opredelenie koeficienta diffuzii jekstraktivnyh veshhestv v syr'e rastitel'nogo proishozhdenija pri jekstragirovanii dioksidam ugljeroda [Determining the diffusion coefficient of extractives in the raw materials of vegetable origin in the extraction of carbon dioxide]. *Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2011, **4**(35), 95-101.
 - 13 **Burtная, Y., Ruzhyn'ska, L., Murashko, M., Rudenko, L.** Matematychna model' protsesu sorbtsiyi polimernymi membrannymi elementami ridkykh orhanichnykh rehovyn [Mathematical model of sorption polymer membrane elements Liquid substances]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, **6**(6(72)), 19-23, doi:10.15587/1729-4061.2014.32027.
 - 14 **Shlihting, G.** Teorija pograničnogo sloja [The theory of the boundary layer]. – Izd-vo «Наука», Moskva, 1974, 708 p.

Відомості про авторів (About authors)

Буртная Інесса Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехніки та інженерії факультету біотехнології і біотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; E-mail: inot-1961@yandex.ru.

Інесса Буртная – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Bioengineering and Engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; E-mail: inot-1961@yandex.ru.

Ружинська Людмила Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехніки та інженерії факультету біотехнології і біотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; E-mail: ruzhli@ukr.net.

Ludmila Ruzhinska – Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Bioengineering and Engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; E-mail: ruzhli@ukr.net.

Руденко Леся Сергіївна – студент (магістрант) кафедри біотехніки та інженерії факультету біотехнології і біотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; E-mail: rudenko.lesia@gmail.com.

Rudenko Lesia – Student (Master), Department of Bioengineering and Engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; E-mail: rudenko.lesia@gmail.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Буртна, І. А. Математична модель масообмінних процесів первапоративного очищення води / **І. А. Буртна, Л. І. Ружинська, Л. С. Руденко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 5-11. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.01.

Please cite this article as:

Burtna, I., Ruzhinska, L., Rudenko, L. Mathematical model of mass transfer processes of pervaporation water purification. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 5-11, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.01.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Буртная, И. А. Математическая модель массообменных процессов первапоративной очистки воды / **И. А. Буртная, Л. И. Ружинская, Л. С. Руденко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 5-11 – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.01.

АННОТАЦИЯ С развитием современного общества возрастает интерес к энергосберегающим и безотходным технологиям. Одними из таковых являются мембранные процессы, а именно первапорация, которая позволяет разделять смеси на отдельные «чистые» компоненты. В данной статье представлен анализ особенностей массообменных процессов при первапорационном разделении жидких органических смесей. Предложена математическая модель процесса, и сформулированы начальные и граничные условия. Показано, что решение данной математической модели позволяет найти такой технологический режим, при котором максимально реализуются возможности мембраны, а энергетические затраты на процесс минимальны.

Ключевые слова: первапорация, мембранные процессы, «чистый» компонент, математическая модель, разделение смесей, водно-органическая смесь.

Надійшла (received) 04.03.2016

УДК 531.46, 678.073

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.02

ВПЛИВ ТИСКУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПО МЕТАЛЕВІЙ ПОВЕРХНІ**В. М. ВИТВИЦЬКИЙ*, О. Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, І. О. МІКУЛЬОНОК***Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, УКРАЇНА***email: vitek5knaz@rambler.ru*

АНОТАЦІЯ Наведено результати проведених досліджень руху полімерного матеріалу в зоні живлення черв'ячного екструдера, а саме дослідження фрикційного режиму руху декількох типів полімерних гранул по поверхні робочих органів машини. Отримано залежності і проаналізовано вплив тиску на коефіцієнт тертя гранульованого полімерного матеріалу по металевій поверхні за різних температур, а також зміну визначених залежностей залежно від геометричних розмірів (висоти шару гранул) робочих органів екструдера, значення отримані при використанні проскопаралельної моделі екструзії.

Ключові слова: полімер, гранула, екструдер, металева поверхня, тертя, навантаження, температура, залежність

INFLUENCE OF PRESSURE AND TEMPERATURE ON THE FRICTION GRANULAR POLYMERIC MATERIALS TO THE METAL SURFACES**V. VYTVYTSKYI*, O. SOKOLSKYI, I. MIKULIONOK,***Department of Chemical, polymer and silica engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE*

ABSTRACT Field of production of plastic products is one of the most important fields of the world economy, problems of polymers have been investigating and disclosing in scientific and technical articles of various periodical publications around the world. The most efficient for processing of polymeric raw materials is extrusion equipment, including screw extruders. The successful establishment of the new equipment and managing the process of recycling depends on the accuracy of account of friction on the surfaces of working machines. The purpose of the research are analysis of movement of polymer granules in a feeding zone in screw extruder, experimental determination of friction coefficient of granulated polymeric material on a metal surface, determination of friction coefficient depends on the load and temperature, and changes defined dependencies on changes geometrical dimensions of the working bodies in the extruder. Research of the material movement in a feeding zone is important and actual task, because the performance of the aforementioned zone determines the productivity of the whole process. The research conducted for the two types of polymer granules – copolymer of ethylene with vinyl acetate (sevilene) and polystyrene. Analysis of the results showed a general decrease of friction coefficient with increasing pressure, but upon reaching the maximum values at almost all curves is a transition through a minimum, after which values is begin to rise. For the sevilene the average friction coefficient is increases with increasing a depth of a channel and for polystyrene – is almost independent of changes a depth of a channel. With increasing a temperature of a working surface value of friction coefficient for sevilene is increases but for polystyrene is decreases. The difference between the described dependencies for two researched types of polymer is explains the different form of granules and their mechanical properties, including the values of strength, friction coefficient, deformation at different temperatures.

Keywords: polymer, granule, extruder, metal surface, friction, stress, temperature, relationship.

Вступ

Галузь виробництва виробів з пластмас є однією із найважливіших галузей світового господарства. Полімери застосовуються майже в усіх напрямках матеріального виробництва й невиробничої сфери, стабільно зростає попит на готові вироби з полімерних матеріалів з боку будівництва, транспорту, сільського господарства, медицини та ін.

Суттєве збільшення виробництва полімерних матеріалів, асортимент яких постійно розширюється, потребує створення високопродуктивного та ресурсо-і енергоефективного обладнання для їх переробки. За результатами теоретичних і практичних досліджень процесів, що проходять під час виготовлення та

використання полімерних матеріалів, публікуються багато різних праць [1 - 6], проблематика полімерів досліджується та розкривається у науково-технічних статтях різних періодичних видань по всьому світу [7 - 10].

Найбільш ефективним для переробки полімерної сировини є екструзійне обладнання, серед якого найчастіше використовуються черв'ячні екструдери [1]. Успішне створення нового обладнання та керування процесом екструзії залежить від точності врахування фрикційного режиму на поверхнях робочих органів машин.

Дослідження руху полімерних матеріалів у зоні живлення черв'ячних екструдерів є важливим і актуальним завданням, оскільки саме продуктивність зазначеної зони визначає продуктивність процесу в

цілому. У зону живлення полімер найчастіше надходить у вигляді сипучих гранульованих матеріалів, потрапляючи крізь завантажувальну лійку 1 (рис. 1) у канал екструдера, де він перебуває у твердому стані і транспортується гвинтовою поверхнею черв'яка 2 вздовж циліндра за рахунок сил тертя.

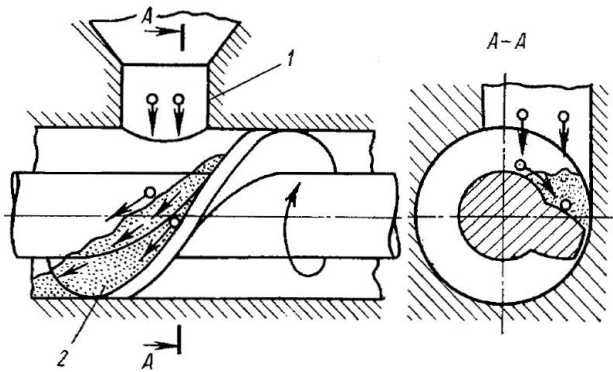


Рис. 1 – Рух матеріалу в каналі черв'яка
1 – завантажувальна лійка, 2 – гвинтова поверхня нарізки черв'яка

Тертя між перероблюваним матеріалом, циліндром і черв'яком відіграє принципову роль як засіб, що створює умови для переміщення та нагрівання матеріалу [2, 3]. До найважливіших параметрів експлуатаційних режимів тертя відноситься вплив навантаження й температури.

Зазвичай коефіцієнти тертя полімерних матеріалів вимірюють по суцільному зразку, нехтуючи взаємодією між окремими частинками [11]. У той же час, у зоні завантаження черв'ячних екструдерів полімер перебуває саме у вигляді твердих гранул, які можуть проковзувати, перекочуватись одна по одній, деформуватися і т. д., що впливає на рух матеріалу відносно робочих органів екструдера.

Мета роботи

Метою проведених досліджень є аналіз процесу руху полімерних гранул у зоні живлення черв'ячного екструдера, експериментальне визначення коефіцієнта тертя гранульованого полімерного матеріалу по металевій поверхні, визначення залежності коефіцієнта тертя від навантаження та температури, а також зміни визначених залежностей від геометричних розмірів (висоти шару гранул) робочих органів екструдера.

Експериментальні дослідження коефіцієнтів тертя гранульованих полімерних матеріалів

У статті наведені експериментальні залежності, що були отримані в результаті дослідження руху полімерних гранул у каналі екструдера з використанням плоскопаралельної моделі

дослідження процесу екструзії [12]. При цьому гвинтовий канал екструдера, утворений нарізкою черв'яка й циліндром, умовно розгортається в площину (рис. 2) і роблять такі припущення: не враховується кривизна каналу, поверхня черв'яка вважається нерухомою, а розгорнута поверхня циліндра такою, що рухається зі швидкістю, яка дорівнює коловій швидкості черв'яка.

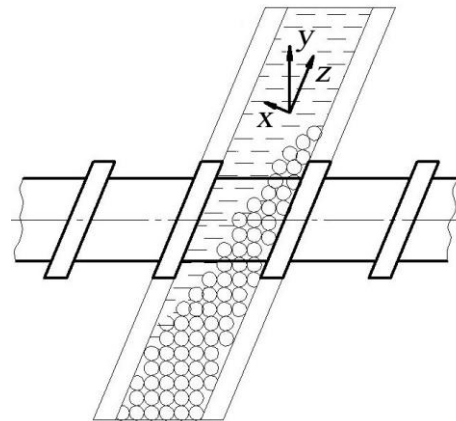


Рис. 2 – Схема плоскопаралельної розгортки каналу екструдера

Процес розглядається в декартовій системі координат, вісь x якої спрямована перпендикулярно гребеню витка, вісь y – по висоті каналу, а вісь z – вздовж розгорнутого каналу (рис. 2). Схему проведення експерименту наведено на рис. 3.

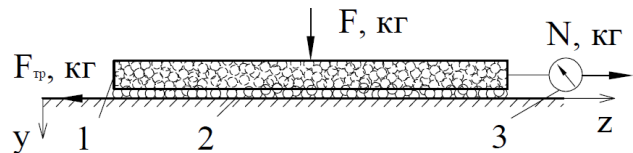


Рис. 3 – Схема проведення експерименту
1 – коробка, 2 – нерухома металева поверхня, 3 – динамометр

У сталеву коробку 1, що імітує собою розгортку поверхні черв'яка, засипали полімерні гранули до повного заповнення ними об'єму коробки. Далі наповнена коробка 1 переверталась таким чином, щоб гранули опинились на плоскій металевій поверхні 2, яка імітує внутрішню поверхню корпуса циліндра. Кількість гранул у коробці була достатньою для того, щоб між нею й нерухомою поверхнею залишався певний зазор у вигляді шару гранул.

Після цього коробка 1 навантажувалась силою F . При прикладенні зусилля у напрямку осі z надавався рух коробки 1 по поверхні 2, при цьому динамометр 3 фіксував значення прикладеного зусилля N . Динамометр з'єднувався з коробкою гнучким тросом. Дослідження проводили із використанням трьох коробок заввишки

$H = 7, 15$ і 23 мм, що відповідає глибині гвинтового каналу екструдера. Співвідношення довжини коробки до її ширини становило не менше п'яти для зниження впливу торцевих поверхонь на тертя.

Коефіцієнт тертя полімерних гранул по металевій поверхні $K_{тр}$ розраховували для різних величин навантаження F за формулою (1). Для відображення залежності між навантаженням і коефіцієнтом тертя також додатково розраховувався тиск P (Па) за формулою (2).

$$K_{тр} = \frac{N}{F}; \quad (1)$$

$$P = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

де S – площа, на яку діє сила F , тобто площа дна коробки, m^2 .

Дослідження проводились для двох типів полімерних гранул – сополімеру етилену з вінілацетатом (севілену) марки 11104-030 (ТУ 6-05-1636-97) та полістиролу марки ПС-С-1-3 (ГОСТ 20282-86), на рис. 4-5 відповідно наведено їх фотознімки.



Рис. 4 – Фотознімок гранул севілену

Результати і висновки

На рис. 6–8 зображено апроксимуючі криві, що показують залежність між коефіцієнтом тертя полімерного матеріалу по металевій поверхні $K_{тр}$ і тиском P за різних досліджуваних температур t , які побудовано з використанням поліноміальної або лінійної апроксимації. Середнє значення достовірності апроксимації по всіх кривих не нижче 0,9.



Рис. 5 – Фотознімок гранул полістиролу

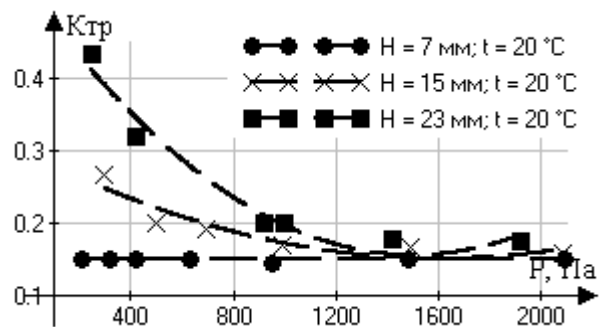


Рис. 6 – Залежність коефіцієнта тертя севілену по металевій поверхні від тиску за різних значень глибини каналу при температурі $t = 20$ °С

На зазначених графіках видно загальне зменшення значень коефіцієнта тертя при збільшенні тиску. Для севілену (рис. 6) середнє значення коефіцієнта тертя збільшується зі збільшенням глибини каналу і одночасно залежність набуває все більш нелінійного характеру, тобто зростає вплив несущальності полімеру.

При збільшенні тиску до максимальних досліджуваних значень майже на всіх кривих відбувається перехід через мінімум, тобто після досягнення певних значень тиску коефіцієнт тертя починає зростати зі збільшенням навантаження. Це можна пояснити тим, що після певних значень тиску шар гранул починає поводити себе подібно до суцільного твердого тіла, залежність коефіцієнта тертя від навантаження якого має в загальному випадку вигляд кривої з мінімумом [12].

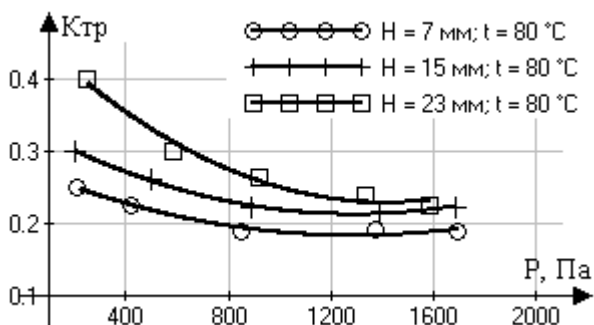


Рис. 7 – Залежність коефіцієнта тертя севілену по металевій поверхні від тиску за різних значень глибини каналу при температурі $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

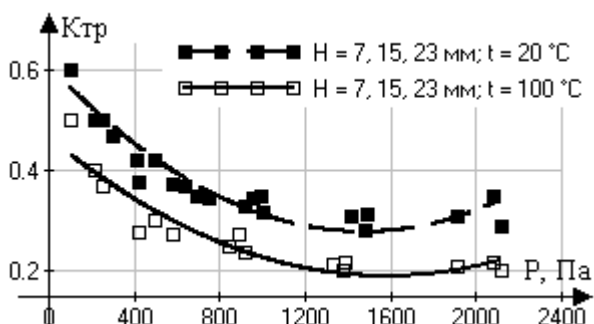


Рис. 8 – Залежність коефіцієнта тертя полістиролу по металевій поверхні від тиску за різних значень глибини каналу при температурах $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Збільшення коефіцієнта тертя внаслідок збільшення глибини каналу можна пояснити тим, що гранули севілену (рис.4) мають округлу форму й можуть проковзувати із обертанням одна відносно одної, проте одночасно є деформованими і внаслідок цього взаємодіють одна з одною, тому при малій товщині шару гранул H вони частково провертаються, а при збільшенні товщини шару гранул – стискаються і рухаються як одне ціле.

Середнє значення коефіцієнта тертя полістиролу (рис. 8) майже не залежить від збільшення глибини каналу, на графіку зображена одна апроксимуюча крива за результатами вимірювань для трьох значень глибини H . Це можна пояснити тим, що його гранули мають не сферичну форму, а форму приплюснутих циліндрів з гострими гранями (рис.5), і майже не деформівні, тому провертання та стискання майже відсутнє, і шар гранул під час руху поводить себе як тверде тіло, тобто як єдине ціле, навіть за незначного навантаження.

За певних значень прикладеного навантаження графік залежності коефіцієнта тертя полістиролу по металевій поверхні від тиску (рис. 8) має перехід через мінімум аналогічно севілену.

При збільшенні температури поверхні, по якій відбувається рух гранул, значення коефіцієнта тертя для севілену (рис. 7) зростає, а для полістиролу (рис. 8) – навпаки, зменшується. Це можна пояснити різними механічними властивостями досліджуваних полімерів, зокрема значеннями міцності, коефіцієнта тертя, деформованістю за різних температур, що підтверджується багатьма дослідженнями, описаними у [11].

Список літератури

- 1 **Tadmor, Z.** Principles of Polymer Processing / **Z. Tadmor, C. Gogos.** – A John Wiley & Sons, Inc. – 2006. – 984 p.
- 2 **Rauwendaal, C.** Understanding extrusion / **C. Rauwendaal** // Munich: Hanser Publishers. – 2010. – 231 p.
- 3 **Rauwendaal, C.** Polymer extrusion / **C. Rauwendaal** // Munich: Hanser Publishers. – 2014. – 934 p.
- 4 **Noriega, P.** Troubleshooting the extrusion process: a systematic approach to solving plastic extrusion problems / **P. Noriega, C. Rauwendaal** // Munich: Hanser Publishers. – 2010. – 208 p.
- 5 **Bausser, M.** Extrusion: Second Edition / **M. Bausser, C. Sauger, K. Siehert;** transl. from German by **A. F. Castle** // Ohio: ASM International. – 2006. – 592 p.
- 6 **White, J. L.** Screw Extrusion: Science and Technology / **J. L. White, H. Potente, U. Berghaus** // Munich: Hanser Publishers. – 2003. – 444 p.
- 7 **Potente, H.** Polymer pellet flow out of the hopper into the first section of a single screw / **H. Potente, T. C. Pohl** // International polymer processing. – 2002. – № 17. – P. 11-29. – doi:10.3139/217.1670.
- 8 **Mikulionok, I. O.** Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder / **I. O. Mikulionok, L. B. Radchenko** // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2012. – Vol. 85, № 3. – P. 505-514. – doi:10.1134/S1070427211030317
- 9 **Hogan, T. A.** Performance analysis of a variable barrier energy transfer screw / **T. A. Hogan, M. A. Spalsing, E. K. Kim, R. Barr, J. Meyers** // SPE ANTEC Tech. Papers. – 2003. – P. 92-97.
- 10 **Rauwendaal, C.** Screw design for cooling extruders / **C. Rauwendaal** // SPE ANTEC Tech. Papers. – 2004. – P. 278-282.
- 11 **Пахаренко, В. А.** Теплофизические и реологические характеристики и коэффициенты трения наполненных термопластов : справочник / **В. А. Пахаренко, В. Г. Зверлин, В. П. Привалко** и др. // К. : Наук. Думка. – 1983. – 290 с.
- 12 **Мікульонок, І. О.** Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / **І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко.** – К.: НТУУ "КПІ". – 2015. – 200 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Tadmor, Z., Gogos, C.** Principles of Polymer Processing. A John Wiley & Sons, Inc., 2006, 984 p.
- 2 **Rauwendaal, C.** Understanding extrusion. Munich: Hanser Publishers, 2010, 231 p.
- 3 **Rauwendaal, C.** Polymer extrusion. Munich: Hanser Publishers, 2014, 934 p.
- 4 **Noriega, P., Rauwendaal, C.** Troubleshooting the extrusion process: a systematic approach to solving plastic extrusion problems. Munich: Hanser Publishers, 2010, 208 p.

- 5 **Bausser, M., Sauer, C., Siebert, K.** Extrusion: Second Edition. *Ohio: ASM International*, 2006, 592 p.
- 6 **White, J. L., Potente, H., Berghaus, U.** Screw Extrusion: Science and Technology. *Munich: Hanser Publishers*, 2003, 444 p.
- 7 **Potente, H., Pohl, T. C.** Polymer pellet flow out of the hopper into the first section of a single screw. *International polymer processing*, 2002, **17**, 11-29, doi: 10.3139/217.1670
- 8 **Mikulionok, I. O., Radchenko, L. B.** Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2012, **3(15)**, 505-514, doi:10.1134/S1070427211030317.
- 9 **Hogan, T. A., Spalsing, M. A., Kim, E. K., Barr, R., Meyers, J.** Performance analysis of a variable barrier energy transfer screw. *SPE ANTEC Tech. Papers*, 2003, 92-97.
- 10 **Rauwendaal, C.** Screw design for cooling extruders. *SPE ANTEC Tech. Papers*, 2004, 278-282.
- 11 **Paharenko, V. A., Zverlin V. G., Privalko V. P.** and others. Thermal and rheological characteristics and the coefficients of friction of filled thermoplastics: A Handbook. K.: Nauk. dumka, 1983, 290 p.
- 12 **Mikulionok, I. O., Sokolskyi, O. L., Sivetskyi, V. I., Radchenko, L. B.** Fundamentals of design single worm extruders: Tutorial. Kijiv: NTUU KPI, 2015, 200 p.

Відомості про авторів (About authors)

Витвицький Віктор Миронович – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», магістрант кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; м. Київ, Україна; e-mail: vitek5knaz@rambler.ru

Vyvytskyi Viktor – master student, Chair of Chemical, polymer and silica engineering, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine; e-mail: vitek5knaz@rambler.ru

Сокольський Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; м. Київ, Україна; e-mail: sokolkiev@ukr.net

Sokolskyi Oleksandr – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Chair of Chemical, polymer and silica engineering, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine; e-mail: sokolkiev@ukr.net

Мікульонок Ігор Олегович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; м. Київ, Україна; e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Mikulionok Ihor – Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor, Chair of Chemical, polymer and silica engineering, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine; e-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Витвицький В. М. Вплив тиску та температури на коефіцієнт тертя гранульованих полімерних матеріалів по металевій поверхні / **В. М. Витвицький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 12-16. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.02.

Please cite this article as:

Vyvytskyi, V., Sokolskyi, O., Mikulionok, I. Influence of pressure and temperature on the friction granular polymeric materials to the metal surfaces. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 12-16, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.02.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Витвицкий В. М. Влияние давления и температуры на коэффициент трения гранулированных полимерных материалов по металлической поверхности / **В. М. Витвицкий, О. Л. Сокольский, И. О. Микүлѐнок** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 12-16. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.02.

АННОТАЦІЯ Приведены результаты проведенных исследований движения полимерного материала в зоне питания червячного экструдера, а именно исследования фрикционного режима движения некоторых типов полимерных гранул по поверхности рабочих органов машины. Получены зависимости и проанализировано влияние давления на коэффициент трения гранулированного полимерного материала по металлической поверхности при разных температурах, а также изменение определенных зависимостей в зависимости от геометрических размеров (высоты слоя гранул) рабочих органов экструдера, значения получены при использовании плоскопараллельной модели экструзии

Ключевые слова: полимер, гранулы, экструдер, металлическая поверхность, трение, нагрузка, температура, зависимость.

Надійшла (received) 15.03.2016

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03

ВЛИЯНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ИНЕРЦИОННО-ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ МНОГОМАССОВЫХ СИСТЕМ

А. В. ГРАБОВСКИЙ

*Кафедра теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА
email: grabovskiy@tmm-sapr.org*

АННОТАЦИЯ В статье исследуются собственные частоты и соответствующие им собственные формы многомассовой системы. В качестве расчетной была выбрана система с 3мя степенями свободы. Исследования выполняются на основе функции Рэлея. В то же время результаты расчета сравниваются с решением, полученным методом Даламбера. В процессе расчета была выполнена оценка влияния жесткости всех упругих и массовых элементов. Построены зависимости решений от изменения входных параметров, выполнен анализ результатов.

Ключевые слова: Свободные колебания, динамическая система, собственные частоты, собственные формы колебаний, функция Рэлея, чувствительность.

THE EFFECT OF VARIABLE INERTIA-STIFFNESS PARAMETERS ON DYNAMIC MULTI-MASS SYSTEMS

A. GRABOVSKIY

*Department theory and systems of automated design of mechanisms and machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE
email: grabovskiy@tmm-sapr.org*

ABSTRACT The article investigates the natural frequencies and the corresponding mode shapes multimass own system. The review, which shows the current situation in the field of study of free oscillations using Rayleigh method. In the above operation was calculated as the chosen system with 3 degrees of freedom. A mathematical apparatus for the study of the dynamic characteristics of dynamic multibody systems. Research carried out in an analytical form based on the Rayleigh function with the Maple. At the same time, the calculation results are compared with the solution obtained by d'Alembert. The results are presented in the form of a surface in three-dimensional space, which describes the function of the Rayleigh solutions to such figure are orthogonal to each other. It also provides cross-section of the figure in the sections, in which the minimum of the function (1st natural frequency), a saddle point (2nd natural frequency) and a maximum function (third natural frequency) in the polar coordinate system. By varying the stiffness characteristics of the inertial-changing spectrum of natural frequencies and natural modes. This represents the interests of the development of methods of operational analysis of the reaction spectrum of the natural vibration frequencies and their own forms of vibrations to such variation. This was shown in the presented article. They were built according to decisions on the change of the input parameters. The analysis of the results. The paper also set goals for further research.

Keywords: Free vibration analysis, dynamic system, eigen mode, Rayleigh function, sensitivity

Введение

Как известно [1], основными динамическими характеристиками многомассовых механических систем является спектр собственных частот колебаний и набор собственных форм колебаний.

Многие авторы и в настоящее время исследуют спектр собственных частот и собственных форм колебаний с использованием различных методов. Например, в работе [2] авторы исследуют указанные характеристики для прямоугольных пластин с использованием функций Бесселя. А в работе [3] исследуются динамические характеристики стержней с функционально-зависимым материалом. Другие авторы [4] также применяют метод Рэлея-Ритца для исследования колебаний прямоугольных пластин с вырезами. Также встречаются работы, в которых авторы используют метод Рэлея-Ритца, чтобы

получить динамическую модель для анализа свободных колебаний круговой цилиндрической оболочки [5]. Метод Рэлея-Ритца также используется для определения характеристик расположения упругой точки опоры, чтобы получить минимальную жесткость на второй частоте незакрепленной прямоугольной пластины, которая обычно представляет собой верхний предел первой частоты при одном закреплении [6]. Особенностью решения таких задач является то, что оно имеет периодическое решение [7].

Однако в литературе не встречаются работы, в которых авторы управляют собственными формами системы для улучшения динамических характеристик машиностроительных конструкций.

При варьировании инерционно-жесткостных характеристик (ИЖХ) изменяется и спектр собственных частот колебаний, и собственные формы

колебаний. В связи с этим представляет интерес разработка методов оперативного анализа реакции спектра собственных частот колебаний и собственных форм колебаний на такое варьирование. Это составляет цель данной статьи

Постановка задачи

В ряде работ [8] для анализа чувствительности собственных частот колебаний динамической системы на варьирование ее инерционно-жесткостных характеристик предложен способ линеаризации поверхности отклика по т.н. «реперным» решениям. Они представляют собой точные решения задачи об определении собственных частот колебаний при конечном варьировании инерционно-жесткостных характеристик. В работах [9, 10] этот подход распространен и на собственные формы колебаний.

В данной работе на примере многомассовой динамической системы линейной структуры (рис. 1) описан подход, алгоритмы и установлены особенности изменения собственных частот колебаний и собственных форм колебаний при варьировании инерционно-жесткостных характеристик.

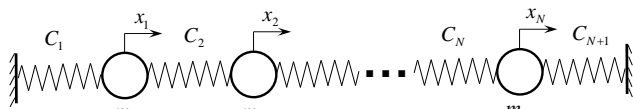


Рис. 1 – Многомассовая динамическая система

Методика исследования

Рассматриваемая система описывается при помощи обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$m_i \ddot{x}_i + C_i(x_i - x_{i-1}) + C_{i+1}(x_i - x_{i+1}) = 0; \quad (1)$$

$$x_0 \equiv 0; \quad x_{N+1} \equiv 0; \quad i = 1, \dots, N.$$

Т.о., если (1) представить в виде

$$M\ddot{X} + CX = 0; \quad X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}^T, \quad (2)$$

то в (2) фигурирует диагональная матрица масс:

$$M = \text{diag}(m_i) \quad (3)$$

и трехдиагональная матрица жесткости

$$C = \begin{pmatrix} (C_1 + C_2) & -C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C_2 & (C_2 + C_3) & -C_3 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -C_i & (C_i + C_{i+1}) & -C_{i+1} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C_N & (C_N + C_{N+1}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Для частного решения такой системы

$$x = \lambda \sin(\omega t) \quad (5)$$

можно получить систему уравнений для определения собственных частот колебаний и собственных форм колебаний:

$$\text{Det}(C - \omega^2 M) = 0; \quad (C - \omega^2 M)\lambda = 0. \quad (6)$$

Для решения (6), т.е. определения собственных частот колебаний \$\omega_i\$ и соответствующих форм \$\lambda_i\$, можно использовать либо методы линейной алгебры [11], либо метод с использованием функции Рэлея:

$$\omega_k^2 = \min R = \min \frac{\sum C_{ij} \lambda_{ki} \lambda_{kj}}{\sum m_{ij} \lambda_{ki} \lambda_{kj}}, \quad k, i, j = 1, \dots, N. \quad (7)$$

В (7) ищется минимум \$R\$ на псевдосфере \$\sum \lambda_{ij}^2 = 1\$, а затем – условные минимумы, на которых \$\lambda_{se}^{(j)}\$, нормальны всем предыдущим их наборам \$\lambda_{mn}\$, \$m = 1, \dots, (s-1)\$.

В работе с применением и первого, и второго способа предлагается определять собственные частоты колебаний и собственные формы колебаний, причем отличительной способностью является способ задания степени варьирования инерционно-жесткостных характеристик. Так, предлагается элементы матрицы масс и жесткостей изменять с использованием параметров \$q\$ и \$r\$:

$$m_i(q_i) = m_{0i} t g q_i, \quad (8)$$

$$C_i(r_i) = C_{0i} t g r_i, \quad (9)$$

где параметры с индексами «0» соответствуют номинальным значениям инерционно-жесткостных характеристик, а параметры \$q, r \in \left]0; \frac{\pi}{2}\right[\$.

Тогда, введя в рассмотрение безразмерные характеристики

$$\bar{\omega}_i(q, r) = \text{arctg} \left[\omega_i(q, r) / \omega_i\left(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}\right) \right], \quad (9)$$

$$\bar{\lambda}_y(q, r) = \arctg \left[\lambda_y(q, r) / \lambda_y \left(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4} \right) \right], \quad (10)$$

можно путем изменения всех компонент массивов $q = \{q_1, \dots, q_N\}^T$, $r = \{r_1, \dots, r_N\}^T$ в интервале $q, r \in \left] 0; \frac{\pi}{2} \right[$ охватить все множество возможных сочетаний инерционно-жесткостных характеристик, а массивы параметров $\bar{\omega} = \{\bar{\omega}_1, \dots, \bar{\omega}_N\}^T$ и $\bar{\lambda} = (\bar{\lambda}_y)$ отразят степень реакции динамической системы на варьирование инерционно-жесткостных характеристик.

Численные результаты.

Оба предложенных способа анализа собственных частот колебаний и собственных форм колебаний многомассовой системы на варьирование ее динамических характеристик получили программную реализацию в среде Maple. В качестве исходных данных фигурируют: число степеней свободы N системы; массы m_{i0} и жесткости C_{i0} , а также наборы q , r (или интервалы изменения). На выходе – параметры ω_{i0} , λ_{y0} для системы с номинальными параметрами и массивы $\bar{\omega}$, $\bar{\lambda}$.

На рис. 2 - 8 представлены результаты решения ряда задач с линейным варьированием инерционно-жесткостных характеристик в окрестности их номинальных значений:

$$m_i = m_{i0}(1 + \alpha_i), \quad (11)$$

$$C_i = C_{i0}(1 + \beta_i). \quad (12)$$

Имеется ввиду, что на рис. 2 – 8 функция R и ее сечения представлены в своих главных координатах.

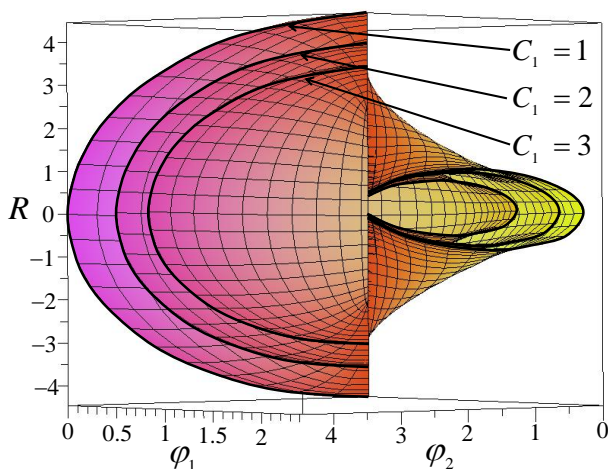


Рис. 2 – Внешний вид функции R при варьировании жесткости i й пружины
1) $\beta_1 = 0$; 2) $\beta_2 = 1$; 3) $\beta_3 = 2$.

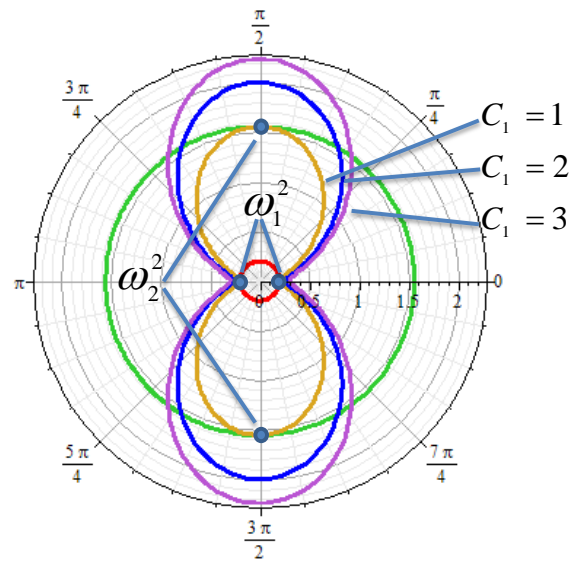


Рис. 3 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_1, ω_2 3х мерной фигуры при варьировании жесткости i й пружины

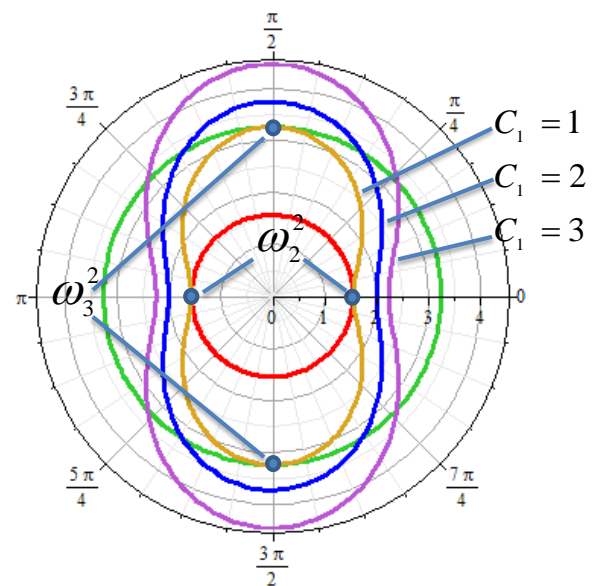


Рис. 4 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_2, ω_3 3х мерной фигуры при варьировании жесткости i й пружины

На рис. 3 - 8 отражены характерные трансформации сечений функции Рэлея при варьировании параметров q, r .

Анализ полученных результатов свидетельствует, с одной стороны, о достаточно существенном изменении $\bar{\omega}$, $\bar{\lambda}$ при стремлении $q \rightarrow 0$, $r \rightarrow 0$, $q \rightarrow \frac{\pi}{2}$, $r \rightarrow \frac{\pi}{2}$, а с другой –

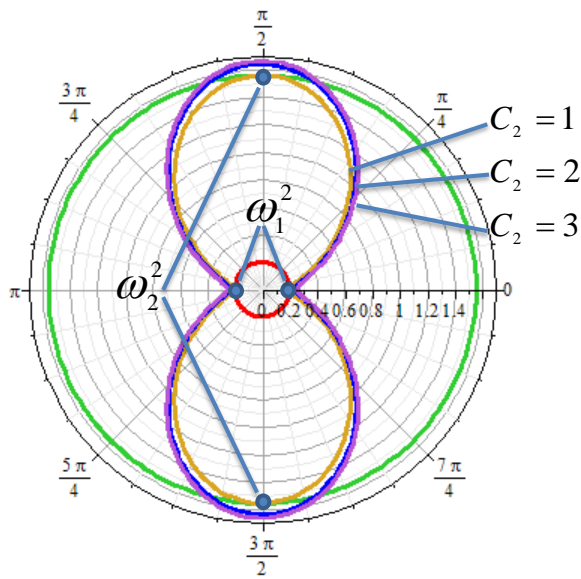


Рис. 5 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_1, ω_2 3х мерной фигуры при варьировании жесткости 2й пружины

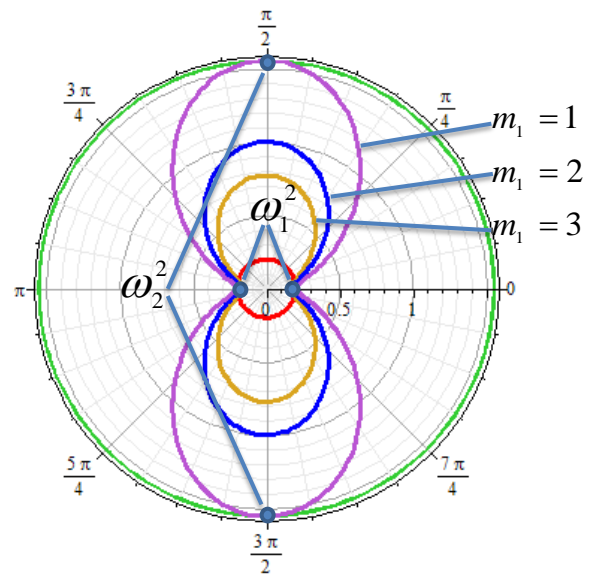


Рис. 7 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_1, ω_2 3х мерной фигуры при варьировании жесткости 2й пружины

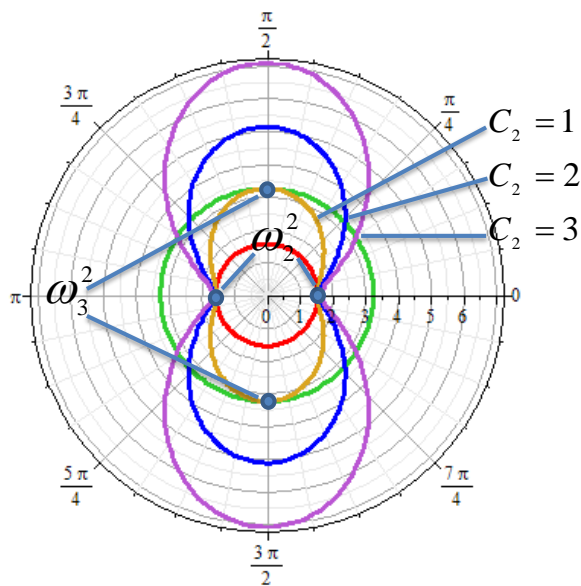


Рис. 6 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_2, ω_3 3х мерной фигуры при варьировании жесткости 2й пружины

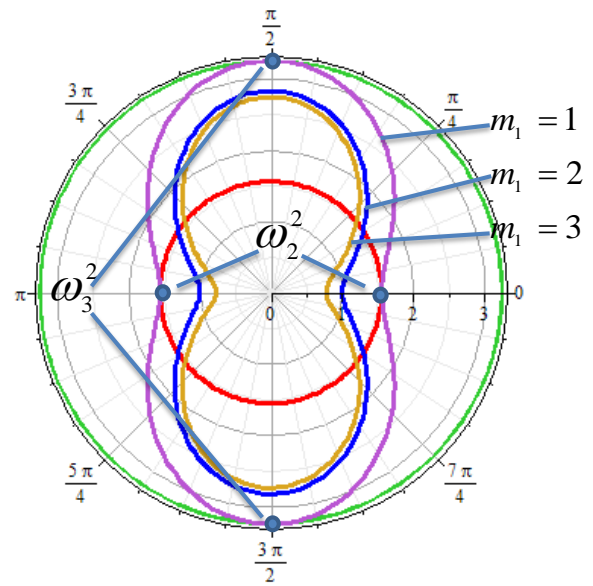


Рис. 8 – Изменение характерного сечения в плоскости ω_2, ω_3 3х мерной фигуры при варьировании жесткости 2й пружины

о практически линейном характере такого изменения в окрестности $q = \frac{\pi}{4}, r = \frac{\pi}{4}$.

Выводы

Из полученных результатов можно сделать вывод о применимости линеаризации динамических

характеристик многомассовых систем (т.е. их собственных частот колебаний и собственных форм колебаний) в окрестности точки параметрического пространства с номинальным их набором.

В дальнейшем планируется применить предложенный подход к стержневой системе и показать, как будут меняться собственные частоты и собственные формы при варьировании инерционно-жесткостных характеристик такой системы.

Список литературы

Bibliography (transliterated)

- 1 **Бабаков, И. М.** Теория колебаний: учебное Пособие / **И. М. Бабаков.** – М.: Дрофа. – 2004. – 591 с.
- 2 **Chakraverty, S.** Free vibration of non-uniform nanobeams using Rayleigh-Ritz method / **S. Chakraverty, Laxmi Behera** // *World Journal of Mechanics.* – 2012. – 2. – P. 297-310. – doi:10.4236/wjm.2012.26036.
- 3 **Liu, A. Q.** Exact Solutions for Free-Vibration Analysis of Rectangular Plates Using Bessel Functions / **A. Q. Liu, H. L. Chen** // *Journal of Applied Mechanics.* – 2007. – 74. – P. 1247-1251. – doi:10.1115/1.2744043.
- 4 **O'Boy, D. J.** Vibration of a rectangular plate with a central power-law profiled groove by the Rayleigh-Ritz method / **D. J. O'Boy, V.V. Krylov** // *Applied Acoustics.* – 2016. – 104. – P. 24-32. – doi:10.17028/rd.lboro.2005377.v1.
- 5 **HyunWook Lee** Free vibration analysis of a circular cylindrical shell using the Rayleigh-Ritz method and comparison of different shell theories / **HyunWook Lee, Moon K.** // *Journal of Sound and Vibration.* – 2015. – Volume 353. – P. 344-377. – doi:10.1016/j.jsv.2015.05.028.
- 6 **Wang, D.** Minimum stiffness location of point support for control of fundamental natural frequency of rectangular plate by Rayleigh-Ritz method / **D. Wang, Z. C. Yang, Z. G. Yu** // *Journal of Sound and Vibration.* – 2010. – Volume 329. – P. 2792-2808. – doi:10.1016/j.jsv.2010.01.034.
- 7 **Yaqiong Li** New results of periodic solutions for forced Rayleigh-type equations / **Yaqiong Li, Lihong Huang** // *Journal of Computational and Applied Mathematics.* – 2008. – Volume 221. – P. 98-105, doi:10.1016/j.cam.2007.10.005.
- 8 **Танченко, А. Ю.** Метод прямого конечного возмущения численных моделей при исследовании динамических, жесткостных и прочностных характеристик тонкостенных элементов машиностроительных конструкций / **А. Ю. Танченко, А. В. Литвиненко, А. Д. Чепурной, Ю. В. Костенко, Н. А. Ткачук** // *Вестник Брянского государственного технического университета.* – Брянск. – 2014. – № 4(44). – С. 114-124.
- 9 **Грабовский, А. В.** Чувствительность собственных форм колебаний систем с несколькими степенями свободы к варьированию параметров динамической системы / **А. В. Грабовский, Н. А. Ткачук, Н. Н. Ткачук, А. Ю. Танченко, И. В. Мазур** // *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Транспортное машиностроение.* – Х.: НТУ «ХПИ». – 2015. – № 43. – С. 25 - 29.
- 10 **Грабовский, А. В.** Зависимость собственных частот и собственных форм колебаний от инерционно-жесткостных характеристик систем с конечным числом степеней свободы / **А. В. Грабовский** // *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – № 46. – С. 11 - 16.
- 11 **Геворкян, Ю. Л.** Основы линейной алгебры и её приложений в технике: Учебник / **Ю. Л. Геворкян, А. Л. Григорьев.** – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. – 542 с.
- 1 **Babakov, I. M.** Teoriya kolebaniy: ucheb. Posobie. [Theory of oscillations: Textbook]. Moscow: Drofa, 2004, 591 p.
- 2 **Chakraverty, S., Laxmi Behera** Free vibration of non-uniform nanobeams using Rayleigh-Ritz method. *World Journal of Mechanics.* 2012, **2**, 297 - 310. doi:10.4236/wjm.2012.26036.
- 3 **Liu, A. Q., Chen, H. L.** Exact Solutions for Free-Vibration Analysis of Rectangular Plates Using Bessel Functions. *Journal of Applied Mechanics*, 2007, **74**, 1247 - 1251, doi:10.1115/1.2744043.
- 4 **O'Boy, D. J., Krylov, V. V.** Vibration of a rectangular plate with a central power-law profiled groove by the Rayleigh-Ritz method, *Applied Acoustics*, 2016, **104**, 24 - 32 doi:10.17028/rd.lboro.2005377.v1.
- 5 **HyunWook Lee, Moon K.** Free vibration analysis of a circular cylindrical shell using the Rayleigh-Ritz method and comparison of different shell theories. *Journal of Sound and Vibration*, 2015, **353**, 344-377, doi:10.1016/j.jsv.2015.05.028.
- 6 **Wang, D., Yang, Z. C., Yu, Z. G.** Minimum stiffness location of point support for control of fundamental natural frequency of rectangular plate by Rayleigh-Ritz method. *Journal of Sound and Vibration*, 2010, **329**, 2792 - 2808, doi:10.1016/j.jsv.2010.01.034.
- 7 **Yaqiong Li, Lihong Huang** New results of periodic solutions for forced Rayleigh-type equations. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008, **221**, 98 - 105, doi:10.1016/j.cam.2007.10.005.
- 8 **Tanchenko, A. Yu. Litvinenko, A. V., Chepurnoy, A. D., Kostenko, Yu.V., Tkachuk, N. A.** Metod pryamogo konechnogo vozmushcheniya chislennykh modeley pri issledovanii dinamicheskikh, zhestkostnykh i prochnostnykh kharakteristik tonkostennykh elementov mashinostroytel'nykh konstruksiy. [The method of direct perturbation of the final numerical models in the study of dynamic, stiffness and strength properties of thin-walled elements of machine construction]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* Brynsk, 2014, **4(44)**, 114 - 124.
- 9 **Grabovskiy, A. V., Tkachuk, N. A., Tkachuk, N. N., Tanchenko, A. Yu., Mazur, I. V.** Chuvstvitel'nost' sobstvennykh form kolebaniy sistem s neskol'kimi stepenyami svobody k var'irovaniyu parametrov dinamicheskoy sistemy. [The sensitivity of the natural modes of systems with several degrees of freedom to variations in the parameters of the dynamic system]. *Bulletin of NTU «KhPI». Seriya: Transportnoe mashinostroenie.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, **43**, 25 - 29.
- 10 **Grabovskiy, A. V.** Zavisimost' sobstvennykh chastot i sobstvennykh form kolebaniy ot inertsiionno-zhestkostnykh kharakteristik sistem s konechnym chislom stepeney svobody. [The dependence of natural frequencies and natural modes of inertial stiffness characteristics of systems with a finite number of degrees of freedom]. *Bulletin of NTU «KhPI». Seriya: Novye resheniya v sovremennykh tekhnologiyakh.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, **46**, 11 - 16.
- 11 **Gevorkyan, Yu. L., Grigor'yev, A. L.** Osnovy lineynoy algebry i ee prilozheniy v tekhnike: Uchebnik. [Basics of linear algebra and its applications in engineering: Textbook]. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2002, 542 p.

Сведения об авторах (About authors)

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

Andrey Grabovskiy – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Department theory and systems of automated design of mechanisms and machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Грабовский, А. В. Влияние варьируемых инерционно-жесткостных параметров на характеристики динамических многомассовых систем / **А. В. Грабовский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 17-22, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03.

Please cite this article as:

Grabovskiy, A. The effect of variable inertia-stiffness parameters on dynamic multi-mass systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 17-22. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Грабовський, А. В. Вплив варіюваних інерційно-жорсткісних параметрів на характеристики динамічних багатомасових систем / **А. В. Грабовський** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 17-22. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.03.

АНОТАЦІЯ У статті досліджуються власні частоти і відповідні їм власні форми багатомасової системи. В якості розрахункової була обрана система з 3ма ступенями свободи. Дослідження виконуються на основі функції Релея. У той же час результати розрахунку порівнюються з рішенням, отриманим методом Даламбера. У процесі розрахунку була виконана оцінка впливу жорсткості всіх пружних і масових елементів. Побудовано залежності рішень від зміни вхідних параметрів, виконаний аналіз результатів.

Ключові слова: Вільні коливання, динамічна система, власні частоти, власні форми коливань, функція Релея, чутливість.

Поступила (received) 17.03.2016

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

О. А. ИЩЕНКО¹, А. В. ТКАЧУК², А. В. ГРАБОВСКИЙ^{2*}, Н. А. ДЕМИНА¹

¹ Кафедра высшей математики и физики, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, УКРАИНА

² Кафедра теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, УКРАИНА

*email: grabovskiy@tmm-sapr.org

АННОТАЦИЯ В статье описан новый подход к формированию расчетных моделей для элементов разделительных штампов. Предложено формировать комплексную модель, учитывающая условия силового и кинематического сопряжения базовых плит, пакета и направляющих колонок. В созданных моделях учтен множественный контакт элементов штампов. Также обеспечено построение параметрических моделей. Эти модели позволяют организовывать многовариантные расчеты напряженно-деформированного состояния. На основе анализа результатов этих расчетов определяются рациональные проектно-технологические параметры разделительных штампов.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, разделительный штамп, базовая плита, расчетная модель, метод конечных элементов.

FORMATION OF COMPLEX COMPUTABLE MODELS OF DIES ELEMENTS FOR SHEARING OPERATIONS

O. A. ISHCENKO¹, A. V. TKACHUK², A. V. GRABOVSKIY², N. A. DEMINA¹

¹Higher Mathematics and Physic Department, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

²Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The new approach in computable models formation for the shearing dies elements is described in the article. It has been suggested to form a comprehensive model which takes into account the conditions of power and kinematic connection between the base plates, the package and the guideposts. The designed models consider the multiple contacts between dies elements. The construction of the parameter-oriented models is also ensured. These models make it possible to organize multiple calculations of stress-strain state. It has been established that consideration of the contact interaction conditions significantly alter the results of the stress-strain state of the dies elements. A substantial disparity of the stresses distribution in the elements of dies was defined. Stress concentration zones have been identified. Maximum stresses which strongly nonlinearly depend on design parameters were revealed. Reasonable design and production parameters of the shearing die are determined after the analysis of the calculations results.

Keywords: the stress-strain state, shearing die, base plates, design model, finite-element method

Введение

Во многих работах [1-11] исследуется напряженно-деформированное состояние элементов разделительных штампов. При этом расчетные схемы элементов исследованных штампов строятся либо на основе выделения отдельных деталей штампов (в данном случае действие остальных заменяется соответствующими граничными условиями и усилиями нагружения), либо на основе исследования отдельные групп деталей. Например, в работе [2] использованы "изолированные" расчетные схемы (то есть напряженно-деформированное состояние (НДС) исследуется для отдельно взятых матриц, базовых плит, съемников и т. д.). В работе [1] строятся низкоуровневые расчетные схемы, объединяющие условиями контактного сопряжения только 2÷3 соседние детали (например, матрицу и пуансон, взаимодействующие через штампуемый материал или нижнюю базовую плиту штампа в контакте с подштамповой плитой прессы). В

тоже время разделительный штамп характеризуется как раз комплексным взаимодействием всех деталей и сборок. В связи с этим актуальной задачей является разработка комплексных расчетных схем элементов штампов для разделительных операций, которые интегрируют в себе все их основные сопрягаемые детали и узлы. На решение этой задачи направлена данная работа.

Формирование комплексных расчетных схем элементов разделительных штампов

Рассмотрен новый подход к формированию комплексных расчетных схем элементов разделительных штампов, базирующийся на системном анализе технологических систем "пресс – штамп – режущие части – заготовка". Следуя работе [1], рассмотрим разноразмерные подсистемы данной технологической системы. Однако, в отличие от подсистемы самого нижнего уровня (рис. 1 [1]), предлагается рассмотреть систему

среднего уровня. В этой подсистеме присутствуют все основные элементы, обеспечивающие рабочий процесс штамповки, базирование и взаимное относительное движение частей штампов.

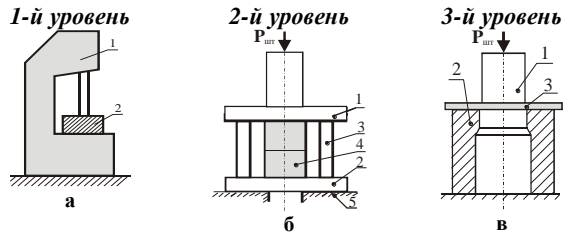


Рис. 1 – Подсистемы технологической системы "пресс – штамп – режущие части – заготовка":

а – пресс 1 и штамп 2; б – верхняя и нижняя плиты штампа 1 и 2, колонки 3, пакет 4 и подштамповая плита 5; в – пуансон 1, матрица 2 и штампуемый материал 3

Для формирования комплексных расчетных схем исследуем основные элементы разделительного штампа, вступающие в силовое взаимодействие (рис. 2).

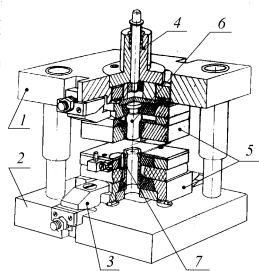


Рис. 2 – Взаимодействие элементов разделительных штампов на примере конструкции УСПШ совмещенного действия:
1 – верхняя базовая плита;
2 – нижняя базовая плита;
3 – прихватки; 4 – хвостовик;
5 – пакет; 6 – пуансон;
7 – матрица

Основные элементы штампа базируются на нижней и верхней базовых плитах. Основное рабочее движение осуществляется путем перемещения верхней базовой плиты по направляющим колонкам. При этом в силу деформирования нижней базовой плиты штампа колонки, в них запрессованные или соединенные при помощи склеивания (например, заливкой зазора между колонкой и плитой эпоксидным компаундом или иным твердеющим составом), деформируются, вступая в верхней части в зоне направляющих отверстий в контактное сопряжение с верхней базовой плитой. Во время такого взаимодействия возникают нормальные и касательные (от трения) усилия, включаемые в силовые потоки в технологической подсистеме "стол пресса – блок штампа – пакет – заготовка". Одновременно ответные усилия оказывают обратное воздействие на нижнюю базовую плиту. Таким образом, точный расчет этих усилий возможен только на основе анализа контактного взаимодействия, в которое опосредованно вовлечены не только соседние, непосредственно механически сопрягаемые, но и удаленные друг от друга элементы штампов.

Кроме рассмотренных элементов, необходимо также учесть контактное взаимодействие в сопряжении "пакет – нижняя базовая плита" и в сопряжении "нижняя базовая плита – подштамповая плита пресса".

На рис. 3 представлены элементы исследуемой технологической системы и соответствующие характер-

ные зоны контактного взаимодействия. Здесь k_1 – контакт "колонки – верхняя базовая плита"; k_2 – контакт "колонки – фиксирующий слой – нижняя базовая плита"; k_3 – плоскость опирания нижней базовой плиты на подштамповую плиту штампа; k_4 – плоскость опирания пакета на нижнюю базовую плиту.

Таким образом, комплексная расчетная схема разделительного штампа предполагает наличие множественного контакта в сопряжениях элементов штампа. При этом усилия, возникающие между контактирующими элементами, определяются в ходе решения самой контактной задачи, будучи в ней дополнительными неизвестными. В этом состоит принципиальное отличие создаваемой комплексной расчетной схемы от ранее использованных [1, 2].

Задача 1. В качестве иллюстрации рассмотрим контактное взаимодействие тестовой конструкции, схема которой на рис. 4: сменный пакет воздействует на нижнюю базовую плиту, опирающуюся на подштамповую плиту пресса. Варьируются: диаметр провального отверстия в подштамповой плите пресса – параметр p_2 (в диапазоне 160-360 мм); толщина плиты штампа – параметр p_1 (в диапазоне 15-90 мм).

Усилие штамповки $P_{шт}$ (см. рис. 3) – 50 кН, габариты штампа – 240×240 мм, габариты пакета 100×100 мм. Материал основных деталей – сталь 40Х (модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$). В силу симметрии рассмотрена 1/4 конструкции.

На рис. 5-11 приведены характерные картины распределения компонент НДС элементов штампа.

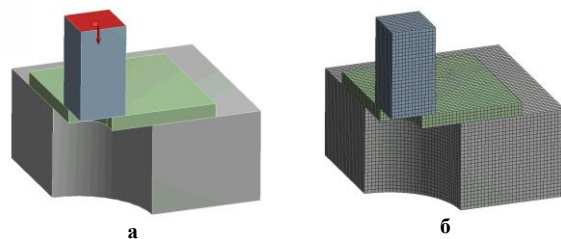


Рис. 4 – Нижняя базовая плита во взаимодействии со сменным пакетом и подштамповой плитой пресса: а – геометрическая модель, б – конечно-элементная модель

На рис. 12-18 приведены интегральные зависимости характеристик НДС от варьируемых параметров. Полученные зависимости изменения картин распределений компонент НДС элементов технологической подсистемы "пакет – нижняя базовая плита штампа – подштамповая плита пресса" дает возможность сделать следующие выводы.

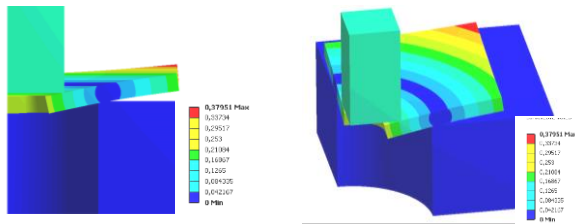


Рис. 5 – Результати дослідження НДС елементів штамп (задача 1): розподілення повних переміщень

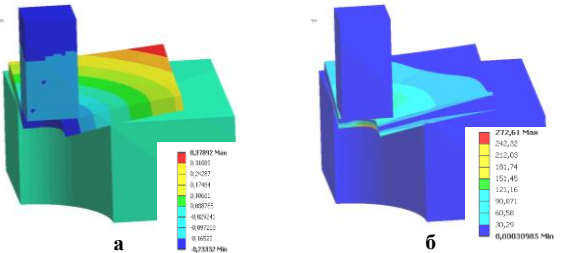


Рис. 6 – Результати дослідження НДС елементів штамп (задача 1): а – вертикальні переміщення; б – еквівалентні напруження по Мизесу

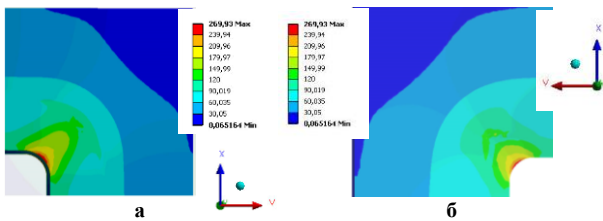


Рис. 7 – Розподілення еквівалентних напружень по Мизесу в нижній базовій плиті в площині сопряження (задача 1): а – со сменного пакетом, б – с подштамповою плитой преса

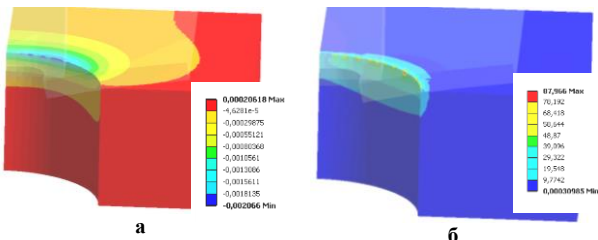


Рис. 8 – Результати дослідження НДС елементів штамп в подштамповою плиті преса (задача 1): а – вертикальні переміщення; б – еквівалентні напруження по Мизесу

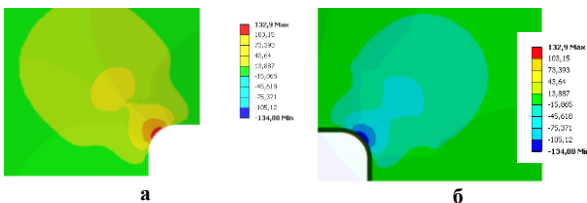


Рис. 9 – Касательні напруження в базовій плиті штамп (задача 1): а – вид сверху, б – вид снизу

1. Напряжения в элементах данной подсистемы концентрируются в зонах их механического контакта.

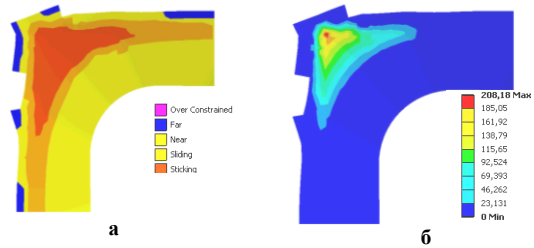


Рис. 10 – Результати дослідження напруженно-деформованного стану елементів штамп в сопряженні сменного пакета и базовой плиты (задача 1): а – розподілення контактних зон; б – розподілення контактних давлень

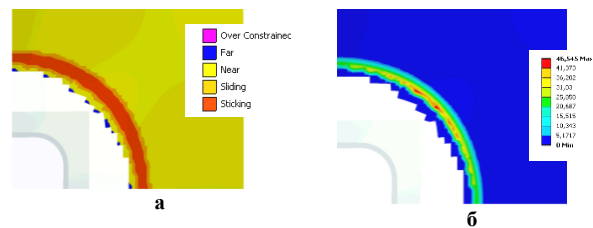


Рис. 11 – Результати дослідження НДС елементів штамп в сопряженні подштамповою плиты преса и базовой плиты штамп (задача 1): а – розподілення контактних зон; б – розподілення контактних давлень

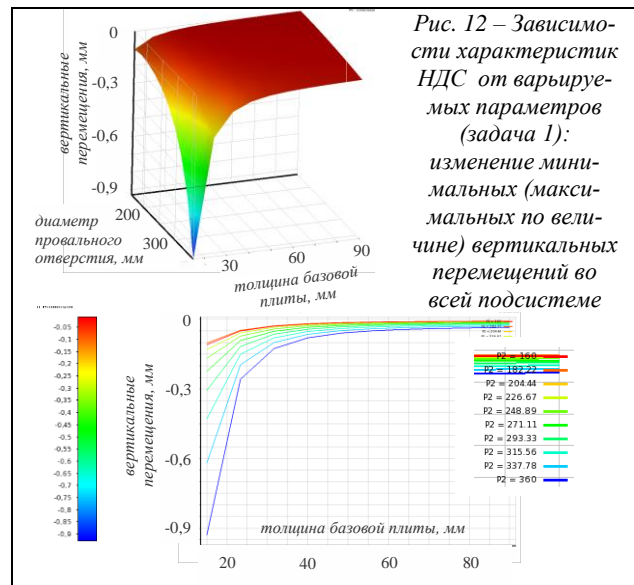
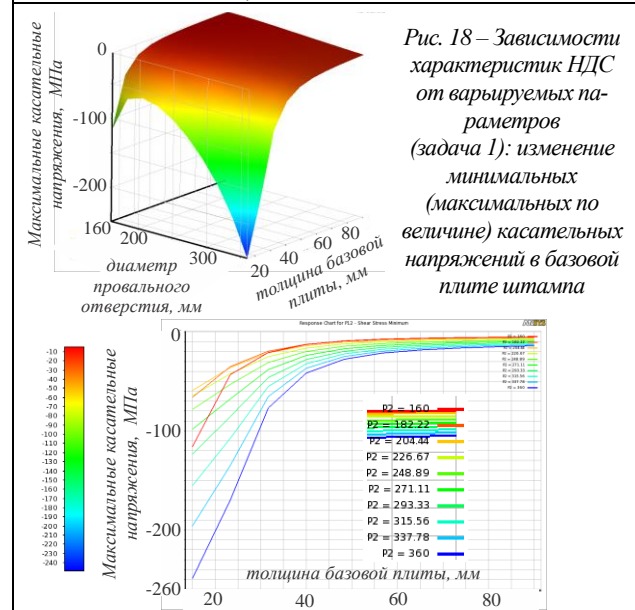
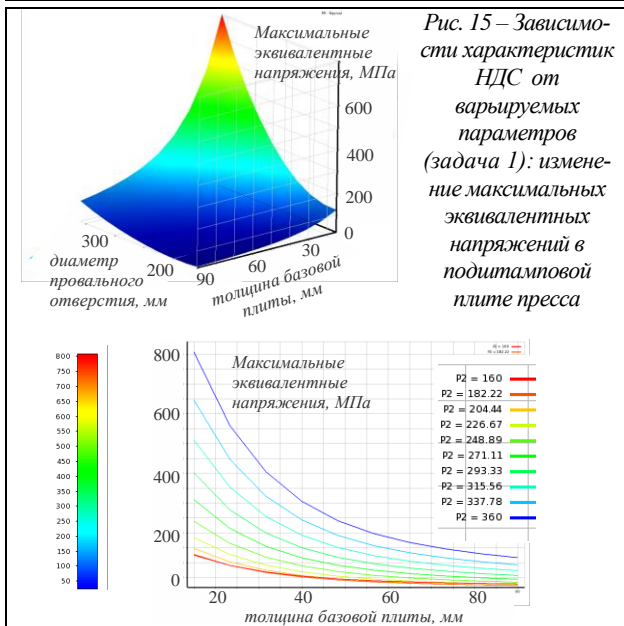
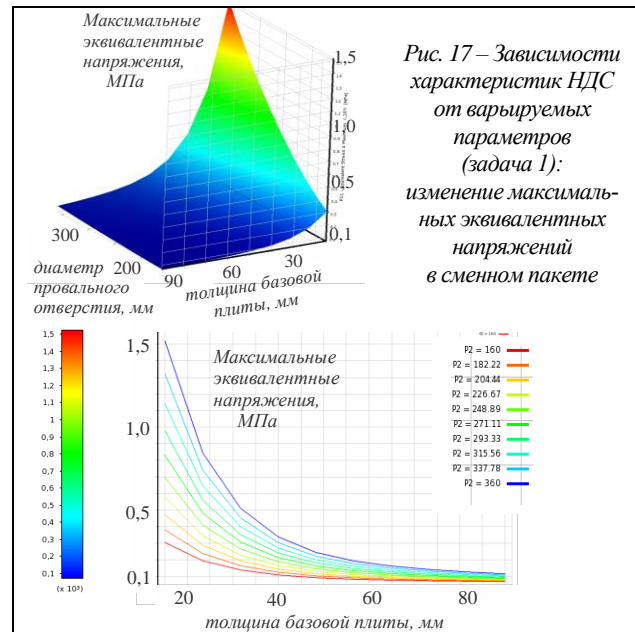
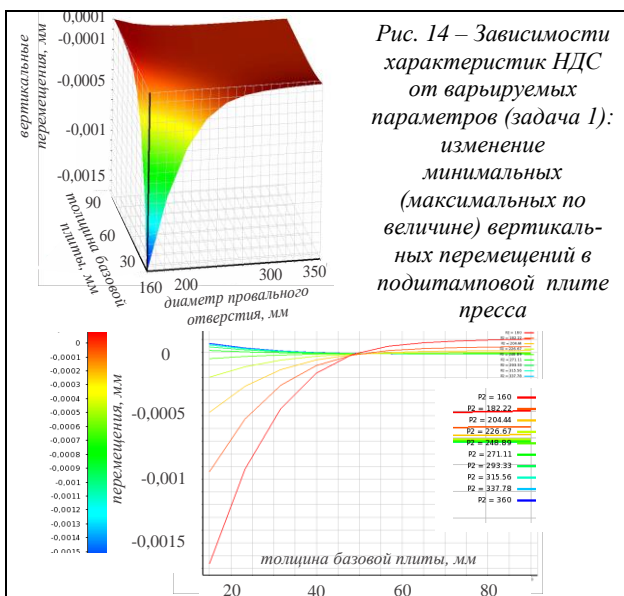
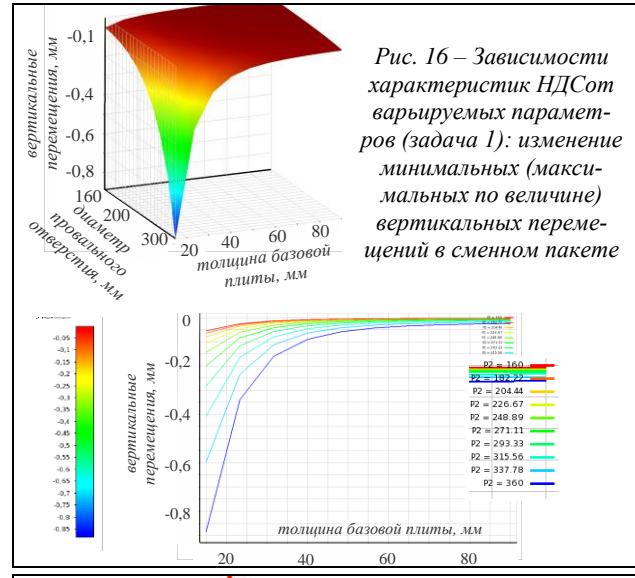
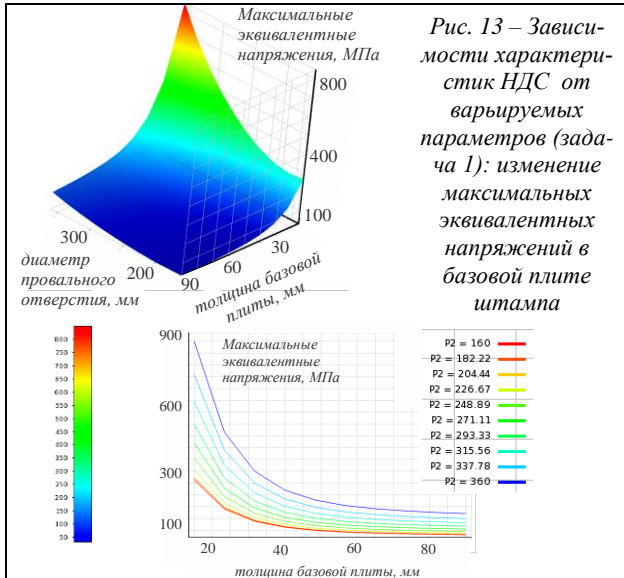


Рис. 12 – Зависимости характеристик НДС от варьируемых параметров (задача 1): изменение минимальных (максимальных) вертикальных перемещений во всей подсистеме

2. Напряжения и контактные давления распределяются по площадям контактного сопряжения неравномерно.

3. Интегральные зависимости характеристик напряженно-деформованного состояния от варьируемых параметров (в данном случае – толщина базовой плиты и диаметр провального отверстия) соответствуют "гиперболическому" поведению: резкое возрастание при убывании объема материала детали ниже некоторого предела, практически неизменная величина – при возрастании этого объема выше некоторого другого предела и плавное изменение в переходном диапазоне.



Таким образом, полученные картины распределений характеристик напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки определяют наиболее нагруженные их зоны, а построенные поверхности отклика дают возможность решать задачу обоснования проектно-технологических параметров штампов по критериям стойкости, точности, прочности и жесткости.

Тестовая задача 2. Для исследования взаимодействия элементов подсистемы "нижняя базовая плита штампа – направляющие колонки" рассмотрим контактное взаимодействие тестовой конструкции, схема которой на рис. 19. Усилие штамповки, материал и размеры элементов штампа – те же, что и в задаче 1.

Задача 2.1. Исследуется влияние усилия, действующего со стороны верхней базовой плиты штампа (параметр $p_1 = 0 \div 10$ кН) через втулку на уровне ее верхнего среза (на высоте 120 мм) под углом в плоскости плиты (параметр $p_2 = 0 \div \pi/4$). Втулка диаметром 20 мм посажена в нижней плите толщиной 45 мм с натягом (параметр $p_3 = 0.001, 0.005, 0.1, 0.2$ мм). Картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния приведены на рис. 20-23, а на рис. 24-27 – зависимости характеристик НДС от варьированных параметров.

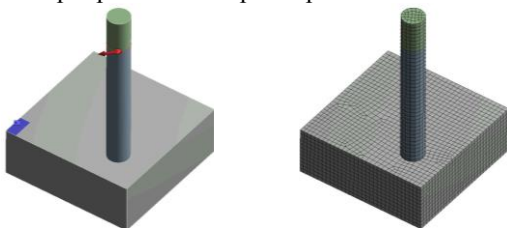


Рис. 19 – Геометрическая и конечно-элементная модели взаимодействия направляющей колонки с нижней базовой плитой штампа

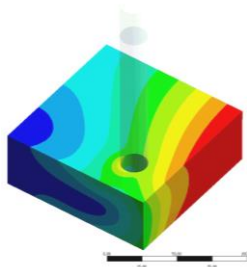


Рис. 20 – Распределение полных перемещений в нижней базовой плите штампа (задача 2)

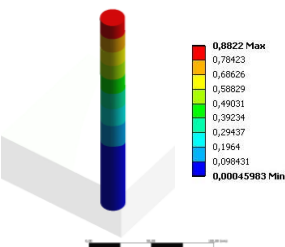


Рис. 21 – Распределение полных перемещений в колонке штампа (задача 2)

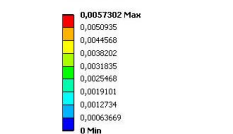


Рис. 22 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений в колонке штампа (задача 2)

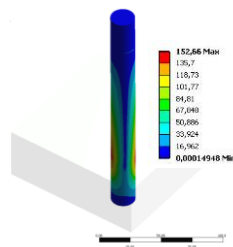


Рис. 23 – Распределение контактных напряжений в сопряжении колонки с плитой штампа (задача 2)

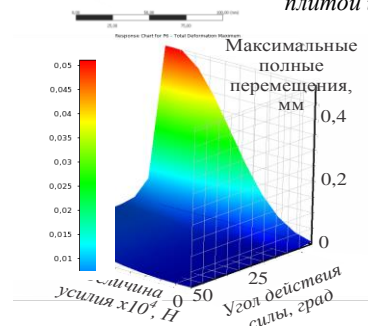


Рис. 24 – Зависимость полных перемещений верхнего среза колонки от параметров p_1, p_2 (задача 2.1)

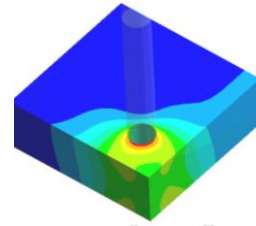
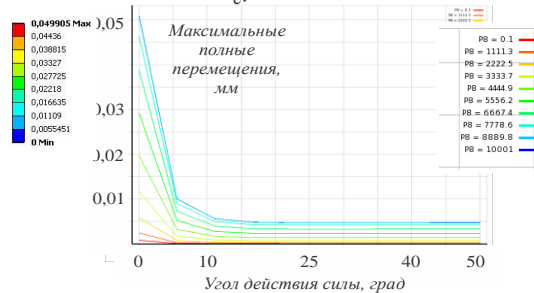


Рис. 25 – Распределения полных перемещений в нижней базовой плите штампа при натяге 0,1 мм (задача 2.1)

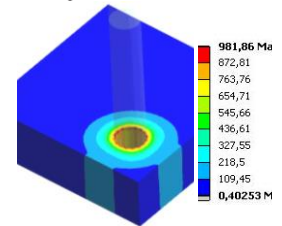


Рис. 26 – Распределения максимальных эквивалентных напряжений в нижней базовой плите штампа при натяге 0,1 мм (задача 2.1)

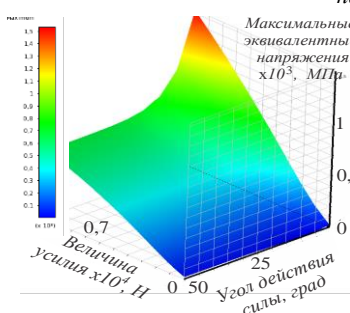
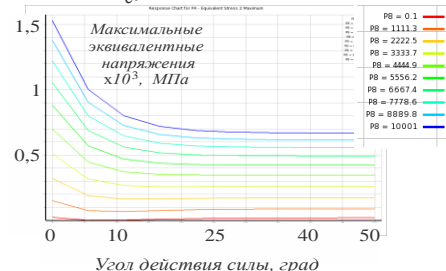


Рис. 27 – Зависимость максимальных эквивалентных напряжений от параметров p_1, p_2 (задача 2.1)



Как видно из представленных графиков и распределений, наблюдаются следующие закономерности.

1. Наиболее нагруженными от горизонтальных усилий зонами являются области, примыкающие к соединению колонок с плитами.
2. Контактные давления в сопряжении "колонка – плита" распределяются неравномерно, и чем меньше натяг, тем больше эта неравномерность.
3. Интегральные характеристики напряженно-деформированного состояния демонстрируют примерно такую же зависимость от конструктивных параметров, как и описанная выше (см. задачу 1) "гиперболическая" зависимость, и более равномерную и плавную – от параметров нагружения.

Задача 2.2. Исследуется влияние усилия, действующего со стороны верхней базовой плиты штампа (параметр $p_1 = 0 \div 10$ кН) через втулку на уровне ее верхнего среза (на высоте 120мм) под углом в плоскости плиты (параметр $p_2 = 0 \div \pi/4$). Втулка диаметром 20 мм посажена в нижней плите толщиной 45 мм при помощи клеювого состава (толщина слоя – параметр $p_3 = 2.0, 3.5, 5.0$ мм). В качестве фиксирующего состава применен состав на основе эпоксидной смолы ($E = 3,2 \cdot 10^3$ МПа, $\nu = 0,45$). На рис. 28-32 приведены результаты исследований.

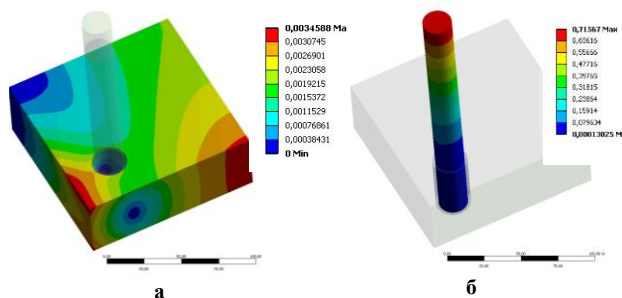


Рис. 28 – Распределение полных перемещений (задача 2.2):
а – в нижней базовой плите, б – в колонке штампа

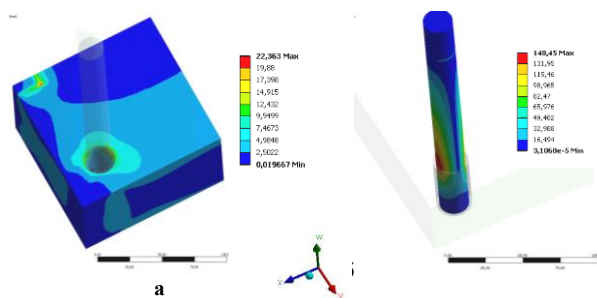


Рис. 29 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений (задача 2.2):
а – в нижней плите, б – в колонке штампа

На рис. 28-30, в частности, представлены распределения перемещений и напряжений в тестовой конструкции. Видно, что распределения контактного давления в сопряжениях элементов штампов далеки от равномерных. Этот фактор существенным образом сказывается на напряженно-деформированном состоянии всех элементов штампов, находящихся во взаи-

модействии, и его нужно учитывать при формировании более адекватных, чем традиционные, расчетных схем элементов разделительных штампов.

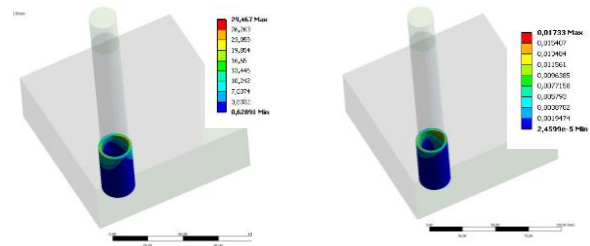


Рис. 30 – полных перемещений и эквивалентных (по Мизесу) напряжений в фиксирующем слое (задача 2.2)

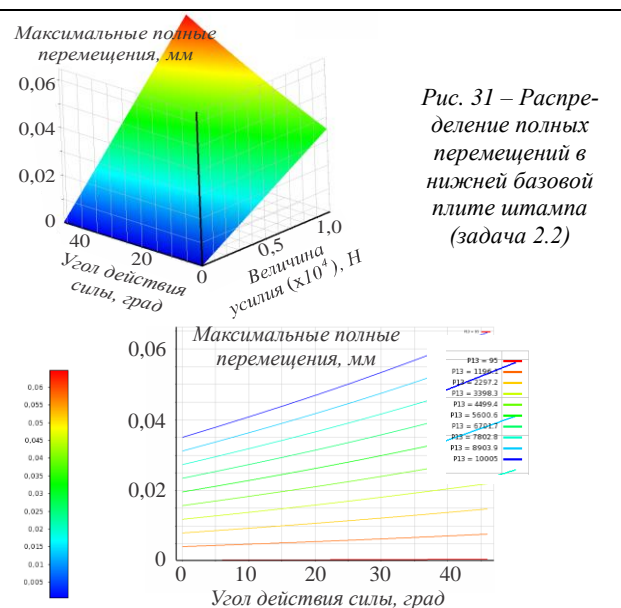


Рис. 31 – Распределение полных перемещений в нижней базовой плите штампа (задача 2.2)

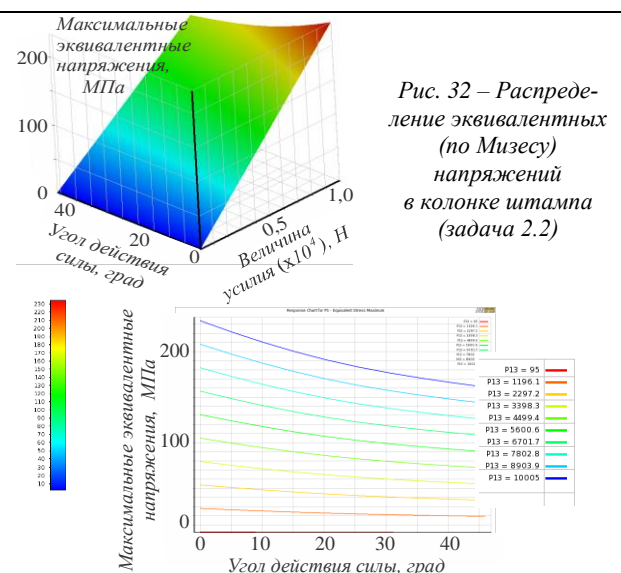


Рис. 32 – Распределение эквивалентных (по Мизесу) напряжений в колонке штампа (задача 2.2)

Как следует из анализа полученных результатов, напряженно-деформированное состояние данной подсистемы имеет свои особенности.

1. Напряжения в данном случае гораздо ниже, чем в случае посадки колонок с натягом.

2. Перемещения колонок от действия горизонтальных усилий выше, чем в случае посадки колонок с натягом.

3. Распределение напряжений в слое клеящего компаунда после полимеризации и приложения нагрузки в случае посадки колонок с натягом неравномерное по высоте.

4. Несмотря на более низкий уровень напряжений, следует учитывать также и более низкий уровень механических характеристик материала склеиваемого слоя по сравнению со свойствами металла, из которого изготовлены колонка и плита.

5. Интегральные зависимости характеристик напряженно-деформированного состояния данной подсистемы от всех варьируемых параметров носят примерно линейный характер.

Заключение

В работе представлен подход к созданию комплексных расчетных схем элементов штампов. Они отличаются от традиционных расчетных схем включением в единую интегрированную расчетную схему всех основных элементов разделительных штампов, причем с учетом их контактного взаимодействия значения контактных давлений определяются в ходе решения, контактной задачи, а не задаются заранее известными.

В ходе дальнейших исследований планируется провести анализ напряженно-деформированного состояния элементов разделительных штампов с учетом контактного взаимодействия на основе описанной в работе комплексной расчетной схемы.

Список литературы

1. **Дьоміна, Н. А.** Удосконалення методів розрахунку елементів штампного оснащення на основі аналізу їх напружено-деформованого стану: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.05 "Процеси та машини обробки тиском" / **Н. А. Дьоміна**. – Харків. – 2011. – 20 с.
2. **Заярненко, Е. И.** Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов: дисс. доктора. техн. наук: спец. 01.02.06 и 05.03.05 / **Заярненко Евгений Иванович**. – Харьков. – 1992. – 280 с.
3. **Ищенко, О. А.** Базовые плиты разделительных штампов: напряженно-деформированное состояние с учетом контактного взаимодействия / **О. А. Ищенко, Н. А. Демина, А. В. Грабовский и др.** // *Вестник НТУ "ХПИ"*. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 51. – С. 50 - 58.
4. **Ищенко, О. А.** Контактное взаимодействие элементов штампов для разделительных операций / **О. А. Ищенко** // *Модельовання процесів в металургії*. – 2015. – № 1. – С.93-96.
5. **Ищенко, О. А.** Моделирование напряженно-деформированного состояния базовых плит разделительных штампов / **О. А. Ищенко, Н. А. Демина, А. В. Грабовский, Н. А. Ткачук** // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2012. – №9. – С. 40 - 44.
6. **Борисевич, В. К.** Анализ разделительных процессов листовой штамповки / **В. К. Борисевич, В. В. Драгобецкий** // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2009. – № 12. – С. 9-12.

7. **Zhang, L. C.** A new mechanics model of stamping a thin strip on an elastic foundation / **L. C. Zhang, Zhongqin Lin** // *International Journal of Solids and Structures*. – 1997. – 34(3). – P. 327-339. – doi:10.1016/S0020-7683(96)00011-X.
8. **Kardes, N.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part I / **N. Kardes, C. Choi, X. Yang, T. Altan** // *STAMPING Journal*. – May/June. – 2011. – P. 12-13.
9. **Kardes, N.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part II / **N. Kardes** // *STAMPING Journal*. – July/August. – 2011. – P. 14-15.
10. **Oujebbour, F. Z.** Multicriteria shape design of a sheet contour in stamping / **F. Z. Oujebbour, A. Habbal, R. Ellaia, Z. Zhao** // *Journal of Computational Design and Engineering*. – 2014. – Vol. 1. – №. 3. – P. 187-193. – doi:10.7315/JCDE.2014.018.
11. **Liu, W.** Multi-objective optimization of sheet metal forming process using Pareto-based genetic algorithm / **Liu W., Yang Y.** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2008. – 208(1). – P. 499-506. – doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.014.
12. **Azaoui, M.** An heuristic optimization algorithm for the blank shape design of high precision metallic parts obtained by a particular stamping process / **M. Azaoui, H. Naceur, A. Delamézière, J. L. Batoz, S. Belouettar** // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2008. – 44(14). – P. 842-850. – doi:10.1016/j.finel.2008.06.008.
13. **Lin, B. T.** Application of an integrated CAD/CAE/ CAM system for stamping dies for automobiles / **Lin B.T, Kuo C.C.** // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – № 35(9-10). – P. 1000-1013. – doi:10.1007/s00170-006-0785-y.
14. **Hamdaoui, M.** POD surrogates for real-time multi-parametric sheet metal forming problems / **Hamdaoui M, Le Quilliec G., Breitkopf P., Villon P.** // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – P. 1-22. – doi:10.1007/s12289-013-1132-0.

Bibliography (transliterated)

1. **D'omina, N. A.** Udoskonalennya metodiv rozrakhunku elementiv shtampovoho osnashchennya na osnovi analizu yikh napruzhenno-deformovanoho stanu [Improved methods of calculation elements die equipments based on the analysis of stress-strain state]: *avtoref. dys. na здобуття наук. ступеня канд. tekhn. nauk: spets. 05.03.05 "Protsey ta mashyny obrobky tyskom"* [thesis. dis. on competition sciences. degree candidate. sc. sciences specials. 05.03.05 "Processes and machines for pressure"]. Kharkiv, 2011, 20 p.
2. **Zayarnenko, E. I.** Development of mathematical models and calculations on durability of the dividing readjusted stamps [Development of mathematical models and rascheti to die prochnost razdelitel'nykh perenalazhyvaemykh]: *diss. doct. tehn. nauk: special 01.02.06 and 05.03.05 [Dis. Drs. Sc. Sciences specials. 01.02.06 and 05.03.05]*. Kharkiv, 1992, 280 p.
3. **Ishchenko O.A.** Bazovye plity razdelitel'nykh shtampov: napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie s uchetom kontaktnogo vzaimodeystviya [Basic plates of dividing stamps: the intense deformed state taking into account contact interaction] / **O. A. Ishchenko, N. A. Dyomin, A. V. Grabovsky, etc.** // *Vestnik NTU "KhPI"* [Bulletin of NTU "KhPI"]. Kharkiv: NTU "KhPI", 2011, 51, 50-58.
4. **Ishchenko, O. A.** Kontaktne vzaimodeystvie elementov shtampov dlya razdelitel'nykh operatsiy [Contact interaction of elements of stamps for dividing operations] / **O. A. Ishchenko** // *Modelyuvannya protsesiv v metalurgii [Modeling of processes in the industry]*. 2015, 1, 93-96.
5. **Ishchenko, O. A.** Modelirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bazovykh плит razdelitel'nykh shtampov [Modeling of the intense deformed condition of

- basic plates of dividing stamps] / **O. A. Ishchenko, N. A. Dyomin, A. V. Grabovsky, N. A. Tkachuk** // *Kuznechno-shtampovochne proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem [Forging and stamping production. Materials Forming]*, 2012, **9**, 40-44.
6. **Borisevich, V. K.** Analiz razdelitel'nykh protsessov listvoy shtampovki [Analysis of dividing processes of sheet stamping] / **V. K. Borisevich, V. V. Dragobetsky** // *Kuznechno-shtampovochne proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem [Forging and stamping production. Materials Forming]*, 2009, **12**, 9-12.
 7. **Zhang, L. C., Zhongqin Lin** A new mechanics model of stamping a thin strip on an elastic foundation. *International Journal of Solids and Structures*, 1997, **34**(3), 327-339, doi:10.1016/S0020-7683(96)00011-X.
 8. **Kardes, N., Choi, C., Yang, X., Altan, T.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part I. *STAMPING Journal*, May/June, 2011, 12-13.
 9. **Kardes, N.** Determining the flow stress curve with yield and ultimate tensile strengths. Part II. *STAMPING Journal*, July/August, 2011, 14-15.
 10. **Oujebbour, F. Z., Habbal, A., Ellaia, R., Zhao, Z.** Multicriteria shape design of a sheet contour in stamping. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2014, **1**(3), 187-193, doi:10.7315/JCDE.2014.018.
 11. **Liu, W., Yang, Y.** Multi-objective optimization of sheet metal forming process using Pareto-based genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, **208**(1), 499-506, doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.014.
 12. **Azaouzi, M., Naceur, H., Delamézière, A., Batoz, J. L., Belouettar, S.** An heuristic optimization algorithm for the blank shape design of high precision metallic parts obtained by a particular stamping process. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2008, **44**(14), 842-850, doi:10.1016/j.finel.2008.06.008.
 13. **Lin, B. T., Kuo, C. C.** Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for stamping dies for automobiles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, **35**(9-10), 1000-1013, doi:10.1007/s00170-006-0785-y.
 14. **Hamdaoui, M., Le Quilliec, G., Breitkopf, P., Villon, P.** POD surrogates for real-time multi-parametric sheet metal forming problems. *International Journal of Material Forming*, 2013, 1-22, doi:10.1007/s12289-013-1132-0.

Сведения про авторов (About authors)

Ищенко Ольга – ст. преподаватель кафедры высшей математики и физики, Таврический Государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Ishchenko Olga Anatoliyivna – Senior Lecturer, Higher Mathematics and Physic Department, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Ткачук Анна Владимировна – с.н.с., к.т.н., с.н.с. кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина.

Tkachuk Anna Volodymyrivna – Ph. D. in Engineering Science, Senior Research Assistant, Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".

Грабовский Андрей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, Украина, e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org.

Grabovskiy Andrey Volodimirovich – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org;

Демина Наталья Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры высшей математики и физики, Таврический Государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Demina Nataliya Anatoliyivna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Higher Mathematics and Physic Department, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ищенко, О. А. Формирование комплексных расчетных моделей элементов штампов для разделительных операций / **О. А. Ищенко, А. В. Ткачук, А. В. Грабовский, Н. А. Демина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 23-30. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

Please cite this article as:

Ishchenko, O., Tkachuk, A., Grabovskiy, A., Demina, N. Formation of complex computable models of dies elements for shearing operations. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 23-30, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Ищенко, О. А. Формування комплексних розрахункових моделей елементів штампів для розділових операцій / **О. А. Ищенко, Г. В. Ткачук, А. В. Грабовський, Н. А. Дьоміна** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 23-30. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.04.

АНОТАЦІЯ. У статті описано новий підхід до формування розрахункових моделей для елементів розділових штампів. Запропоновано формувати комплексну модель, що враховує умови силового та кінематичного спряження базових плит, пакету та напрямних колонок. У моделях, що створені, враховано множинний контакт елементів штампів. Також забезпечено побудову параметричних моделей. Ці моделі дають змогу організувати багатоваріантні розрахунки напружено-деформованого стану. На основі аналізу результатів цих розрахунків визначаються раціональні проектно-технологічні параметри розділових штампів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, розділовий штамп, базова плита, розрахункова модель, метод скінчених елементів

Поступила (received) 12.02.2016

УДК 678.027.37

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.05

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНОЙ УГЛЕРОДНОЙ МАССЫ

Т. В. ЛАЗАРЕВ^{1*}, А. Я. КАРВАЦКИЙ², С. В. ЛЕЛЕКА¹, А. Ю. ПЕДЧЕНКО²

¹ НИЦ «Ресурсосберегающие технологии», НТУУ «КПИ», Киев, УКРАИНА

² Кафедра химического, полимерного и силикатного машиностроения, НТУУ «КПИ», Киев, УКРАИНА

*email: admin@rst.kpi.ua

АННОТАЦИЯ Рассмотрен процесс формования углеродных изделий из коксопекового композита. Разработано математическую и численную модели прессового инструмента для экструзии электродных заготовок с использованием приближения жидкости Bingham-Papanastasiou для описания поведения углеродной массы. Проведена верификация разработанной численной модели по данным экспериментальных исследований и определено, что разница между расчётными и экспериментально измеренными значениями температуры мундштука прессы не превышает 4–6 %.

Ключевые слова: углеродная масса, коксопековая смесь, электродные заготовки, экструзия, вязко-пластичный материал, жидкость Bingham, численное моделирование

THE MATHEMATICAL MODEL OF EXTRUSION OF VISCOPLASTIC CARBON COMPOSITION

T. LAZARIEV^{1*}, A. KARVATSKIY², S. LELEKA¹, A. PEDCHENKON²

¹ Research center "Resource-saving technologies", NTUU "KPI", Kiev, UKRAINE

² Department of chemical, polymer and silicate engineering, NTUU "KPI", Kiev, UKRAINE

ABSTRACT Manufacturing of large-size carbon products such as electrodes and carbon blocks requires multistage production cycle, special equipment and significant resources and energy consumption. The article is devoted to the technological stage of carbon products forming with the usage of extrusion method. On this stage carbon blanks are shaped and sized and also their physical properties start to be formed. It is necessary to use effective operating regimes in order to get a high quality and defectless products. The development of mathematical model of carbon materials extrusion process is an important task in numerical modeling since it enables us to estimate effective process parameters. Coke/pitch composition exhibits viscoplastic properties. It behaves as a rigid body at the low stress but flows as a viscous fluid at high stress. We propose mathematical model of carbon mass extrusion process with the usage of viscoplastic Bingham-Papanastasiou viscosity model. The model is based on transient nonlinear system of partial differential equation. It consists of continuity equation, motion equation and energy equation for laminar incompressible Bingham-Papanastasiou fluid flow and energy equation with additional heat source for solid parts of pressing equipment. The dynamically changeable initial and boundary conditions are used for the description of different stages of extrusion process. We performed verification and validation of the developed mathematical and numerical models of thermohydrodynamic state of extrusion equipment. Results of numerical analyses are presented in the article in the form of temperature plots and fields. The comparison of numerical and experiment data shows good agreement and the average difference is 4–6 %. This confirms model capability to solve engineering and manufacturing problems related to carbon mass extrusion process.

Keywords: carbon mass, coke/pitch composition, electrode blanks, extrusion, viscoplastic material, Bingham fluid, numerical simulation

Введение

Изготовление крупногабаритной углеродной продукции, в частности электродов или элементов конструкции печей цветной металлургии, требует многоэтапной цепочки производства, специфического оборудования и значительных ресурсных и энергетических затрат. Для получения высококачественного конечного продукта, исходное сырьё (кокс, антрациты, пеки различных марок) подвергаются измельчению, смешиванию, формованию и многостадийной высокотемпературной обработке. Данная технология позволяет получить монолитные углеродные изделия с анизотропией свойств в широком диапазоне габаритных размеров: площадь

поперечного сечения от $7,85 \cdot 10^{-5}$ до $0,38 \text{ м}^2$; длина от 1 до 3,58 м [1].

Во время формования, углеродной продукции передаётся необходимая геометрическая форма и размеры, а также закладываются её будущие физические свойства. Наиболее широко на электродных заводах распространён метод прессования выдавливанием или экструзией углеродной массы через формуемую матрицу (мундштук), что объясняется высокой производительностью и низкой стоимостью данного процесса. Смесь углеродосодержащего наполнителя и связующего (прессмасса) подаётся в массовый цилиндр гидравлического прессы, где предварительно уплотняется. Под воздействием усилия порядка 60 МН масса выдавливается через мундштук, таким

образом изделие придаётся необходимая форма. После этого, сформованная в заготовку масса, обрезается до необходимого размера и охлаждается для препятствия дальнейшей деформации [2].

Во время формования электродной заготовки методом экструзии ключевую роль в обеспечении бездефектной и высококачественной продукции играет технологический регламент процесса. К факторам, определяющим регламент прессования относятся: состав прессмассы и геометрические характеристики будущего изделия. К управляющим параметрам процесса следует отнести: изостатическую температуру, выдерживаемую в массном цилиндре; давление и скорость прессования; температурный режим нагревателей мундштука, которые обеспечивают необходимую температуру его поверхности; время работы и простоя, затраченное на каждом из этапов кампании прессования.

В промышленной практике, определение рациональных регламентов процесса формования углеродных заготовок связано со значительными затратами временных, материальных и энергетических ресурсов, из-за проведения опытных кампаний при переходе на новый состав прессмассы или новый вид продукции. Поэтому разработка и применение методов математического моделирования в условиях реального производства является безусловно актуальным, и позволит практически полностью исключить опытные кампании прессования, тем самым, обеспечивая ресурсо- и энергосбережение.

Цель работы

Электродная или коксопечевая масса представляет собой композитный материал, проявляющий свойства неньютоновской жидкости. Поэтому общенаучной проблемой является выбор адекватной модели динамической вязкости для моделирования течения массы при прессовании.

Нерешённой частью научной проблемы является создание адекватной математической и численной моделей экструзии, которая давала бы возможность в условиях производства отрабатывать регламенты прессования заготовок при изменении состава коксопечевой смеси и типоразмеров изделий.

Целью данной статьи является создание математической модели процесса экструзии углеродных заготовок для разработки рациональных регламентов прессового инструмента, которые обеспечивают условия выхода качественной продукции.

Изложение основного материала

Промышленное формование углеродных заготовок методом экструзии через мундштук пресса включает следующее технологические этапы:

- заполнение массного цилиндра пресса охлаждённой массой;
- подпрессовка массы;
- прессование и маркировка изделий;
- отрезка заготовки определённой длины;
- охлаждение водой и осмотр заготовки на приёмном столе пресса;
- транспортирование заготовки на рольганг для охлаждения;
- транспортирование заготовки на стеллаж для проведения производственного контроля.

Приготовленная в смесильных машинах масса, температура которой составляет 125–135 °С, транспортируется конвейерами в барабан-охладитель, где охлаждается до 90 °С. Далее масса подаётся в форкамеру пресса, откуда плунжером продвигается в массном цилиндре. В массном цилиндре масса подвергается подпрессовке – операции, при которой происходит уплотнение и удаление воздуха и паров пека.

После полного заполнения массного цилиндра производится прессование, которое заключается в выдавливании массы через отверстие мундштука с целью придания заготовке определённой геометрической формы, размеров и плотности. Во время данного технологического этапа температура в массном цилиндре и внутренней поверхности мундштука поддерживается в определённом диапазоне, что обеспечивает необходимую пластичность массы и условия свободного проскальзывания. Температурный режим выдерживается за счёт нескольких основных и дополнительных нагревателей, расположенных внутри прессового инструмента.

Получение заготовок заданной длины достигается отрезкой сформированной массы отрезными ножами. Далее заготовки охлаждаются на рольганге водой в течении 4 часов методом орошения или в ванне [2].

Физические свойства массы определяют характер её течения и условия теплового взаимодействия в рабочем пространстве прессового инструмента.

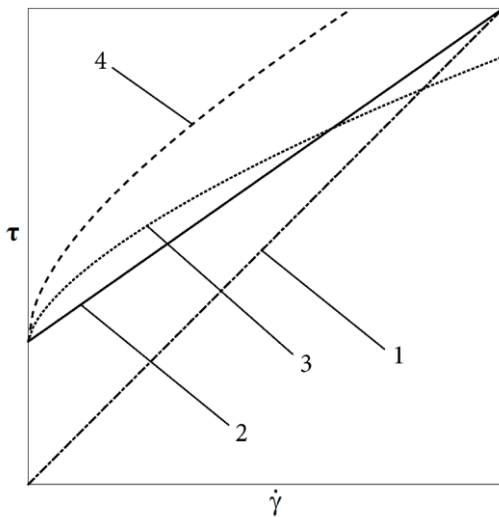
Коксопечевый композит проявляет двойные свойства в зависимости от значений внутренних напряжений. С одной стороны, ниже определённого уровня внешнего механического воздействия масса сохраняет свою целостность, проявляя пластичные свойства, схожие с твёрдым телом, а с другой – при достаточном усилии воздействия масса начинает течь как вязкая жидкость. Такие свойства позволяют отнести электродную массу к вязко-пластичным материалам [3, 4]. Для описания поведения данного класса веществ применимы модели Bingham (1), Herschel-Bulkley (2), Casson (3) [5–7]. Для простого двумерного сдвигового течения (течение Куэтта) эти модели запишутся следующим образом (рис. 1):

$$\begin{cases} \boldsymbol{\tau} = \tau_{\text{shear}} + \mu_{\text{eff}} \dot{\boldsymbol{\gamma}}, & |\boldsymbol{\tau}| > \tau_{\text{shear}}; \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}} = 0, & |\boldsymbol{\tau}| \leq \tau_{\text{shear}}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{\tau} = \tau_{\text{shear}} + K \dot{\boldsymbol{\gamma}}^n, & |\boldsymbol{\tau}| > \tau_{\text{shear}}; \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}} = 0, & |\boldsymbol{\tau}| \leq \tau_{\text{shear}}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \sqrt{\boldsymbol{\tau}} = \sqrt{\tau_{\text{shear}}} + \sqrt{\mu_{\text{eff}} \dot{\boldsymbol{\gamma}}}, & |\boldsymbol{\tau}| > \tau_{\text{shear}}; \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}} = 0, & |\boldsymbol{\tau}| \leq \tau_{\text{shear}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\boldsymbol{\tau}$ – вектор напряжения сдвига, Па; τ_{shear} – критическое сдвиговое напряжение (статическое напряжения сдвига), Па; μ_{eff} – эффективный коэффициент динамической вязкости, Па·с; $\dot{\boldsymbol{\gamma}}$ – скорость деформации, c^{-1} ; K, n – коэффициенты модели Herschel-Bulkley.



1 – ньютоновская жидкость; 2 – жидкость Bingham; 3 – жидкость Herschel-Bulkley; 4 – жидкость Casson

Рис. 1 – Зависимость сдвиговых напряжений от скорости деформации для различных моделей вязко-пластичной жидкости

По данным работ [3, 4] коксопечковая масса близка к наиболее простой из указанных моделей – модели Bingham. Для общего трёхмерного случая тензорная форма уравнения (1) будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}} = \left(\mu_{\text{eff}} + \frac{\tau_{\text{shear}}}{|\dot{\boldsymbol{\gamma}}|} \right) \dot{\boldsymbol{\gamma}}, & |\boldsymbol{\tau}| > \tau_{\text{shear}}; \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}} = 0, & |\boldsymbol{\tau}| \leq \tau_{\text{shear}}, \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}}$ – тензор напряжения сдвига, Па; $|\dot{\boldsymbol{\gamma}}| = \sqrt{\frac{1}{2} \text{II} \dot{\boldsymbol{\gamma}}} = \sqrt{\frac{1}{2} (\dot{\boldsymbol{\gamma}} : \dot{\boldsymbol{\gamma}})}$ – второй инвариант от $\dot{\boldsymbol{\gamma}}$, c^{-1} ; $\dot{\boldsymbol{\gamma}} = \nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T$ – скорость деформации, c^{-1} ; \mathbf{v} – вектор

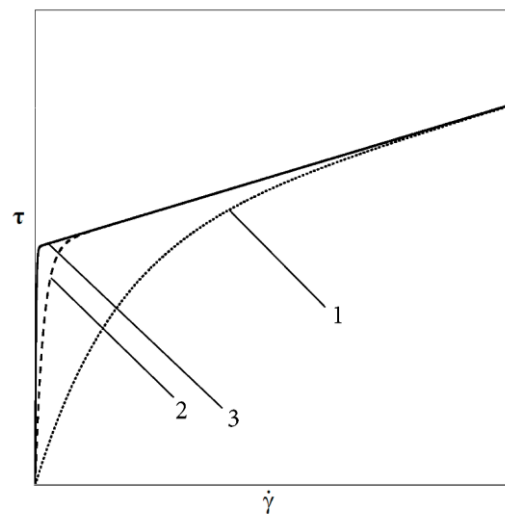
скорости, м/с; ∇ – оператор Гамильтона, m^{-1} ; $|\boldsymbol{\tau}| = \sqrt{\frac{1}{2} \text{II} \boldsymbol{\tau}} = \sqrt{\frac{1}{2} (\bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}} : \bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}})}$ – второй инвариант от $\bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}}$, Па.

Модель Bingham (4) предусматривает сосуществование двух областей (пластичной и твёрдой), что влечёт за собой существенные вычислительные трудности при моделировании в области сильной нелинейности физических свойств жидкости. Для преодоления данной проблемы Papanastasiou [8] предложил регуляризацию уравнения напряжённо-деформированного состояния потока вязко-пластичного материала при помощи введения экспоненциального множителя в уравнение (4)

$$\bar{\bar{\boldsymbol{\tau}}} = \left(\mu_{\text{eff}} + \frac{\tau_{\text{shear}}}{|\dot{\boldsymbol{\gamma}}|} [1 - \exp(-m|\dot{\boldsymbol{\gamma}}|)] \right) \dot{\boldsymbol{\gamma}}, \quad (5)$$

где m – экспоненциальный множитель, с.

Уравнение (5) (модель Bingham-Papanastasiou) справедливо для всех значений $|\boldsymbol{\tau}|$ и даёт близкие результаты к идеальной жидкости Bingham при значениях $m \geq 100$ (рис. 2).



1 – $m = 1$; 2 – $m = 10$; 3 – $m = 100$

Рис. 2 – Зависимость сдвиговых напряжений от скорости деформации для модели жидкости Bingham-Papanastasiou с различными значениями параметра m

Учитывая вышесказанное, математическая модель процесса экструзии коксопечкового композита может быть представлена системой уравнений, которая включает нестационарные, нелинейные уравнения неразрывности, движения и энергии [9] для ламинарного потока несжимаемой жидкости Bingham-Papanastasiou для прессмассы (6) и уравнения энергии (7) с внутренним источником теплоты для элементов прессового инструмента:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{v} = 0; \\ \rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}}; \\ \rho \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}h) \right] = \nabla \cdot [\lambda_{eff}(T)\nabla T] + \bar{\bar{\tau}} : \nabla \mathbf{v}, \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot [\lambda_{eff}(T)\nabla T] + q_v, \quad (7)$$

где ρ – плотность, кг/м³; t – время, с; p – давление, Па; $h = \int_0^T c_p(T)dT$ – массовая энтальпия, Дж/кг; T – абсолютная температура, К; c_p – массовая изобарная теплоёмкость, Дж/(кг·К); λ_{eff} – эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $\bar{\bar{\tau}} : \nabla \mathbf{v}$ – член, который соответствует диссипации механической энергии, Вт/м³; (\cdot) – оператор двойного скалярного произведения; q_v – объёмная плотность источника теплоты, Вт/м³.

За начальные условия систем уравнений (6, 7) принимаются распределение полей компонентов вектора скорости, давления и температуры:

$$\begin{cases} \mathbf{v}_0 = \mathbf{v}(x, y, z); \\ p_0 = p(x, y, z); \\ T_0 = T(x, y, z), \end{cases} \quad (8)$$

где (x, y, z) – декартовы координаты, м.

Для учёта различных этапов процесса прессования применяются динамические граничные условия (9)–(12). Данные граничные условия отражают изменение в расчётной области во время подпрессовки материала, прессовании отдельных заготовок и простоя для технологических операций, а также изменение режима работы нагревательных элементов прессового инструмента.

Для массы, движущейся во внутреннем пространстве мундштука, задаются: во входном сечении – нормальная скорость и температура (9); в выходном сечении – нулевой градиент давления и температуры (10); на поверхности контакта масса-элементы прессового инструмента – условия проскальзывания и условия абсолютного теплового контакта (11):

$$\begin{cases} \mathbf{n} \cdot \mathbf{v} = v_{inlet}(t); \\ T = T_{inlet}(t), \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \mathbf{n} \cdot \nabla p = 0; \\ \mathbf{n} \cdot \nabla T = 0, \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \bar{\bar{\tau}} = 0; \\ \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

где \mathbf{n} – внешняя нормаль к поверхности входного или выходного сечения; $\bar{\bar{\tau}}_{wall}$ – тензор сдвиговых напряжений на границе контакта масса-твёрдое тело, Па; $\{T\} = T^+ - T^-$; $\{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = \mathbf{n}^- \cdot \mathbf{q}^+ + \mathbf{n}^+ \cdot \mathbf{q}^-$.

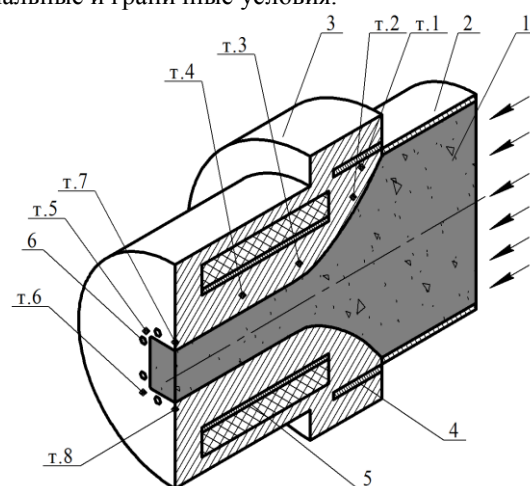
Для элементов прессового инструмента задаются: условия теплообмена с окружающей средой, условия абсолютного теплового контакта и внутренний источник теплоты.

$$\begin{cases} \mathbf{n} \cdot (-\lambda(T)\nabla T) = \alpha(T - T_\infty); \\ \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = 0; \\ q_v = q(t), \end{cases} \quad (12)$$

где T_∞ – температура окружающей среды, К, q – внутренний источник теплоты, вносимый нагревательными элементами, Вт/м³.

Для численной реализации представленной математической модели (1)–(12) использован свободный открытый программный код для решения задач вычислительной гидродинамики OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) [10].

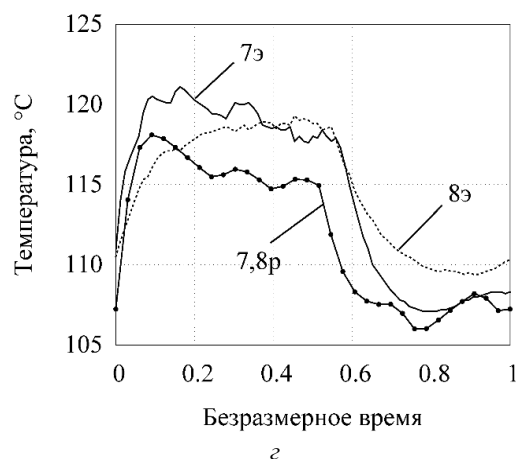
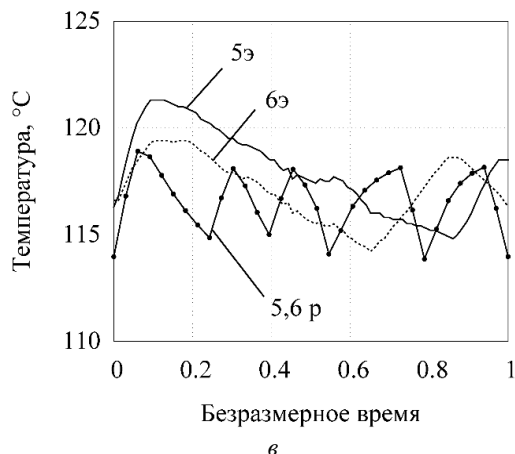
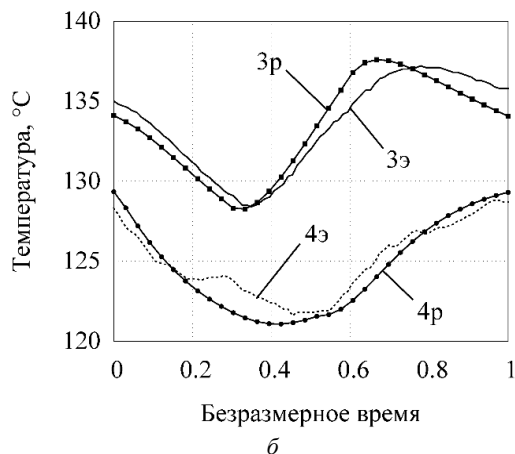
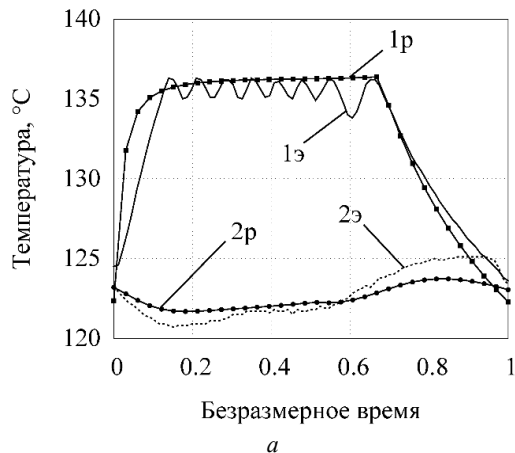
Проверка адекватности разработанной численной модели процесса экструзии углеродных заготовок через мундштук выполнена при помощи экспериментальных данных, которые получены на промышленном прессовом оборудовании (рис. 3), что также дало возможность задать корректные начальные и граничные условия.



1 – пресс-масса; 2 – массовый цилиндр; 3 – мундштук; 4, 5 – основные нагреватели; 6 – дополнительные нагреватели; т. 1–8 – контрольные точки измерения температуры

Рис. 3 – Модель процесса прессования углеродных заготовок

Результаты верификации численной модели по экспериментальным данным представлены на рис. 4. Распределение температуры на конец кампании прессования в среднем сечении прессового инструмента и на поверхности массы показаны на рис. 5.



т. 1–8 – контрольные точки измерения температуры; э – экспериментально измеренные значения температуры; р – температуры, полученные в результате моделирования

Рис. 4 – Сопоставление экспериментальных и расчётных данных по изменению температуры в контрольных точках на протяжении кампании прессования

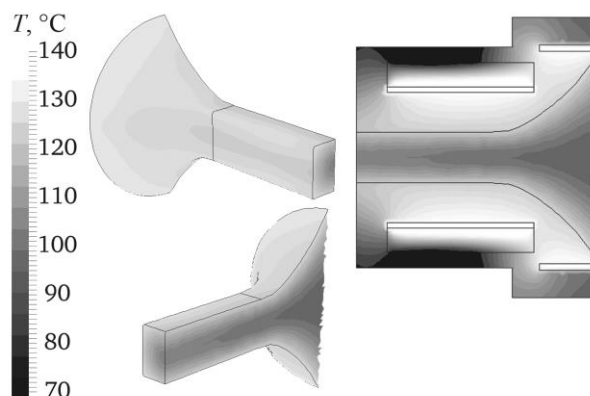


Рис. 5 – Распределение температуры по среднему сечению прессового инструмента и на поверхности прессмассы на конец кампании прессования

Обсуждение результатов

Анализ результатов моделирования показывает, что на температурное поле углекислотной массы, во время прессования заготовок, существенное влияние оказывают основные нагреватели. Дополнительный подогрев углов для прямоугольных заготовок обеспечивает уменьшение тепловых угловых эффектов, что снижает вероятность прилипания массы к стенкам мундштука и, соответственно, дефектов в заготовках.

Сопоставления расчётных и экспериментальных данных по температуре в контрольных точках показывает, что разница между ними составляет 4–6 %. Соответственно разработанный подход может быть успешно применён для инженерных расчётов и разработки

рациональных регламентов проведения процесса прессования углеродных изделий.

Выводы

В работе рассмотрен процесс формирования заготовок углеродных изделий методом экструзии через мундштук. Предложена математическая модель, описывающая нестационарные физические поля в прессовом инструменте во время проведения технологического процесса. Модель учитывает нелинейные вязко-пластичные свойства углепексового композита за счёт применения модели вязкости Bingham-Papanastasiou, а также изменение граничных условий на различных этапах кампании прессования углеродных заготовок. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными подтверждает её адекватность с погрешностью в 4–6 %, что даёт возможность применять указанный подход к задаче разработки рациональных регламентов эксплуатации прессового оборудования для изготовления углеродных заготовок.

Список литературы

- 1 **Sang-Min Lee** Bulk graphite: materials and manufacturing process / **Sang-Min Lee, Dong-Su Kang and Jea-Seung Roh** // *Carbon Letters*. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 135-146. – doi:10.5714/CL.2015.16.3.135.
- 2 **Фялков, А. С.** Процессы и аппараты производства порошковых углеграфитовых материалов / **А. С. Фялков**. – М.: Аспект Пресс. – 2008. – 687 с.
- 3 **Vershinina, E. P.** Plastic properties of homogenized coke-pitch compositions / **E. P. Vershinina, E. M. Gil'debrandt, V. K. Frizorger** // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. – 2011. – Vol. 52, Issue 3. – P. 205-208. – doi:10.3103/S1067821211030230.
- 4 **Hlatshwayo, S. R.** Rheological behavior and thermal properties of pitch/poly vinyl chloride blends / **S. R. Hlatshwayo, Focke, W. W. Walter, S. Ramjee, B. Rand, N. Manyala** // *Carbon*. – 2013. – Vol. 51. – P. 64-71. – doi:10.1016/j.carbon.2012.08.012.
- 5 **Mitsoulis, E.** Flows of Viscoplastic Materials: Models and Computations / **E. Mitsoulis** // *Rheology Reviews*. – 2007. – P. 135-178.
- 6 **Huilgol, R. R.** Finite stopping time problems and rheometry of Bingham fluids / **R. R. Huilgol, B. Mena, J. M. Piau** // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* – 2002. – Vol. 102. – P. 97-107. – doi:10.1016/S0377-0257(01)00166-5.
- 7 **Chatzimina, M.** Cessation of Couette and Poiseuille flows of a Bingham plastic and finite stopping time / **M. Chatzimina, G. C. Georgiou, I. Argyropaidas**,

- 8 **E. Mitsoulis, R. R. Huilgol** // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* – 2005. – Vol. 129. – P. 117-127. – doi:10.1016/j.jnnfm.2005.07.001.
- 9 **Papanastasiou, T. C.** Flow of materials with yield / **T. C. Papanastasiou** // *J. Rheology*. – 1987. – Vol. 31. – P. 385-404. – doi:10.1122/1.549926.
- 10 **Panov, E. N.** Mathematical Model of Solid-Fuel Gasification in a Fluidized Bed / **E. N. Panov, A. Ya. Karvatskii, T. B. Shilovich, T. B. Lazarev, A. S. Moroz** // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2014. – Vol. 50, No. 5-6. – P. 312-322. – doi:10.1007/s10556-014-9900-3.
- 11 The OpenFOAM Foundation. [Web] <http://www.openfoam.org>.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Sang-Min Lee, Dong-Su Kang, Jea-Seung Roh** Bulk graphite: materials and manufacturing process. *Carbon Letters*, 2015, **16**(3), 135-146, doi:10.5714/CL.2015.16.3.135.
- 2 **Fialkov, A. S.** Processy i apparaty proizvodstva poroshkovykh uglegrafitovykh materialov. Moskva: Aspekt Press, 2008, 687 p.
- 3 **Vershinina, E. P., Gil'debrandt, E. M., Frizorger, V. K.** Plastic properties of homogenized coke-pitch compositions. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2011, **52**(3), 205-208, doi:10.3103/S1067821211030230.
- 4 **Hlatshwayo, S. R., Focke, W. W., Ramjee, S., Rand, B., Manyala, N.** Rheological behavior and thermal properties of pitch/poly vinyl chloride blends. *Carbon*, 2013, **51**, 64-71, doi:10.1016/j.carbon.2012.08.012.
- 5 **Mitsoulis, E.** Flows of Viscoplastic Materials: Models and Computations. *Rheology Reviews*, 2007, 135-178.
- 6 **Huilgol, R. R., Mena, B., Piau, J. M.** Finite stopping time problems and rheometry of Bingham fluids. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 2002, **102**, 97-107, doi:10.1016/S0377-0257(01)00166-5.
- 7 **Chatzimina, M., Georgiou, G. C., Argyropaidas, I., Mitsoulis, E., Huilgol, R. R.** Cessation of Couette and Poiseuille flows of a Bingham plastic and finite stopping time. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 2005, **129**, 117-127, doi:10.1016/j.jnnfm.2005.07.001.
- 8 **Papanastasiou, T. C.** Flow of materials with yield. *J. Rheology*, 1987, **31**, 385-404, doi:10.1122/1.549926.
- 9 **Panov, E. N., Karvatskii, A. Ya., Shilovich, T. B., Lazarev, T. B., Moroz, A. S.** Mathematical Model of Solid-Fuel Gasification in a Fluidized Bed. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2014, **50**(5-6), 312-322, doi:10.1007/s10556-014-9900-3.
- 10 The OpenFOAM Foundation. [Web] <http://www.openfoam.org>.

Сведения об авторах (About authors)

Лазарев Тарас Валериевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, НИЦ «Ресурсосберегающие технологии», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; e-mail: t_lazarev@rst.kpi.ua.

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

Карвацкий Антон Янович – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, профессор, кафедра химического, полимерного и силикатного машиностроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; e-mail: anton@rst.kpi.ua.

Anton Karvatskii – Doctor of Science (D. Sc.), Professor, Senior Researcher, Professor, Department of chemical, polymer and silicate engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine; e-mail: anton@rst.kpi.ua.

Лелека Сергей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник, НИЦ «Ресурсосберегающие технологии», Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; e-mail: sleleka@rst.kpi.ua.

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

Педченко Анатолий Юрьевич – аспирант, кафедра химического, полимерного и силикатного машиностроения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; e-mail: anatolek@rst.kpi.ua.

Anatoliy Pedchenko – Postgraduate student, Department of chemical, polymer and silicate engineering, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine; e-mail: anatolek@rst.kpi.ua.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лазарев, Т. В. Математическая модель процесса экструзии вязко-пластичной углеродной массы / **Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 31-37. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.05.

Please cite this article as:

Lazariev, T., Karvatskii, A., Leleka, S., Pedchenko, A. the mathematical model of extrusion of viscoplastic carbon composition. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 12 (1184), 31-37, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.05.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лазарєв, Т. В. Математична модель процесу екструзії в'язко-пластичної вуглецевої маси / **Т. В. Лазарєв, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 31-37. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.05.

АНОТАЦІЯ Розглянуто процес формування вуглецевих виробів із коксопекового композиту. Розроблено математичну та числову моделі пресового інструменту для екструзії електродних заготовок з використанням наближення рідини Bingham-Rapanastasiou для опису поведінки вуглецевої маси. Проведена верифікація розробленої числової моделі за даними експериментальних досліджень та визначено, що різниця між розрахунковими та експериментально вимірними значеннями температури мундштука преса не перевищує 4–6 %.

Ключові слова: вуглецева маса, коксопековий композит, електродні заготовки, екструзія, в'язко-пластичний матеріал, рідина Bingham, числове моделювання.

Поступила (received) 10.03.2016

УДК 629.7.035.03–036.34

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.06

РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ТЕЧІЮ В РЕШІТКАХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОФІЛІВ**I. О. ЛАСТІВКА^{1*}, К. В. ДОРОШЕНКО², Ю. Ю. ТЕРЕЩЕНКО²**¹ Кафедра вищої математики, Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА² Кафедра авіаційних двигунів, Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА

*e-mail: iola@nau.edu.ua

АНОТАЦІЯ Проведено розрахункове дослідження течії в решітках аеродинамічних профілів компресорів газотурбінних двигунів з газодинамічним впливом на аеродинамічні сліди за вихідними кромками вхідного напрямного апарата, представлено узагальнені результати розрахункового дослідження у вигляді залежностей ступенів нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічного впливу на течію в широкому діапазоні зміни чисел Рейнольдса при фіксованих значеннях чисел Маха, відстанях від вихідних кромки та варіантах розміщення щілин для видуву додаткової маси повітря.
Ключові слова: аеродинамічні профілі, примежевий шар, нерівномірність потоку, аеродинамічні сліди, газодинамічний вплив.

COMPUTATIONAL STUDY OF GAS DYNAMIC INFLUENCE ON THE FLOW IN LATTICE OF AIRFOILS**I. LASTIVKA^{1*}, K. DOROSHENKO², Y. TERESHCHENKO²**¹ Department of higher mathematics, National Aviation University, Kyiv, UKRAINE² Department of aviation engine, National Aviation University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT A computational study of flow in lattices of airfoils of compressor of gas turbine engines with gas-dynamic effect on the aerodynamic traces behind outboard edges of input directing device was conducted. Summarized results of computational study in the form of dependency of levels of unevenness of flow from the intensity of gas-dynamic effect on the flow in a wide range of Reynolds numbers at fixed Mach numbers, the distances from the outboard edges and options for placement of slits for blowing additional air mass were presented. Using the results of computational study and comparative analysis with the results of some well-known experimental studies the data about the aerodynamic structure of the aerodynamic traces behind the axial compressor stator elements with the gas-dynamic effect on it were received and the efficiency of the gas-dynamic effect on the aerodynamic traces to improve the parameters and characteristics of the compressor elements of gas turbine engines was determined. Established that gas-dynamic effect on the flow in lattices of aerodynamic profiles is characterized by uneven flow reduction to minimum values of α in a range of intensity values of blowing more air mass in the boundary layer. For Mach numbers of 0.15 – 0.45 at low, compared to the profile chord, distance from the original edge α are actually centered on the axis of the trace. With increase of subsonic speeds and higher values of Reynolds numbers the opposite effect is observed – level unevenness of the flow begins to increase.

Keywords: aerodynamic profiles, boundary layer, flow unevenness, aerodynamic traces, gas-dynamic effect.**Вступ. Аналіз стану питання.**

Комплексне вивчення течії в решітках аеродинамічних профілів і, зокрема, в решітках осьових компресорів газотурбінних двигунів (ГТД) обумовлено необхідністю розширення можливості безвідривного обтікання лопаткових вінців, зменшення рівня гідравлічних втрат та зниження механічних вібронапружень в елементах компресорів ГТД. Удосконалення внутрішньої аеродинаміки компресорів [1-5] з метою забезпечення газодинамічної стійкості ГТД в цілому в широкому діапазоні експлуатаційних режимів є актуальною задачею.

Одним з основних факторів, які негативно впливають на параметри та характеристики ступенів компресора та його газодинамічну стійкість, є нерівномірність і пульсації потоку на вході в компресор, що викликаються наявністю аеродинамічних кромкових слідів за елементами

статора [1, 6-8]. У ряді робіт, присвячених дослідженню проблеми оцінки та зниження рівня нерівномірності потоку на вході в компресор [1, 7, 9-13 та ін.], показано, що фізичні основи виникнення, зокрема, періодичної колової нерівномірності потоку в проточній частині компресора полягають в утворенні аеродинамічних слідів за елементами статора осьового компресора через явище в'язкості повітряного потоку. Інтенсивність даних слідів може бути визначена на основі співвідношень теорії примежевого шару.

Метод активного енергетичного газодинамічного впливу на потік повітря [4, 5, 14, 15] в компресорних решітках ГТД шляхом видуву додаткової маси повітря у напрямі основного потоку в примежевий шар на поверхнях аеродинамічних профілів і управління їх кромковими слідами є дієвим засобом вдосконалення характеристик компресорів.

Дію активного газодинамічного впливу на структуру потоку в проточній частині осьового компресора ГТД, зокрема, на рівень нерівномірності потоку, на значення критеріїв граничної аеродинамічної навантаженості лопаток, а також на рівень втрат повного тиску, розглянуто і проаналізовано у роботах [2, 16 та ін.].

Постановка задачі.

У даній роботі ставиться задача проведення оцінки ефективності газодинамічного управління аеродинамічними слідами, як основним джерелом нерівномірності потоку, в широкому діапазоні зміни чисел Рейнольдса при фіксованих значеннях чисел Маха, відстанях від вихідних кромek та варіантах розміщення щілин для видуву додаткової маси повітря, а також визначення ефективності газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди в решітках аеродинамічних профілів осьових компресорів ГТД з метою покращення параметрів та характеристик елементів компресорів.

Схема формування аеродинамічного сліду та його характеристики.

При обтіканні статорних лопаткових решіток вхідного напрямного апарата (ВНА) в'язким потоком в осьовому компресорі ГТД за кромek лопаток утворюється аеродинамічні сліди втрат, що спричинюють періодичну колову нерівномірність потоку перед роторним лопатковим вінцем компресора (рис. 1).

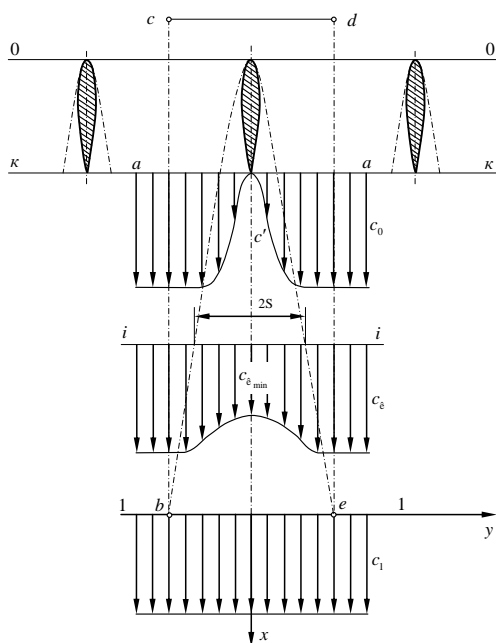


Рис. 1 – Схема формування аеродинамічного сліду

При розгляді особливостей формування аеродинамічних слідів виходитимемо з того, що

періодична колова нерівномірність потоку вирівнюється на деякому віддаленні (переріз 1–1 на рис. 1) від вихідних кромek лопаток (переріз к–к) [7, 10, 17-20]. Між перерізом к–к і перерізом і–і (рис. 1), розташованим на відносно малій відстані у порівнянні з хордою лопатки, потік істотно неоднорідний: тут спостерігається значна неоднорідність полів швидкостей і статичних тисків, а також значні пульсації параметрів потоку. Між перерізами і–і та 1–1 ширина турбулентного аеродинамічного сліду збільшується, але поля повних тисків і швидкостей вирівнюються. Робочі лопатки компресора рухаються між перерізами і–і та 1–1, де рівень періодичної колової нерівномірності потоку істотний і потребує оцінки. На лопатки робочого колеса першого ступеня осьового компресора діятиме змінна аеродинамічна сила. Періодична колова нерівномірність потоку у ряді випадків проходить через усі ступені осьового компресора, негативно впливаючи на їх роботу і навіть на роботу газової турбіни.

На основі розгляду схеми формування аеродинамічного сліду та аналізу обтікання періодично нерівномірним потоком робочих решіток осьового компресора можна відзначити, що величина відносної швидкості перед решітками робочого колеса змінюється за величиною і напрямом.

Було проведено розрахунок параметрів одного із турбулентних аеродинамічних слідів за лопаткою ВНА. Основні позначення до розрахунку аеродинамічного сліду представлені на рис. 2.

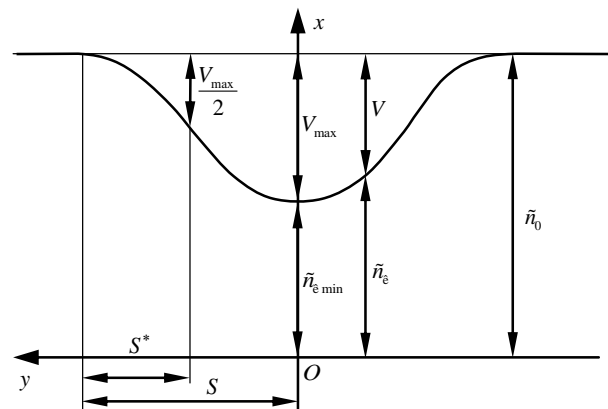


Рис. 2 – Основні позначення до розрахунку аеродинамічного сліду

З аналізу структури сліду маємо ширину сліду $S^* = 0,25 \frac{c_0}{V_{\max}} t \xi_{i0} \sin \gamma_1$ та ступінь або інтенсивність нерівномірності потоку $\alpha = \frac{c_0 - c_{\epsilon \min}}{c_0} = \frac{V_{\max}}{c_0} = f(x)$, де c_0 – швидкість у ядрі основного потоку, $c_{\epsilon \min}$ – мінімальна

швидкість потоку в сліді, $V_{\max} = c_0 - c_{\varrho \min}$ – максимальна додаткова швидкість потоку в сліді.

Дані досліджень свідчать про те, що газодинамічна дія на течію (видув повітря в пристінний примежевий шар на профілі з імпульсом, що визначається інтегральними характеристиками примежевого шару) істотно впливає на інтенсивність аеродинамічних слідів за вихідними кромками тіл, що обтікаються в'язким потоком.

Розрахункова схема газодинамічного управління течією повітря.

На рис. 3 і рис. 4 представлено розрахункові схеми управління інтенсивністю аеродинамічних слідів за елементами статора осьового компресора за допомогою видуву додаткової маси повітря в примежевий шар через щілини на поверхні лопатки.

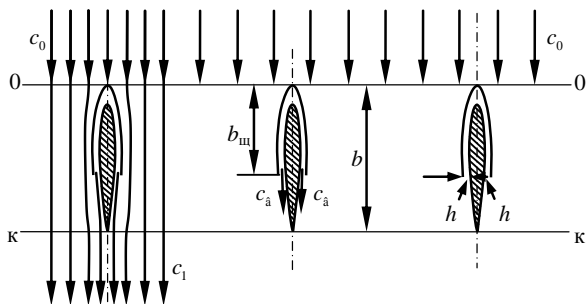


Рис. 3 – Схема управління аеродинамічними слідами за елементами статора осьового компресора

Розрахунок газодинамічного управління течією в елементах компресорів ГТД полягає у визначенні параметрів управляючого потоку, який регулює характер течії. Визначення цих параметрів необхідне для ефективної дії на характер течії в аеродинамічних слідах. У цих випадках, зазвичай, керуються наступними міркуваннями: щілини на поверхнях з управлінням примежевим шаром розташовані до точки відриву потоку на профілі [20]; параметри струменя, що видувається в примежевий шар, визначаються з умови забезпечення заданого ступеня нерівномірності потоку на різному віддаленні від вихідного перерізу. Розташування щілин до точки відриву обумовлено тим, що газодинамічна дія на течію в примежевому шарі може бути ефективною і економічною лише при безвихровій течії, а при розташуванні щілини за точкою відриву потоку ефективність газодинамічного управління різко знижується [21].

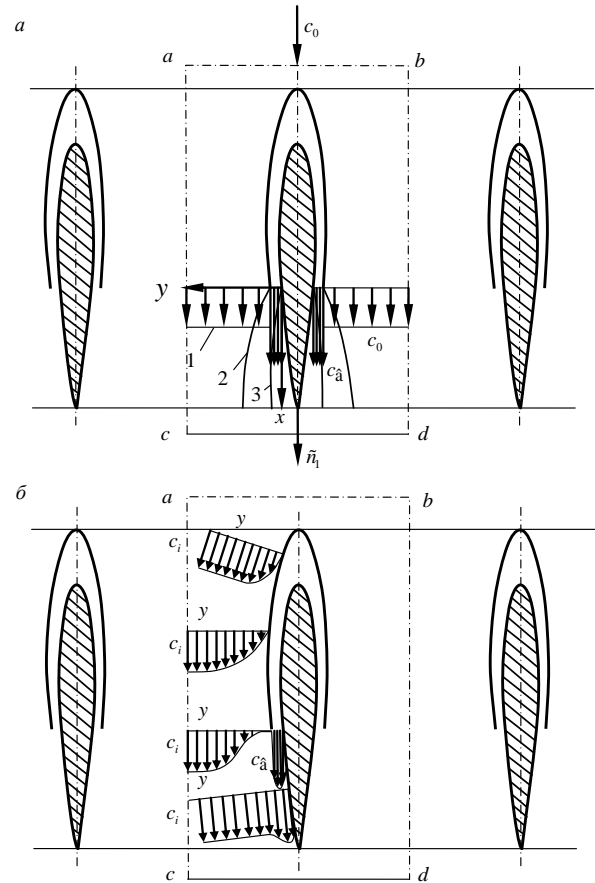


Рис. 4 – Розрахункова схема газодинамічного управління течією повітря в примежевому шарі

Оцінку ефективності газодинамічного управління течією при видуві повітря в пристінний примежевий шар будемо проводити за допомогою безрозмірного параметра – коефіцієнта імпульсу видуву

$$K_{\mu} = \frac{I_{\bar{a}}}{I_{i,\bar{e}}} = K \frac{\rho_{\bar{a}} c_{\bar{a}}^2}{\rho_0 c_0^2} \cdot \bar{h}_{\bar{u}} \cdot \frac{b}{t} \cdot \frac{1}{\sin \gamma_1}$$

де $I_{\bar{a}}$ – імпульс секундної маси повітря, що видувається зі щілини в аеродинамічний слід за лопаткою; $I_{i,\bar{e}}$ – імпульс секундної маси повітря, що проходить через міжлопатковий канал; $\rho_{\bar{a}}, \bar{n}_{\bar{a}}$ – густина і швидкість повітря, що видувається з щілин профілів; ρ_0, \bar{n}_0 – густина і швидкість основного потоку повітря; $\bar{h}_{\bar{u}} = h_{\bar{u}}/b$ – відносна висота щілини; $h_{\bar{u}}$ – висота щілини; b – хорда профілю; b/t – густина решіток на середньому радіусі; t – крок решітки профілів; K – коефіцієнт пропорційності (враховує непаралельність вектора швидкості основного потоку c_0 і швидкості $c_{\bar{a}}$); γ_1 – кут між вектором абсолютної швидкості c_1 і

фронтом решіток або кут виходу потоку з решітки профілів ВНА ($\gamma_1 = 90^\circ$, $\sin \gamma_1 = 1, 0$).

Задача дослідження полягала у розгляді функціональної залежності (для решіток профілів ВНА при плоскому обтіканні) вигляду

$$\alpha = f(x, K_\mu).$$

В основі аналітичних розрахунків лежить знаходження товщини втрати імпульсу δ_Σ^{**} за вихідною кромкою лопатки – величини, що визначає інтенсивність аеродинамічних слідів. Виходячи з аналізу, проведеного в роботах [2, 22], записуємо вирази для δ_Σ^{**} для турбулентного примежевого шару:

$$\delta_\Sigma^{**} = \frac{2\nu}{c_0} [X]^{6/7},$$

де ν – кінематична в'язкість повітря;

$$X = f(\text{Re}_\delta^{**}) = \frac{1,17}{\nu c_0^{2,8}} \int_0^x c_0^{3,8} dx - \text{параметр}; \text{Re} = \frac{c_m b}{\nu} -$$

число Рейнольдса; $c_m = \frac{c_1 + c_2}{2}$ – середнє значення швидкості потоку у решітці профілів.

Використовуючи наближене співвідношення, можна визначити рівень нерівномірності потоку на різному віддаленні x від вихідної кромки у вигляді функціональної залежності

$$\alpha = K \cdot f\left(\frac{b}{t}, \gamma_1, \frac{b}{x}, \nu, c_0, x\right).$$

Тоді вираз для α за елементами статора осьового компресора без управління примежевим шаром записується [23] у вигляді:

$$\alpha = K_1 \sqrt{\left(2 \frac{t}{b} \cdot \frac{\delta_\Sigma^{**}}{a} \sin \gamma_1 \cdot \frac{b}{x}\right)},$$

де K_1 – константа (у діапазоні чисел Маха $M = 0,4 - 0,8$ $K_1 = 0,65$); $a = t \sin \gamma_1$.

Колова нерівномірність потоку, обумовлена аеродинамічними слідами за елементами статора, може бути істотно зменшена за рахунок використання газодинамічного управління течією (розрахункові схеми на рис. 3 і рис. 4). У даному випадку управління обтіканням здійснюється видувом в примежевий шар на поверхні лопаток статора повітря з імпульсом, що визначається

розмірами щілини h для видуву (рис. 4а) і параметрами повітряного потоку, який видувається.

Сумарну товщину втрати імпульсу в сліді за елементами статора осьового компресора з управлінням обтіканням поверхонь записуємо у вигляді [22]

$$\delta_\Sigma^{**} = \delta_{\Sigma_0}^{**} - \frac{K_\mu \rho_0 c_0^2 t \sin \gamma_1}{\rho_a c_a^2} + \delta_{\Sigma_x}^{**},$$

де $\delta_{\Sigma_0}^{**}$ – товщина втрати імпульсу на вихідній кромці профілю; $\delta_{\Sigma_x}^{**}$ – товщина втрати імпульсу на ділянці від місця розташування щілини до вихідної кромки. З останнього виразу очевидна кількісна залежність величини сумарної товщини втрати імпульсу δ_Σ^{**} від коефіцієнта імпульсу видуву K_μ .

З урахуванням зроблених вище припущень після перетворень отримуємо співвідношення для α при газодинамічному управлінні обтіканням поверхонь:

$$\alpha_\mu = K_1 \sqrt{2 \frac{t}{b} \cdot \frac{\sin \gamma_1}{a} \cdot \frac{b}{x} \cdot \left(\delta_{\Sigma_0}^{**} - \frac{K_\mu \rho_0 c_0^2 t \sin \gamma_1}{\rho_a c_a^2} + \delta_{\Sigma_x}^{**} \right)}.$$

Даний вираз дозволяє встановити залежність між рівнем нерівномірності α , відстанню від задньої кромки вниз по потоку x і коефіцієнтом імпульсу видуву K_μ у разі управління обтіканням поверхонь профілів. Управління обтіканням дозволяє істотно знизити інтенсивність колової нерівномірності потоку на вході в компресор.

Узагальнені результати та аналіз розрахункових досліджень газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди в компресорах ГТД.

У результаті проведеного розрахункового дослідження течії [24] в решітках аеродинамічних профілів ВНА в компресорі ГТД з газодинамічним впливом на аеродинамічні сліди було побудовано серію графічних залежностей ступенів нерівномірності потоку α від інтенсивності енергетичного газодинамічного впливу K_μ , чисел Re і Маха на різних відстанях від вихідних кромок профілів $\bar{x} = \frac{x}{b} = 0,1 - 0,3$, для різних варіантів розміщення щілин для видуву додаткової маси повітря $\bar{b}_a = (b_a / b) = 60\%; 70\%; 85\%$ (рис. 5–7).

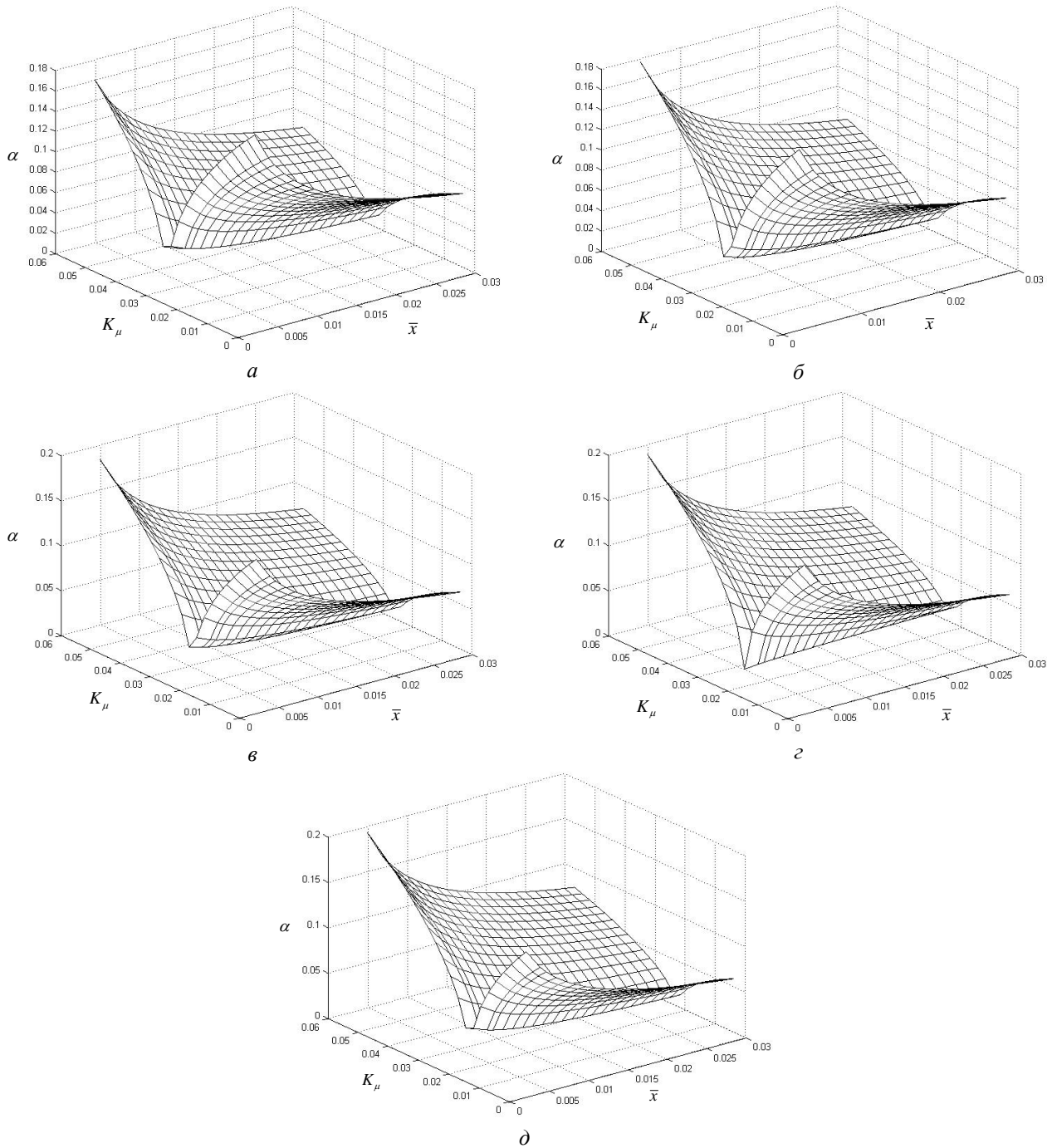


Рис. 5 – Результати розрахункових досліджень газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди за профілями решітки ВНА з $b/t=1$, $\bar{b}_u=70\%$, $\bar{h}_u=0,0044$:
 а – $\tilde{n}_1 = 50 \text{ і } /c (M_1 = 0,15)$; б – $\tilde{n}_2 = 100 \text{ і } /c (M_2 = 0,30)$; в – $\tilde{n}_3 = 150 \text{ і } /c (M_3 = 0,45)$;
 г – $\tilde{n}_4 = 200 \text{ і } /c (M_4 = 0,60)$; д – $\tilde{n}_5 = 250 \text{ і } /c (M_5 = 0,75)$

Вплив газодинамічної дії на аеродинамічні сліди з метою зменшення нерівномірності потоку за вихідними кромками профілів ВНА представлено на рис. 5 у вигляді залежностей $\alpha = f(\bar{x}, K_\mu)$ для п'яти значень дозвукових швидкостей у ядрі основного потоку

$\tilde{n}_1 = 50 \text{ і } /c (M_1 = 0,15)$; $\tilde{n}_2 = 100 \text{ і } /c (M_2 = 0,30)$;
 $\tilde{n}_3 = 150 \text{ і } /c (M_3 = 0,45)$; $\tilde{n}_4 = 200 \text{ і } /c (M_4 = 0,60)$;
 $\tilde{n}_5 = 250 \text{ і } /c (M_5 = 0,75)$. Решітки з відносною густотою $\bar{b} = \frac{b}{t} = \frac{215}{215} = 1,0$, складались із профілів з відносним розміщенням щілин по хорді лопатки

$\bar{b}_u = 70\%$. Дослідження проводились у режимі автомодельності за числом Рейнольдса ($Re > 2 \cdot 10^5$).

З рис. 5 видно, що в певних межах коефіцієнта видуву K_μ нерівномірність потоку, яка характеризується коефіцієнтом α , набуває свого мінімального значення α_{\min} , причому в міру віддалення від вихідної кромки профілів нерівномірність падає: при $M = 0,15$ мінімальні значення $\alpha_{\min 1} \approx 0,04 - 0,015$ досягаються шляхом газодинамічного впливу з інтенсивністю $K_{\mu 1} = 0,03 - 0,032$ на віддаленні від вихідної кромки $\bar{x} = 0,1 - 0,3$ відповідно.

Якісна картина газодинамічної дії на ступінь нерівномірності потоку α при інших значеннях $M_2 = 0,30$; $M_3 = 0,45$; $M_4 = 0,60$; $M_5 = 0,75$ зберігається. Наприклад, на відстані $\bar{x} = 0,1$ від

вихідної кромки мінімальні значення нерівномірності потоку $\alpha_{\min 2} = 0,035$; $\alpha_{\min 3} = 0,030$; $\alpha_{\min 4} = 0,035$; $\alpha_{\min 5} = 0,045$ досягаються при $K_{\mu 2} = 0,025$; $K_{\mu 3} = 0,0023$; $K_{\mu 4} = 0,021$; $K_{\mu 5} = 0,02$ відповідно.

На рис. 6, 7 представлено серію графічних залежностей $\alpha = f(K_\mu, Re)$ для характеристики газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди в діапазоні чисел Рейнольдса $Re = 2 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^6$ при різних параметрах основного потоку $\dot{l} = 0,15 - 0,75$, для трьох відносних значень відстані від вихідної кромки $\bar{x} = 0,1$; $0,2$; $0,3$ для решітки з густиною $\bar{b} = 1,0$ та відносним розміщенням щілини по хорді $\bar{b}_u = 60\%$.

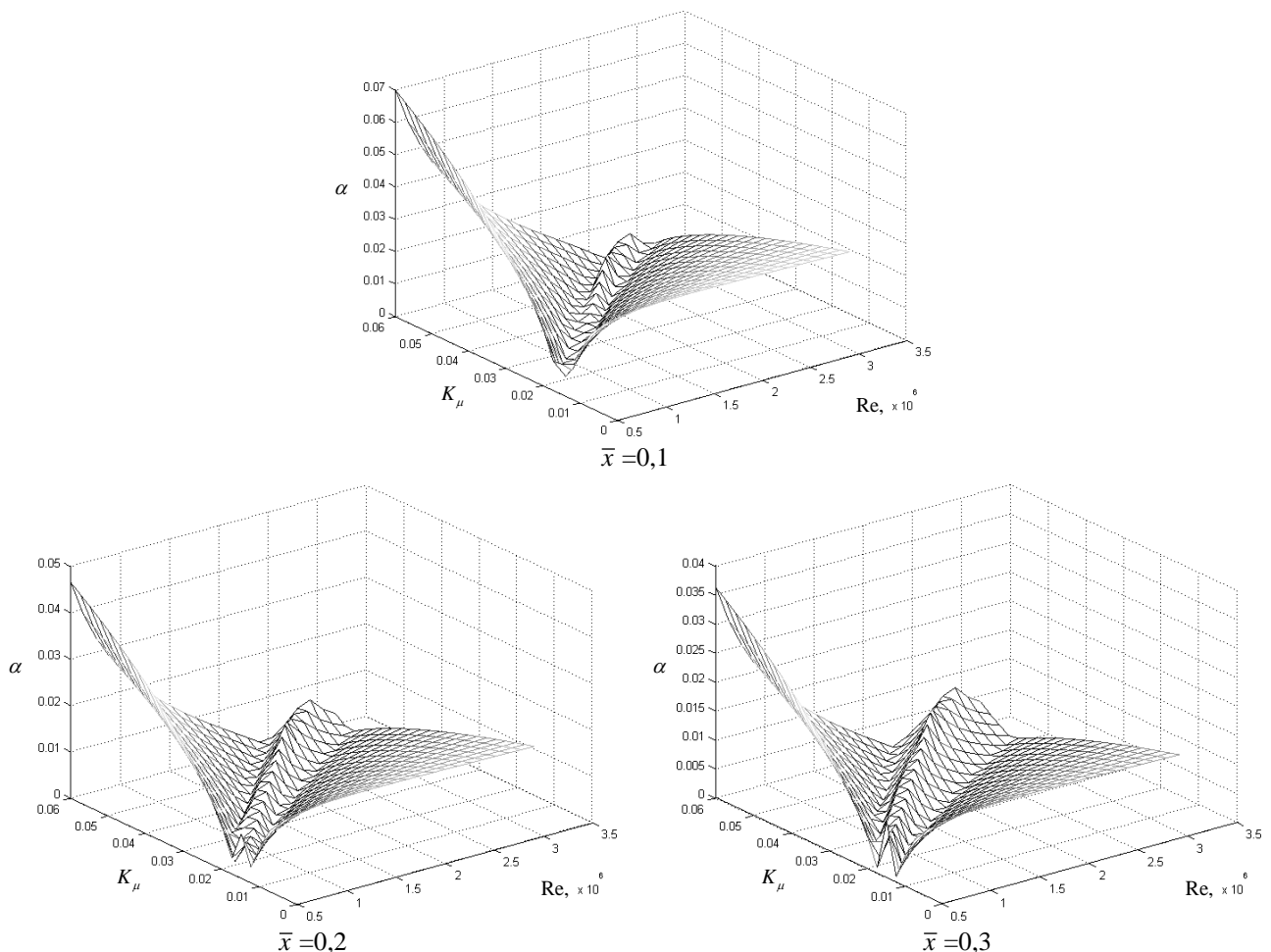


Рис. 6 – Результати розрахункових досліджень газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди в решітках ВНА при $M=0,45$ та $\bar{x}=0,1; 0,2; 0,3$

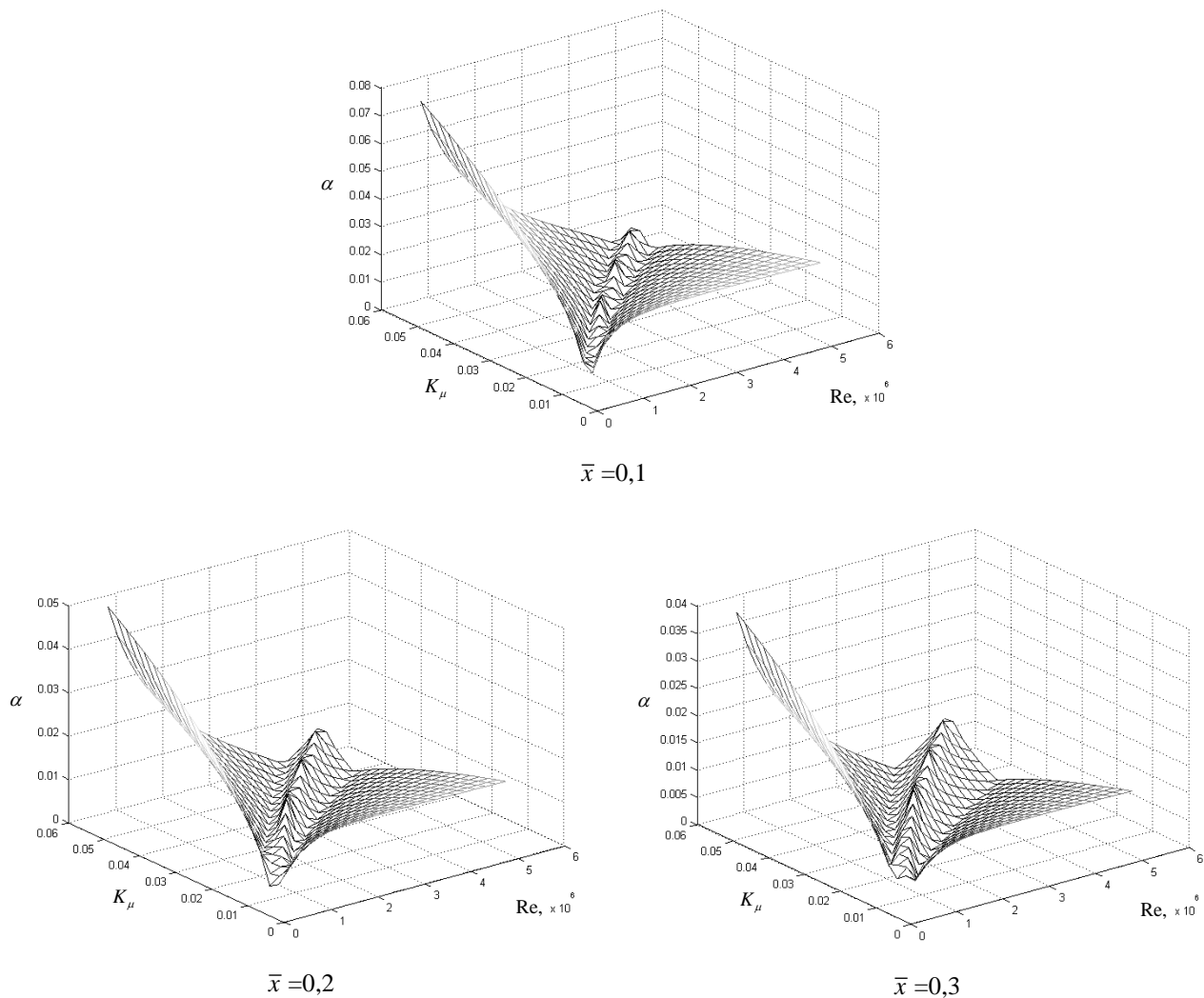


Рис. 7 – Результати розрахункових досліджень газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди в решітках ВНА при $M=0,75$ та $\bar{x}=0,1; 0,2; 0,3$

Графічні залежності характеризуються зниженням нерівномірності потоку до своїх мінімальних значень α_{\min} в певних діапазонах значень інтенсивності видуву K_{μ} . Для чисел Маха $M = 0,15$; $M = 0,30$; $M = 0,45$ на відстані $\bar{x} = 0,1$ від вихідної кромки мінімальні значення α_{\min} зосереджені фактично на осі сліду. При збільшенні дозвукових швидкостей (для $M = 0,60-0,75$) і при більших віддаленнях від вихідної кромки $\bar{x} = 0,2-0,3$, а також при більших значеннях чисел Re на осі сліду спостерігається збільшення рівня нерівномірності потоку – має місце зворотний ефект управління аеродинамічними слідами.

Висновки.

1. За результатами розрахункових досліджень та їх порівняльного аналізу з результатами експериментальних досліджень у

роботі отримано дані про структуру аеродинамічних слідів за елементами статора осевого компресора при газодинамічній дії та визначено ефективність газодинамічного впливу на рівень нерівномірності потоку.

2. Отримані результати досліджень щодо газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди при різних параметрах потоку і різних геометричних параметрах решітки можуть бути використані під час розрахунків аеропружних та міцнісних характеристик лопаткових вінців компресорів газотурбінних двигунів.

Список літератури

- 1 Дейч, М. Е. Основы аэродинамики осевых турбомашин / М. Е. Дейч, Г. С. Самойлович. – М. : Машгиз. – 1959. – 427 с.
- 2 Терещенко, Ю. М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю. М. Терещенко. – М. : Машиностроение. – 1987. – 168 с.

- 3 **Терещенко, Ю. М.** Аэродинамика компрессорных решеток / **Ю. М. Терещенко.** – М. : Машиностроение. – 1979. – 120 с.
- 4 **Терещенко, Ю. М.** Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока / **Ю. М. Терещенко, М. М. Митрохович.** – К. : Институт математики НАН Украины. – 1996. – 250 с.
- 5 **Abe, T.** Coexisting phenomena of surge and rotating stall in an axial flow compressor / **T. Abe, H. Mitsui, Y. Ohta** // *Journal of Thermal Science.* – 2013. – Vol. 22, Issue 6. – P. 547-554. – doi:10.1007/s11630-013-0661-7.
- 6 **Терещенко, Ю. М.** Аэродинамические следы в компрессорах газотурбинных двигателей : монография / **Ю. М. Терещенко, Н. С. Кулик, И. А. Ластивка [и др.]**; под ред. **Ю. М. Терещенко.** – К. : НАУ. – 2012. – 232 с.
- 7 **Самойлович, Г. С.** Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / **Г. С. Самойлович.** – М. : Наука. – 1969. – 444 с.
- 8 **Степанов, Г. Ю.** Гидродинамика решеток турбомашин / **Г. Ю. Степанов.** – М. : Физматгиз. – 1962. – 512 с.
- 9 **Писаренко, Г. С.** Проблемы аэроупругости лопаток турбомашин / **Г. С. Писаренко, А. Е. Ольштейн** // *Проблемы прочности. Институт проблем прочности АН УССР.* – К. : Наукова думка. – 1974. – № 8. – С. 1-8.
- 10 **Самойлович, Г. С.** Возбуждение колебаний лопаток турбомашин / **Г. С. Самойлович.** – М. : Машиностроение. – 1975. – 288 с.
- 11 **Hara, T.** Unsteady flow field under surge and rotating stall in a three-stage axial flow compressor / **T. Hara, D. Morita, Y. Ohta, E. Ohta** // *Journal of Thermal Science.* – 2011. – Vol. 20, Issue 1. – P. 6-12. – doi:10.1007/s11630-011-0427-z.
- 12 **Ohta, Y.** Unsteady behavior of surge and rotating stall in an axial flow compressor / **Y. Ohta, Y. Fujita, D. Morita** // *Journal of Thermal Science.* – 2012. – Vol. 21, Issue 4. – P. 302-310. – doi:10.1007/s11630-012-0548-z.
- 13 **Shen, C.** Numerical and experimental investigation of an axial compressor flow with tandem cascade / **C. Shen, X. Qiang, J. Teng** // *Journal of Thermal Science.* – 2012. – Vol. 21, Issue 6. – P. 500-508. – doi:10.1007/s11630-012-0574-x.
- 14 **Chen, N.** Aerothermodynamics of turbomachinery: analysis and design / **N. Chen.** – Singapore: *John Wiley & Sons Pte Ltd.* – 2010. – 461 p.
- 15 **Zhao, S.** Exploring the intention of using aspirated cascade to replace tandem cascades / **S. Zhao, J. Luo, X. Lu, J. Zhu** // *Journal of Thermal Science.* – 2010. – Vol. 19, Issue 5. – P. 390-396. – doi:10.1007/s11630-010-0399-4.
- 16 **Терещенко, Ю. М.** О влиянии некоторых аэродинамических факторов на возбуждение колебаний лопаток турбомашин / **Ю. М. Терещенко** // *Проблемы прочности. Институт проблем прочности АН УССР.* – К. : Наукова думка. – 1976. – № 3. – С. 30-32.
- 17 **Абрамович, Г. Н.** Теория турбулентных струй / **Г. Н. Абрамович.** – М. : Физматгиз. – 1960. – 715 с.
- 18 **Лойцянский, Л. Г.** Механика жидкости и газа / **Л. Г. Лойцянский.** – М. : Наука. – 1978. – 730 с.
- 19 **Седов, Л. И.** Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики / **Л. И. Седов.** – М. : ГИТТЛ. – 1950. – 443 с.
- 20 **Шлихтинг, Г.** Теория пограничного слоя / **Г. Шлихтинг.** – М. : Наука, 1969. – 742 с.
- 21 **Чжен, П.** Управления отрывом потока : пер. с англ. / **П. Чжен.** – М. : Мир, 1979. – 365 с.
- 22 **Терещенко, Ю. М.** О влиянии некоторых аэродинамических факторов на возбуждение колебаний лопаток турбомашин / **Ю. М. Терещенко** // *Проблемы прочности. Институт проблем прочности АН УССР.* – К. : Наукова думка. – 1975. – № 3. – С. 92-94.
- 23 **Зубков, А. И.** О влиянии отсоса и вдува на профиль пограничного слоя при обтекании ступенчатого конуса сверхзвуковым потоком / **А. И. Зубков** // Труды ЦИАМ. – 1961. – № 382.
- 24 **Юн А. А.** Теория и практика моделирования турбулентных течений / **А. А. Юн.** – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ». – 2009. – 272 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Deitch, M. E.** Osnovy ajerodinamiki osevyh turbomashin [Fundamentals of aerodynamics of axial turbomachinery]. *Moscow, Mashgiz*, 1959, 427 p.
2. **Tereshchenko, Y. M.** Ajerodinamicheskoe sovershenstvovanie lopatochnyh apparatov kompressorov [Aerodynamic improvement of blade apparatus in compressor]. *Moscow, Mechanical engineering*, 1987, 168 p.
3. **Tereshchenko, Y. M., Mitrokhovich, N. N.** Ajerodinamika kompressornyh reshetok [Aerodynamics of compressor gratings]. *Moscow, Mechanical engineering*, 1979, 120 p.
4. **Tereshchenko, Y. M., Mitrokhovich, N. N.** Ajerodinamika kompressorov s upravleniem otrivom potoka [Aerodynamics of compressors with control of flow separation]. *Kyiv, Institute of Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine*, 1996, 250 p.
5. **Abe T., Mitsui H., Ohta Y.** Coexisting phenomena of surge and rotating stall in an axial flow compressor. *Journal of Thermal Science*, 2013, **22** (6), 547–554, doi:10.1007/s11630-013-0661-7.
6. **Tereshchenko, Y. M., Kulik, N. S., Lastivka, I. A.** Ajerodinamicheskie sledy v kompressorah gazoturbinyh dvigatelej [Aerodynamic traces in compressors of gas turbine engines]. *Kyiv, NAU*, 2012, 232 p.
7. **Samoylovich, G. S.** Nestacionarnoe obtekanie i ajerouprugie kolebanija reshetok turbomashin [Unsteady flow around and aeroelastic vibrations of the lattice turbomachinery]. *Moscow, Science*, 1969, 444 p.
8. **Stepanov, G. U.** Hidrodinamika reshetok turbomashin [Hydrodynamics of lattices of turbomachinery]. *Moscow, Fizmatgiz*, 1962, 512 p.
9. **Pisarenko, G. S., Olshteyn, A. E.** Problemy ajerouprugosti lopatok turbomashin [Problems of aeroelasticity of blades of turbomachinery]. *Kyiv, Naukova Dumka*, 1974, **8**, 1-8.
10. **Samoylovich, G. S.** Vozbuzhdenie kolebanij lopatok turbomashin [Excitation of oscillations of turbomachinery blades] *Moscow, Mechanical engineering*, 1975, 288 p.
11. **Hara, T., Morita, D., Ohta, Y., Ohta, E.** Unsteady flow field under surge and rotating stall in a three-stage axial flow compressor. *Journal of Thermal Science*, 2011, **20** (1), 6-12, doi:10.1007/s11630-011-0427-z.
12. **Ohta, Y., Fujita, Y., Morita, D.** Unsteady behavior of surge and rotating stall in an axial flow compressor.

- Journal of Thermal Science*, 2012, **21** (4), 302-310, doi:10.1007/s11630-012-0548-z.
13. **Shen, C., Qiang, X., Teng, J.** Numerical and experimental investigation of an axial compressor flow with tandem cascade. *Journal of Thermal Science*, 2012, **21** (6), 500-508, doi:10.1007/s11630-012-0574-x.
 14. **Chen, N.** Aerothermodynamics of turbomachinery: analysis and design. *Singapore: John Wiley & Sons Pte Ltd*, 2010, 461 p.
 15. **Zhao, S., Luo, J., Lu, X., Zhu, J.** Exploring the intention of using aspirated cascade to replace tandem cascades. *Journal of Thermal Science*, 2010, **19** (5), 390-396, doi:10.1007/s11630-010-0399-4.
 16. **Tereshchenko, Y. M.** О впливі деяких факторів на виникнення коливань лопаток турбомашин [The influence of some factors on the aerodynamic excitation of oscillations of turbomachinery blades]. *Kyiv, Naukova Dumka*. 1976, **3**, 30-32.
 17. **Abramovich, G. N.** Теорія турбулентних струй [The theory of turbulent jets]. *Moscow, Fizmatgiz*, 1960, 715 p.
 18. **Loitsiansky, L. G.** Механіка жидкості і газу [Fluid mechanics]. *Moscow, Nauka*. 1978, 730 p.
 19. **Sedov, L. I.** Плоскі задачі гідродинаміки і аеродинаміки [Plane problems of hydrodynamics and aerodynamics]. *Moscow, GITTL*, 1950, 443 p.
 20. **Schlichting, G.** Теорія пограничного слою [Boundary layer theory]. *Moscow, Nauka*. 1969, 742 p.
 21. **Chzhen, P.** Управління отрывом потоку [Management flow separation]. *Moscow: Mir*, 1979, 365 p.
 22. **Tereshchenko, Y. M.** О впливі деяких факторів на виникнення коливань лопаток турбомашин [The influence of some factors on the aerodynamic excitation of oscillations of turbomachinery blades]. *Kyiv, Naukova Dumka*. 1975, **3**, 92-94.
 23. **Zubkov, A. I.** О впливі всмоктування і продування на профіль пограничного слою при обтіканні ступінчатого конуса сверхзвуковим потоком [The effect of the suction and blowing in the boundary layer with the supersonic flow around the profile of the stepped cone]. *Moscow, Proceedings of the CIAM*. 1961, **382**.
 24. **Yun A. A.** Теорія і практика моделювання турбулентних течій [Theory and practice of modeling of turbulent flows]. *Moscow, Book house "LIBROKOM"*, 2009, 272 p.

Відомості про авторів (About authors)

Ластівка Іван Олексійович – доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, завідувач кафедри вищої математики; м. Київ, Україна; тел.: (067) 503-76-56; e-mail: iola@nau.edu.ua.

Lastivka Ivan Oleksiyovych – Doctor of Technical Sciences, professor, National Aviation University, head of Department of Higher Mathematics; tel.: (067) 503-76-56; e-mail: iola@nau.edu.ua.

Дорошенко Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри авіаційних двигунів; м. Київ, Україна; тел.: (068) 351-30-39; e-mail: kiki_ua@ukr.net.

Doroshenko Kateryna Viktorivna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), National Aviation University; Associate Professor at the Department of Aviation engine; tel.: (068) 351-30-39; e-mail: kiki_ua@ukr.net.

Терещенко Юрій Юрійович – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, молодший науковий співробітник; м. Київ, Україна; тел.: (067) 109-86-66; e-mail: Terj@nau.edu.ua.

Tereshchenko Yuriy Yuriyovych – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), National Aviation University, Junior Research Fellow at the Department of Aviation engine; tel.: (067) 109-86-66; e-mail: Terj@nau.edu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ластівка, І. О. Розрахункове дослідження газодинамічного впливу на течію в решітках аеродинамічних профілів / **І. О. Ластівка, К. В. Дорошенко, Ю. Ю. Терещенко** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 38-46. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.06.

Please, cite this article as:

Lastivka, I., Doroshenko, K., Tereshchenko, Y. Computational study of gas dynamic influence on the flow in lattice of airfoils. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solution in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 38-46, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.06.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ластівка, И. А. Численное исследование газодинамического воздействия на течение в решетках аэродинамических профилей / **И. А. Ластівка, К. В. Дорошенко, Ю. Ю. Терещенко** // *Вестник НТУ «ХПІ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков : НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 38-46. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.06.

АННОТАЦИЯ Проведено численное исследование течения в решетках аэродинамических профилей компрессоров газотурбинных двигателей с газодинамическим влиянием на аэродинамические следы по выходным кромками входного направляющего аппарата. Представлены обобщенные результаты численного исследования в виде зависимостей степени неравномерности потока от интенсивности газодинамического воздействия на течение в широком диапазоне изменения чисел Рейнольдса при фиксированных значениях чисел Маха, расстояниях от выходных кромок и вариантах размещения щелей для выдува дополнительной массы воздуха.

Ключевые слова: аэродинамические профили, пограничный слой, неравномерность потока, аэродинамические следы, газодинамическое влияние.

Надійшла (received) 17.03.2016

УДК 621.314.58

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.07

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОФАЗНОГО РЕЗОНАНСНОГО НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ФАЗОВИМ СПОСОБОМ КЕРУВАННЯ

А. В. ЛОБКО

*Кафедра «Промислова та біомедична електроніка», Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», Харків, УКРАЇНА
e-mail L.A.V.ua@yandex.ru*

АНОТАЦІЯ Метою статті є аналіз можливостей забезпечення режиму м'якої комутації на основній частоті 50 Гц в однофазному резонансному перетворювачі з фазовим способом керування за результатами фізичного моделювання зазначеного перетворювача. Розглянуто напівпровідниковий резонансний перетворювач з фазовим способом керування, розроблено методика розрахунку основних параметрів перетворювача, а також побудовано алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування. Для підтвердження отриманих результатів використано комп'ютерне та фізичне моделювання перетворювача.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, фізичне моделювання, напівпровідниковий резонансний перетворювач, фазовий спосіб керування, векторна діаграма, алгоритм, мікропроцесорна система керування.

PHYSICAL SIMULATION OF RESONANT SINGLE-PHASE SEMICONDUCTOR CONVERTERS WITH PHASE OPERATING METHODS

A. V. LOBKO

*Department of "Industrial and Biomedical Electronics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE
e-mail L.A.V.ua@yandex.ru*

ABSTRACT The article is devoted to the development of energy-efficient converter for advanced power systems. The main goal is to analyze the possibilities of providing the soft switching mode at the fundamental frequency of 50 Hz in single-phase resonant converter with phase control method using physical modeling results of converter which was mentioned. The major attention is paid to principles of phase control of single-phase resonant converter, the development of a methodology of calculation of the main parameters of the converter, its structure and the control algorithm for the microprocessor-based control system, which provides a soft switching mode using the principles of phase control method. The algorithm of microprocessor control systems of single-phase resonant converter that implements phase control method is discussed. The vector diagrams that explained the principle of determining the angle control necessary for automatic voltage regulation system at load are presented. It is shown that developed phase control method allowed to create a method by which were obtained analytical expressions, based on which have been calculated main parameters of single-phase resonant converter with phase control method. Block diagram of the converter, main blocks description and the relationship between them are presented. The results of computer simulation and verification of their adequacy using a physical model of the converter were performed. The conclusions about the possibilities of providing the soft switching mode at the fundamental frequency of 50 Hz in converter with phase control method in various modes are suggested. These conclusions are supported by the experimental data.

Keywords: computer modeling, physical modeling, semiconductor resonant converter, phase control method, vector diagram, algorithm, microprocessor control system.

Вступ

Брак енергоресурсів підштовхнув світову наукову спільноту не тільки до пошуку нових джерел енергії, але й до оптимізації її використання. Нові системи інтелектуальних мереж (Smart Grid) дозволяють не тільки більш ефективно розподіляти електроенергію між споживачами, але ще й підключати до мережі генератори відновлюваної електроенергії. Розвитком Smart Grid є система FREEDM [1], яка має в своєму складі лінію постійної напруги. В продовж останніх років ця система мала активний розвиток, були досягненні значні успіхи,

проте енергоефективність перетворювачів, що забезпечують роботу системи, є недостатньо високою [1] і залишається відкритим питання поліпшення їх енергетичних показників.

М'яка комутація дозволяє суттєво зменшити динамічні втрати в силових напівпровідникових перетворювачах. На даний час відомо багато резонансних перетворювачів які можуть забезпечити м'яку комутацію. В [2] приводиться класифікація резонансних DC-AC перетворювачів, в [3, 4] розглядається LLC резонансний перетворювач з м'якою комутацією, а в [5] запропоновано трифазний перетворювач з послідовним резонансним фільтром

та м'якою комутацією. Резонансні перетворювачі використовуються також і в перспективних системах електропостачання. Наприклад в [6] розглядається LLC резонансний перетворювач з м'якою комутацією для підключення фото генераторів в системі FREEDM. В розглянутих роботах в основі системи керування лежить принцип керування на основі широтно-імпульсної модуляції на високій частоті.

Розглянута в [7] ідея випрямляча з резонансним послідовним фільтром, що працює на частотах промислової мережі, набула подальшого розвитку в [8, 9], де розглядаються резонансні перетворювачі з фазовим способом керування, аналізуються їх статичні і динамічні характеристики. В цих роботах показано, що з енергетичної точки зору в перспективних системах електропостачання є ефективним застосування перетворювачів з м'якою комутацією, яка забезпечується використанням резонансного фільтра на стороні змінного струму, що дозволить знизити потужність втрат в динамічному режимі і поліпшити використання напівпровідникових ключів. Підтвердження результатів математичного моделювання в [7 - 9] за допомогою фізичного експерименту є актуальним завданням.

Мета роботи

Метою статті є аналіз можливостей забезпечення режиму м'якої комутації на основній частоті 50 Гц в однофазному резонансному перетворювачі з фазовим способом керування за результатами фізичного моделювання зазначеного перетворювача.

Для досягнення поставленої мети в статті розглянуті принципи фазового керування однофазним резонансним перетворювачем, його структура та алгоритм керування, який забезпечив режим м'якої комутації використовуючи принципи фазового способу керування. Для підтвердження теоретичних висновків порівняні характеристики отримані шляхом комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень фізичної моделі зазначеного перетворювача.

Викладення основного матеріалу

Схема перетворювача, який узгоджує лінію змінної високої напруги з лінією постійної напруги наведена на рис. 1. До лінії постійної напруги можуть бути підключеними як навантаження, так і система розподілених генераторів та накопичувачів електричної енергії. При передачі енергії з мережі в навантаження перетворювач діє як випрямляч, а при зворотному напрямку потоку енергії, тобто від розподілених генераторів в мережу - як інвертор напруги [7]. Ключі комутатора керуються таким чином, щоб сформувати на стороні змінної напруги

комутатора змінну напругу прямокутної форми з частотою мережі f (основною частотою).

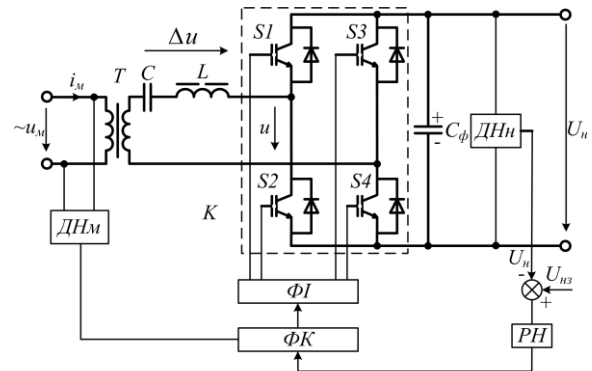


Рис. 1 – Схема однофазного резонансного напівпровідникового перетворювача з фазовим способом керування з його системою регулювання.

На схемі рис. 1 позначено: u_m - змінна напруга мережі живлення; u - напруга на комутаторі; U_n - напруга навантаження; U_{nz} - напруга завдання навантаження; K - комутатор; C та L - конденсатор та дросель послідовного фільтра; C_ϕ - конденсатор фільтру навантаження; $ДНн$ і $ДНм$ - датчики напруги мережі та навантаження; $РН$ - регулятор напруги; $ФК$ - фазовий контролер; $ФІ$ - формувач імпульсів.

У першому (базисному) наближенні вхідний фільтр налаштований на резонанс на частоті мережі

$$\omega L_\sigma = 1/(\omega C_\sigma) = X = X^* R_N, R_N = U_m / I_m \quad (1)$$

де $\omega = 2\pi f$; L_σ і C_σ - базисні значення індуктивності і ємності; X^* - відносний реактивний опір контуру в базовому режимі, який, згідно рекомендації [7], доцільно прийняти рівним одиниці; R_N - опір номінального навантаження приведений до входу комутатора, який визначається як відношення перших гармонік номінального напруги і струму. При цьому, амплітудне значення U_m першої гармоніки вхідної напруги пов'язане з вихідною напругою U_n і потужністю перетворювача P_H рівностями

$$U_m = 4/\pi \cdot U_n, P_H = 1/2 \cdot U_m I_m \quad (2)$$

Як показано в [10] при базисному режимі роботи існує жорсткий зв'язок між вхідною і вихідною напругою, і немає можливостей для регулювання струму або напруги навантаження.

При фазовому керуванні використано розстроєння резонансу, при якому індуктивність та ємність LC - фільтра обрані так, що індуктивний опір на основній частоті більший порівняно з ємнісним опором і їх різниця ΔX має порядок 0.1-0.2 від X . Завдяки тому, що індуктивний та ємнісний опори мають різні знаки, повний реактивний опір ΔX LC -фільтра є позитивним (індуктивним).

$$\Delta X = |\omega L - 1/(\omega C)|, L = (1 + \delta)L_0, C = (1 + \delta)C_0, \quad (3)$$

де δ - глибина розстроєння резонансу по відношенню до базисних значень (1).

Діаграми рис. 2 пояснюють принцип фазового керування. Вектори позначені символами діючих значень перших гармонік напруг і струмів.

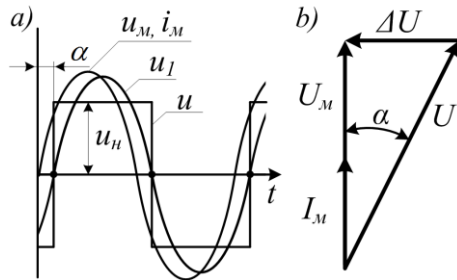


Рис. 2 – Принцип фазового керування

Системою керування комутатора можна повернути вектор напруги на боці змінного струму силового напівпровідникового комутатора U щодо вектора напруга мережі U_m на заданий кут керування α . Завдяки цьому різниця напруга ΔU зсунута відносно напруги мережі змінного струму на кут, який при малому α наближається до $\pi/2$. Тому струм перетворювача I_m приблизно співпадає за фазою з напругою мережі, або має, в залежності від знаку кута керування, протилежний напрямок. Отже, зміною кута керування можна регулювати потік потужності, а зміною знака кута керування - напрямком цього потоку. У граничному режимі, при $\alpha=0$, обміну енергією між мережею і навантаженням немає. Таким чином, фазове керування по даному принципу забезпечує двосторонній регульований обмін енергією між мережею і навантаженням з розподіленими генераторами електроенергії без генерації реактивної потужності в мережі.

Комп'ютерне та фізичне моделювання однофазного резонансного перетворювача з використанням запропонованого фазового способу керування з м'якою комутацією на основній частоті мережі живлення 50 Гц було виконано в режимі випрямляча на прикладі низьковольтного (порядку 33 В) та малопотужного (порядку 20 Вт) макета перетворювача схема якого наведена на рис. 1. Щоб макет добре моделював процеси реальних високопотужних високовольтних перетворювачів була дотримана вимога що до високої добротності дроселя. На рис. 3 приведена структурна схема однофазного резонансного перетворювача з фазовим способом керування.

На схемі рис. 3 позначено: *МЖ* - мережа живлення змінної напруги, *РПФ* - резонансний послідовний фільтр, *К* - комутатор, *ФН* - фільтр навантаження, *Н* - навантаження, *Д «0»* - датчик «0» напруги мережі, *БЖ* - блок живлення, *Д* - драйвери

ключів комутатора, *НЗН* - напруга завдання навантаження, *ДНН* - датчик напруги навантаження, *РМП* - розрахунок моментів перемикачів, *ФКС* - формування керуючих сигналів, *ВПНН* - визначення помилки напруги навантаження, *ВКК* - визначення кута керування, *РН* - регулятор напруги. Згідно структурної схеми рис. 3 комутатор приєднується до мережі живлення змінної напруги з частотою 50 Гц через резонансний послідовний фільтр. Після комутатора підключено фільтр навантаження та навантаження. Вихідні сигнали датчика нуля напруги (датчик «0»), що визначає момент переходу напруги в мережі через нульове значення, та датчика напруги на навантаженні поступають до системи керування перетворювачем, де вони оброблюються згідно алгоритму мікропроцесором, який формує керуючі сигнали для перемикачів, що поступають на драйвери ключів перетворювача.

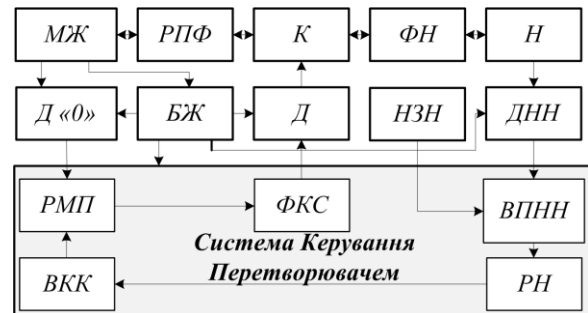


Рис. 3 – Структурна схема однофазного резонансного перетворювача з фазовим способом керування.

Завдання системи керування полягає в підтриманні незмінною напруги на навантаженні при відхиленні напруги мережі від номінального значення. З векторної діаграми рис. 2, *b* видно, що для підтримання $U = const$ при зміні U_m , має змінюватись ΔU та кут керування α . Розстроєний послідовний резонансний фільтр має на основній частоті f результуючий опір індуктивного характеру, в наслідок чого при проходженні струму виникає падіння напруги ΔU . При цьому з рис. 2, *b*

$$\Delta U/U_m = \operatorname{tg} \alpha, \quad \alpha = \operatorname{arctg}(\Delta U/U_m). \quad (4)$$

Здвигавши по фазі момент комутації комутатора, тобто змінюючи кут керування α , можна регулювати струм, що тече крізь послідовний фільтр, та падіння напруги ΔU на ньому. Таким чином, для підтримання напруги на навантаженні слід для синхронізації з мережею визначати нуль напруги, опираючись на поточне значення напруги на навантаженні та напруги завдання визначити за допомогою регулятора напруги необхідне значення ΔU і за допомогою (5) розрахувати кут керування, що забезпечить потрібний фазовий зсув моменту комутації комутатора.

Мікропроцесорна системи керування повинна генерувати керуючі сигнали для перемикання напівпровідникових ключів перетворювача за допомогою фазового способу керування. Для цього вона повинна за допомогою отриманих сигналів від датчиків напруги навантаження та датчика «0» виконати розрахунки і в результаті визначити момент часу, в який має відбутись наступне перемикання ключів, з послідовним генеруванням в визначений момент часу керуючих сигналів.

Алгоритм роботи мікропроцесорної системи наведено на рис. 4.

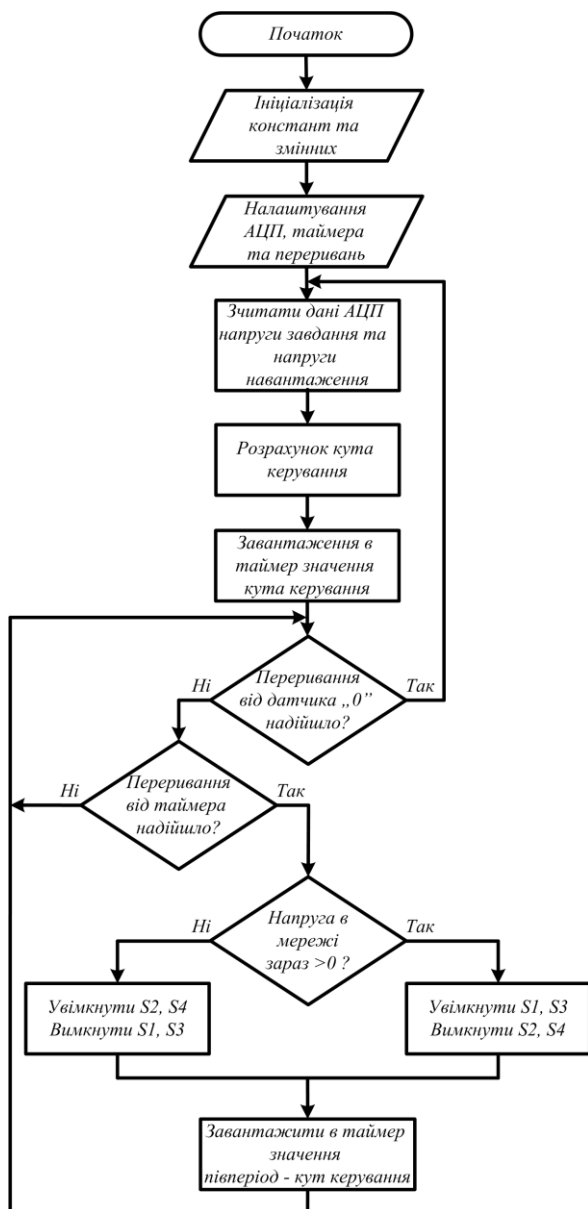


Рис. 4 – Алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування

Алгоритм роботи складається з наступних дій. При ввімкненні мікропроцесорної системи першою чергою відбувається ініціалізація констант та змінних, перше налаштування таймера, АЦП, зовнішніх

переривань. Далі очікується зовнішнє переривання по сигналу з датчика «0» напруги мережі. При надходженні цього переривання в таймер записується нове значення, що відповідає куту керування α , вираженому в мікросекундах. Після відпрацювання цього часу таймером генерується переривання під час якого видаються керуючі сигнали для ключів та записуються в таймер нове значення, що дорівнює різниці між довжиною півперіоду мережі живлення та кута керування α . Після відпрацювання цього часу мало б знову генеруватися таймером переривання та перезаписатись у таймер нове значення кута керування α . Але в цей час має вже відбутись зовнішнє переривання по сигналу з датчика «0» напруги мережі.

Метою такого «дублювання» є захист з одного боку від раптових зовнішніх перешкод, що завдають спрацюванню датчика «0» напруги мережі. Переривання від таймера виконує функцію аварійної синхронізації і не дає мікропроцесору втратити чергові керуючі сигнали. Якщо у випадку помилки не відбулося переривання від датчика «0», перезапис значення кута керування α відбувається завдяки перериванню від таймера. Зовнішнє переривання від датчика «0» напруги мережі постійно корегує і синхронізує таймер з мережею живлення мінімізуючи похибку. В час між перериваннями мікропроцесорна система знімає значення з каналів АЦП та виконує розрахунки. Імпульсні діаграми роботи мікропроцесорної системи керування наведені на рис. 5. Також проілюстровано зміну значення кута керування α зі значення α_1 на α_2 .

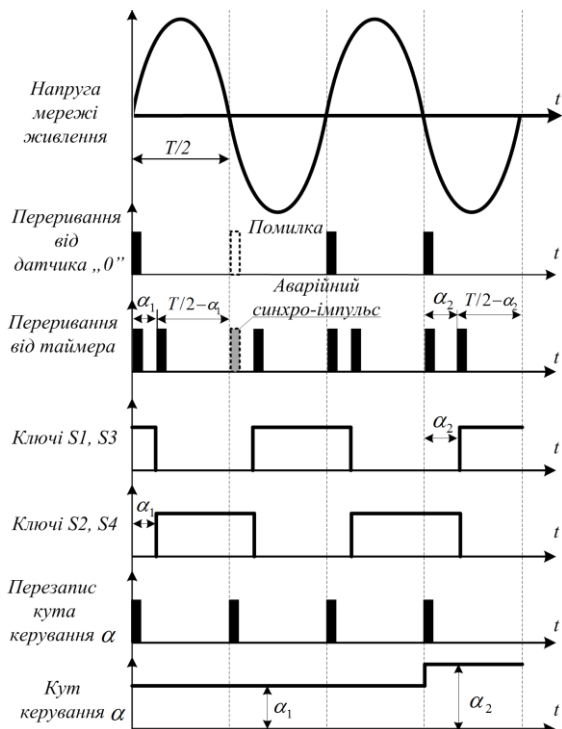


Рис. 5 – Імпульсні діаграми роботи мікропроцесорної системи керування

Обговорення результатів

Комп'ютерне моделювання перетворювача виконано в пакеті Matlab+Simulink. Силова схема Matlab-моделі перетворювача рис. 6 складається з блоків: u_s , що моделює мережу змінної напруги; LC - послідовний резонансний контур, а також активний опір дроселя та проводів; K - силовий комутатор; C_d - ємність фільтра навантаження; R_d - активний опір навантаження. Система керування має в своєму складі блоки: U_d3 - завдання напруги на навантаженні; PID Controller - ПІ регулятор; та формувач керуючих імпульсів. Формувач керуючих імпульсів в свою чергу має: фазовий контролер з подовжньою $x_{пов}$ і поперечною $x_{поп}$ складовими сигналами завдання; блок $Sign$, що знаходить функцію знака від сигналу завдання, що поступає від блоку Sum ; вузли перетворення знакозмінних керуючих імпульсів в знакопостійні (Abs та $Abs1$); мультиплексор Mux для формування векторного керуючого сигналу для блоку силового комутатора K . Крім того міститься також блок $alfa$, що дозволяє отримати значення кута керування, а також ряд вимірювальних пристроїв очевидного призначення.

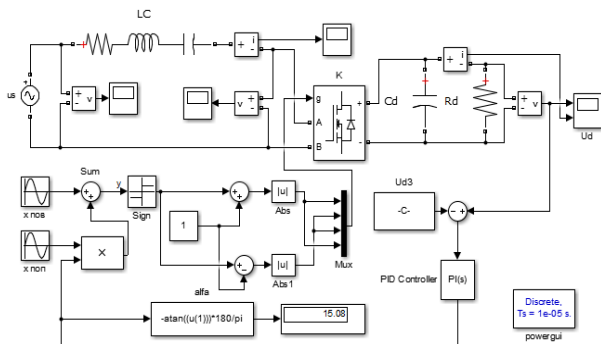


Рис. 6 – Моделювання однофазного резонансного перетворювача в пакеті Matlab+Simulink.

При моделюванні визначення кута керування відбувається наступним чином. Поздовжня і поперечна складові сигналу завдання [8] зсунуті між собою на кут $\pi/2$, поздовжня складова має одиничну амплітуду, а поперечна, що надходить від регулятора напруги навантаження, має змінну амплітуду від нуля до одиниці. В момент часу, коли поздовжня і поперечна складові компенсують одна одну знаходиться точка перетину результуючого сигналу з нулем, в якій має відбутись комутація.

Фізичне моделювання однофазного резонансного перетворювача дозволяє підтвердити адекватність комп'ютерної моделі однофазного резонансного перетворювача порівнюючи отримані осцилограми з Matlab-моделі та зняті з фізичної моделі. Моделювання виконувалось при такому завданні кута керування α , щоб комутація відбувалась при нульовому струмі. На рис. 6 видно, що таким кутом є приблизно 15 електричних градусів. На рис. 7

приведені осцилограми напруги мережі u_M , напруги перед комутатором u та струму мережі i_M отримані на Matlab-моделі, а на рис. 8 показані осцилограми, отримані з фізичної моделі. Порівнюючи ці осцилограми можна відзначити, що дійсно характеристики отримані за допомогою комп'ютерного моделювання достатньо точно співпадають з характеристиками отриманими з фізичної моделі. На рис. 8,а видно, що кут керування α дійсно складає приблизно 15 електричних градусів, а на рис. 8,б, що комутація ключів відбувається при нульовому значенні струму. Отримані результати підтверджують адекватність запропонованих в [8, 9] аналітичних виразів для визначення основних параметрів однофазного резонансного перетворювача з фазовим способом керування.

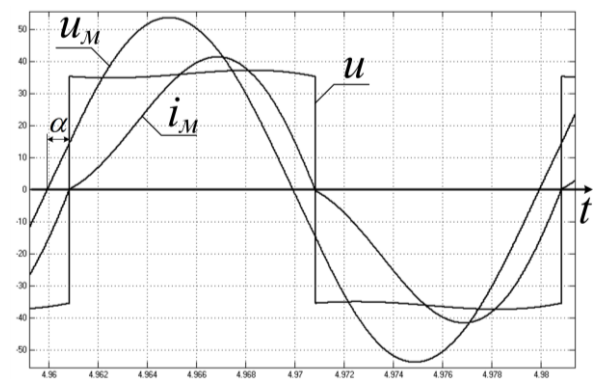
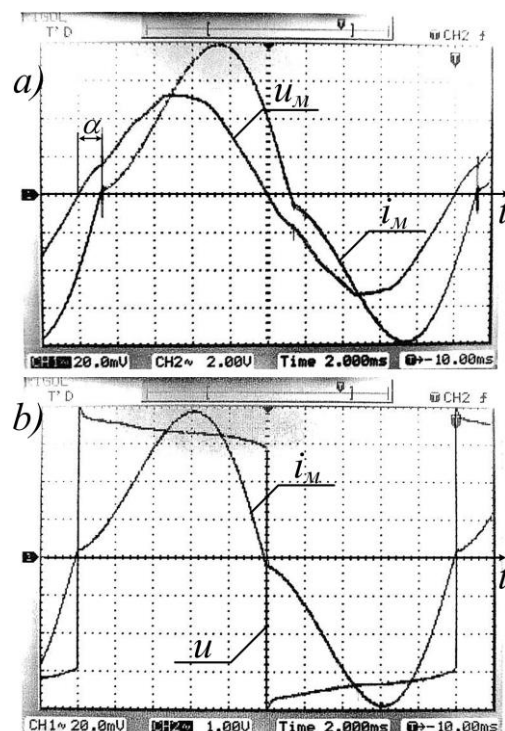


Рис. 7 – Осцилограми струму мережі i_M , напруги мережі u_M та напруги перед комутатором u отримані на Matlab моделі (1 клітинка дорівнює 10 В та 100 мА)



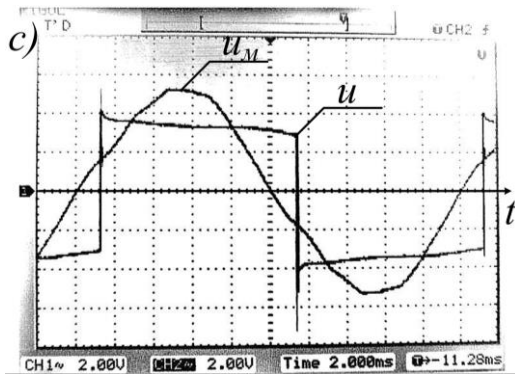


Рис. 8 – Осцилограми струму мережі i_M , напруги перед комутатором u та напруги мережі u_M (1 клітинка дорівнює 200 мА та 20 В (а, с), 10 В (b))

На рис. 9-10 показані осцилограми напруги на навантаженні та струму навантаження отримані з Matlab-моделі та фізичної моделі. Аналіз результатів підтверджує адекватність комп'ютерного моделювання.

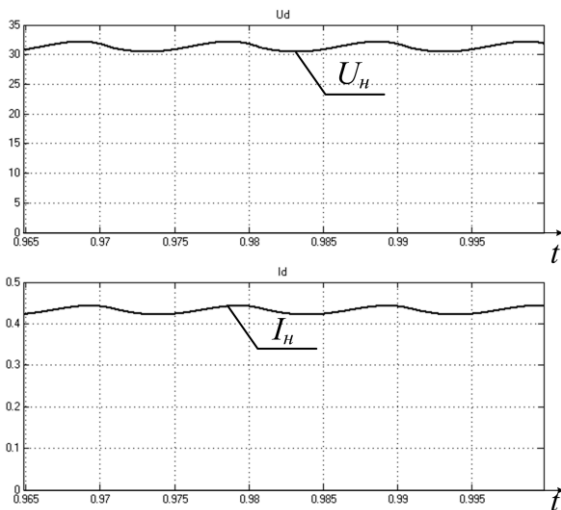


Рис. 9 – Осцилограми напруги навантаження U_n та струму навантаження I_n отримані на Matlab моделі (1 клітинка дорівнює 5В та 100 мА)

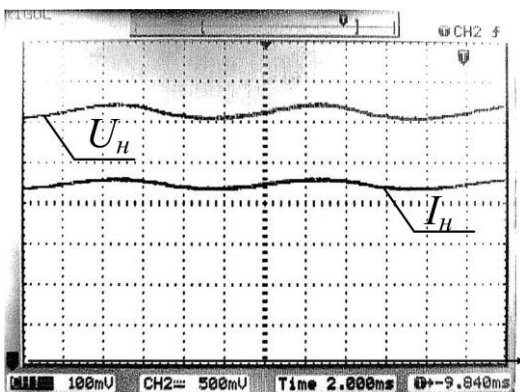


Рис. 10 – Осцилограми напруги навантаження U_n та струму навантаження I_n (1 клітинка дорівнює 5 В та 100 мА)

Як відомо, відхилення напруги в мережі може скласти $\pm 10\%$. При цих відхиленнях перетворювач має працювати забезпечуючи не змінність напруги на навантаженні. При фізичному моделюванні напруга живлення змінювалась в діапазоні $\pm 15\%$, тому таке саме відхилення приймалось і в комп'ютерному моделюванні.

На рис. 11 показані осцилограми струму мережі i_M , напруги мережі u_M та напруги перед комутатором u при збільшенні і зменшенні напруги живлення на 15% отримані за допомогою Matlab моделі. Аналогічно на рис. 12 приведені осцилограми струму мережі i_M та напруги перед комутатором u з фізичної моделі. Регулятор напруги навантаження було налаштовано на напругу, при якій при номінальному значенні напруги живлення відбувається м'яка комутація.

З рис. 11-12 видно, що при відхиленні напруги мережі порушується налаштування на режим комутації в нулях струму. Це збільшує динамічні втрати, проте завдяки лише одній комутації за період в порівнянні з широтно-імпульсним способом керування [1] динамічні втрати є меншими.

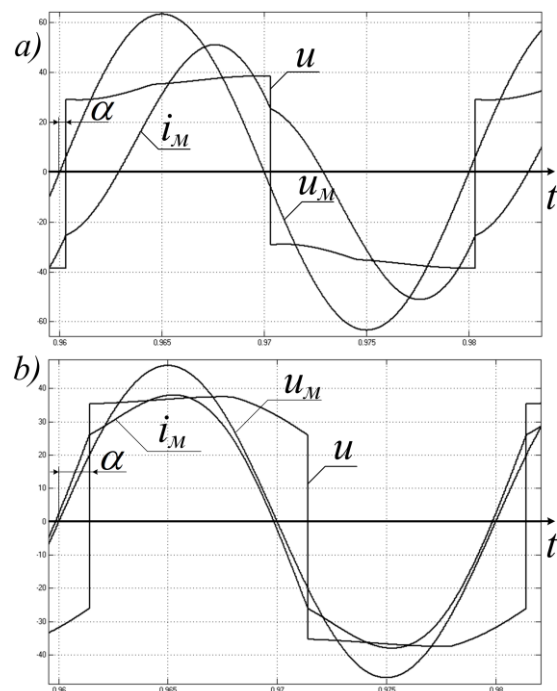


Рис. 11 – Осцилограми струму мережі i_M , напруги мережі u_M та напруги перед комутатором u при збільшенні (а) та зменшенні (b) напруги живлення на 15% отримані на Matlab моделі (1 клітинка дорівнює 20 В та 200 мА для (а), і 10 В та 100 мА для (b))

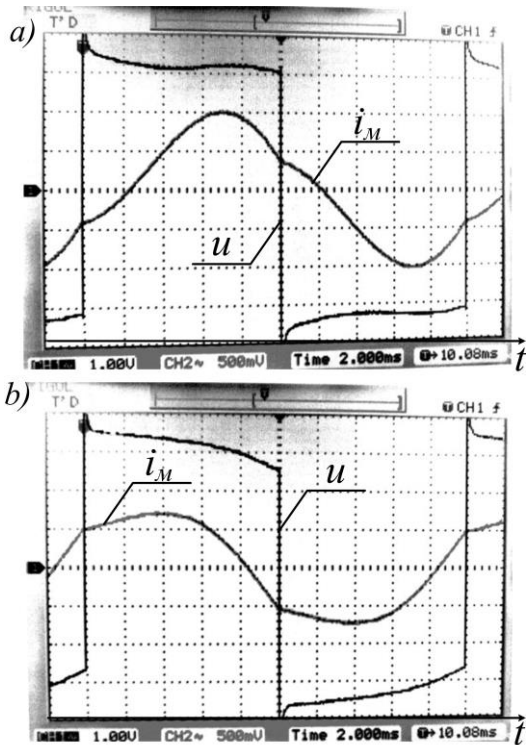


Рис. 12 – Осцилограми струму мережі i_M та напруги перед комутатором u при збільшенні (а) та зменшенні (б) напруги живлення на 15% (1 клітинка дорівнює 10 В та 500 мА)

Вплив відхилення напруги в мережі на струм навантаження змодельований на комп'ютерній моделі проілюстровано на рис. 13, а на рис. 14 – на фізичній моделі.

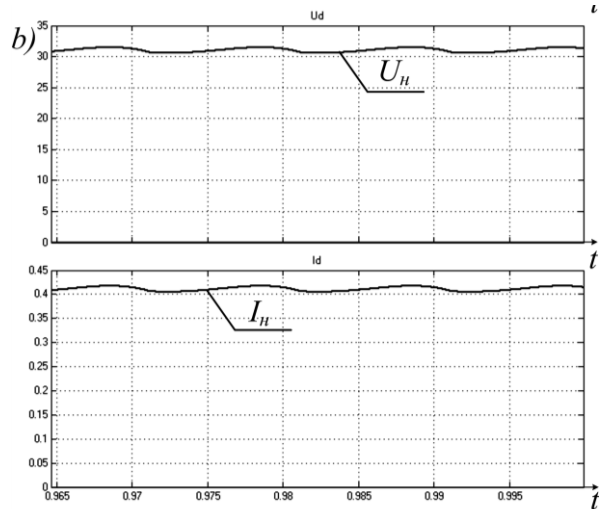
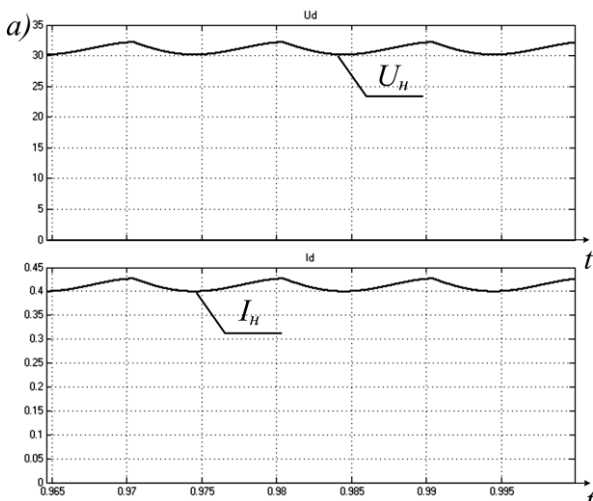


Рис. 13 – Осцилограми напруги навантаження U_H та струму навантаження I_H при збільшенні (а) та зменшенні (б) напруги живлення на 15% отримані на Matlab моделі (1 клітинка дорівнює 5 В та 50 мА)

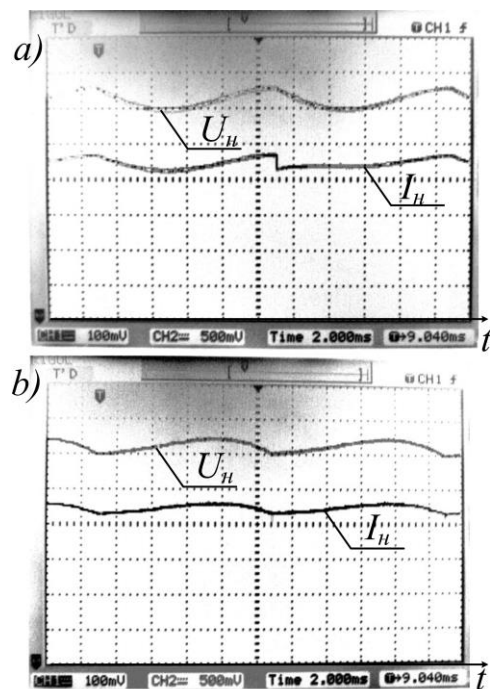


Рис. 14 – Осцилограми напруги навантаження U_H та струму навантаження I_H при збільшенні (а) та зменшенні (б) напруги живлення на 15% (1 клітинка дорівнює 5 В та 100 мА)

Аналіз осцилограм комп'ютерного та фізичного моделювання рис. 8-15 свідчить про те, що фазовий спосіб керування резонансним однофазним перетворювачем дозволяє підтримувати незмінною напругу навантаження при діапазоні збурень напруги в мережі живлення $\pm 15\%$. Проте, при цьому порушується м'яка комутація ключів перетворювача,

що негативно впливає на енергетичні показники перетворювача.

Висновки

1. Запропоновано фазовий спосіб керування оборотними резонансними перетворювачами з м'якою комутацією на основній частоті 50 Гц, який заснований на симетричному розстроєний резонансу з введенням регульованого фазового зсуву між напругами на вході силового напівпровідникового комутатора і мережі живлення змінного струму.

2. Однофазний резонансний перетворювач з фазовим способом керування дозволяє отримати м'яку комутацію ключів комутатора при номінальній напрузі мережі живлення, проте, при відхиленні напруги в мережі м'яка комутація втрачається.

3. Фазовий спосіб керування однофазним резонансним перетворювачем дозволяє підтримувати незмінною напругу на навантаженні при відхиленні напруги в мережі в діапазоні $\pm 15\%$.

Список літератури

- 1 **Huang, A. Q.** The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet / **A. Q. Huang, M. L. Crow, G. T. Heydt, J. P. Zheng, S. J. Dale** // *Proceedings of the IEEE*. - 2011. - Т. 99 №1. - P. 133-148. - doi:10.1109/JPROC.2010.2081330.
- 2 **Panda, B.** Soft-switching DC-AC converters: a brief literature review / **B. Panda, D. P. Bagarty, S. Behera** // *Int. J. Eng. Sci. Technol.* - 2010. - №2. - P. 7004-7020.
- 3 **Kasper, M.** PV panel-integrated high step-up high efficiency isolated GaN DC-DC boost converter / **M. Kasper, M. Ritz, D. Bortis, J. W. Kolar** // *Telecommunications Energy Conference 'Smart Power and Efficiency' (INTELEC), Proceedings of 2013 35th International*. -2013. - P. 1-7.
- 4 **Lu, B.** Optimal design methodology for LLC resonant converter / **B. Lu, W. Liu, Y. Liang, F. C. Lee, J. D. Van Wyk** // *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC'06. Twenty-First Annual IEEE. IEEE*. - 2006. - P. 533-538. - doi:10.1109/APEC.2006.1620590.
- 5 **Li, Y. P.** IGBT device application aspects for 50-kW zero-current-transition inverters / **Y. P. Li, F. C. Lee, D. Boroyevich** // *Industry Applications, IEEE Transactions on*. - 2004. - Т.40 №4. - P. 1039-1048. - doi:10.1109/APEC.2003.1179262.
- 6 **Liang, Z.** A high-efficiency PV module-integrated DC/DC converter for PV energy harvest in FREEDM systems / **Z. Liang, R. Guo, J. Li, A. Q. Huang** // *Power Electronics, IEEE Transactions on*. - 2011. - Т.26 №3. - P. 897-909. - doi:10.1109/TPEL.2011.2107581.
- 7 **Sokol, E. I.** Rectifiers with a combined filtration of primary current for high-frequency power systems / **E. I. Sokol, Yu. P. Goncharov, A. V. Eresko, V. V. Ivakhno, S. Yu. Krivosheev, V. V. Zamaruiev, A. V. Lobko, Yu. S. Voytovich** // *Compatibility and Power Electronics (CPE), 2013 8th International Conference on. IEEE*. - 2013. - P. 316-319. - doi:10.1109/CPE.2013.6601176.

- 8 **Сокол, Є. І.** Однофазні резонансні перетворювачі з фазовим керуванням та м'якою комутацією на підвищеній основній частоті для електричних систем з накопичувачами енергії / **Є. І. Сокол, Ю. П. Гончаров, В. В. Замаруєв, В. В. Івахно, С. Ю. Кривошеєв, Б. О. Стисло, А. В. Лобко, М. О. Бобров** // *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит. Спеціальний випуск*. - 2014. -Т 1 №9(128). - С. 45-52.
- 9 **Сокол, Є. І.** Трифазні резонансні перетворювачі з фазовим керуванням та м'якою комутацією на основній частоті 50 Гц для перспективних систем електропостачання / **Є. І. Сокол, Ю. П. Гончаров, О. В. Єресько, В. В. Замаруєв, В. В. Івахно, С. Ю. Кривошеєв, А. В. Лобко, Б. О. Стисло, С. В. Бобровський** // *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит. Спеціальний випуск*. - 2014. - Т 1 №9(128). - С. 160-167.
- 10 **Schröder, D.** Leistungselektronische Schaltungen // *Springer*. -2008. - doi:10.1007/978-3-642-30104-9.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Huang, A. Q., Crow, M. L., Heydt, G. T., Zheng J. P., Dale, S. J.** The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet. *Proceedings of the IEEE*, 2011, **99**(1), 133-148, doi:10.1109/JPROC.2010.2081330.
- 2 **Panda, B., Bagarty, D. P., Behera, S.** Soft-switching DC-AC converters: a brief literature review. *Int. J. Eng. Sci. Technol*, 2010, **2**, 7004-7020.
- 3 **Kasper, M., Ritz, M., Bortis, D., Kolar, J. W.** PV panel-integrated high step-up high efficiency isolated GaN DC-DC boost converter. *Telecommunications Energy Conference 'Smart Power and Efficiency' (INTELEC), Proceedings of 2013 35th International*, 2013, 1-7.
- 4 **Lu, B., Liu, W., Liang, Y., Lee, F. C., Van Wyk, J. D.** Optimal design methodology for LLC resonant converter. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC'06. Twenty-First Annual IEEE. IEEE*, 2006, 533-538, doi:10.1109/APEC.2006.1620590.
- 5 **Li, Y. P., Lee, F. C., Boroyevich, D.** IGBT device application aspects for 50-kW zero-current-transition inverters. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 2004, **40**(4), 1039-1048, doi:10.1109/APEC.2003.1179262.
- 6 **Liang, Z., Guo, R., Li, J., Huang, A. Q.** A high-efficiency PV module-integrated DC/DC converter for PV energy harvest in FREEDM systems. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 2011, **26**(3), 897-909, doi:10.1109/TPEL.2011.2107581.
- 7 **Sokol, E. I., Goncharov, Yu. P., Eresko, A. V., Ivakhno, V. V., Krivosheev, S. Yu., Zamaruiev, V. V., Lobko, A. V., Voytovich, Yu. S.** Rectifiers with a combined filtration of primary current for high-frequency power systems. *Compatibility and Power Electronics (CPE), 2013 8th International Conference on. IEEE*, 2013, 316-319, doi:10.1109/CPE.2013.6601176.
- 8 **Sokol, Ye. I., Goncharov, Yu. P., Zamaruiev, V. V., Ivakhno, V. V., Kryvosheev, S. Yu., Styslo, B. O., Lobko, A. V., Bobrov, M. O.** Odnofazni rezonansni peretvoryuvachi z fazovim keruvanniam ta m'yakoyu komutatsieyu na pidvishcheniy osnovniy chastoti dlya elektrichnikh sistem z nakopichuvachami energii [Single-phase resonance converter with soft-switching phase control on increased basic frequency for electric systems with energy storage]. *Energoberezhennie. Energetika*.

- Energoaudit. Spetsial'nyy vypusk [Energy saving. Power engineering. Energy audit. Special issue]*, 2014, **1**(9), 45-52.
- 9 **Sokol, Ye. I., Goncharov, Yu. P., Yeresko, O. V., Zamaruiev, V. V., Ivakhno, V. V., Kryvosheev, S. Yu., Lobko, A. V., Styslo, B. O., Bobrovsky, S. V.** Trifazni rezonansni peretvoryuvachi z fazovim keruvannyam ta m'yakoyu komutatsieyu na osnovniy chastoti 50 Gts dlya perspektivnikh sistem elektropostachannya [Three phase resonant converters with phase control and soft switching at the fundamental frequency of 50 Hz for advanced power systems]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. Spetsial'nyy vypusk [Energy saving. Power engineering. Energy audit. Special issue]*, 2014, **1**(9), 160-167.
- 10 **Schröder, D.** Leistungselektronische Schaltungen. *Springer*, 2008, doi:10.1007/978-3-642-30104-9.

Відомості об авторах (About authors)

Лобко Андрій Валерійович – викладач-стажист, кафедра «Промислова та біомедична електроніка», Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків, Україна, e-mail: L.A.V.ua@yandex.ru.

Lobko Andrey Valerievich – teacher-trainee at the Department of «Industrial and biomedical electronics», National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", e-mail: L.A.V.ua@yandex.ru.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Лобко, А. В. Фізичне моделювання однофазного резонансного напівпровідникового перетворювача з фазовим способом керування // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 47-55. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.07.

Please cite this article as:

Lobko, A. V. Physical simulation of resonant single-phase semiconductor converters with phase operating methods. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 47-55, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.07.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лобко, А. В. Физическое моделирование однофазного резонансного полупроводникового преобразователей с фазовым способом управления // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 47-55. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.07.

АННОТАЦІЯ Целью статьи является анализ возможностей обеспечения режима мягкой коммутации на основной частоте 50 Гц в однофазном резонансном преобразователе с фазовым способом управления используя результаты физического моделирования указанного преобразователя. Рассмотрен полупроводниковый резонансный преобразователь с фазовым способом управления, была разработана методика расчета основных параметров преобразователя, а также построен алгоритм работы микропроцессорной системы управления. Для подтверждения полученных результатов использовано компьютерное и физическое моделирование преобразователя.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, физическое моделирование, полупроводниковый резонансный преобразователь, фазовый способ управления, векторная диаграмма, алгоритм, микропроцессорная система управления.

Надійшла (received) 08.03.2016

УДК 687.17: 519.24

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08

ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. В. МОРГУНОВ¹, Н. В. ДИДЕНКО², Р. М. ТРИЩ¹

¹ УИПА, Харьков, УКРАИНА

² ХНАДУ, Харьков, УКРАИНА

*email: volodymyr.morgunov@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье обоснован выбор программного комплекса для проведения численного моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество, приведено обоснование выбора корректного метода расчета дозы и мощности дозы при проведении численного моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество. Предложена методика подбора аппроксимирующей кусочно-непрерывной функции для расчета массового коэффициента ослабления гамма-излучения, необходимого при расчете поглощенной и эквивалентной доз.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, численное моделирование, GEANT4, поглощенная и эквивалентная доза, мощность дозы.

CHOICE AND USE OF MATHEMATICAL METHODS TO DETERMINE THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF RADIATION-SHIELDING MATERIALS

V. MORGUNOV¹, N. DIDENKO^{2*}, R. TRISHCH¹

¹ UEPA, Kharkov, UKRAINE

² KhNAHU, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT Ionization radiation is everywhere: cosmic rays, nuclear energy, medicine and etc. One of the main tasks during work with the ionization radiation – human safety. There are a lot of radiation protected clothes. To define their protective characteristics two way are possible: experimental and simulation. The numerical simulation allows to speed up experiments and cheapen them. There are a lot of software toolkit for ionization radiation pass through the matter simulation. The article is devoted to following tasks: selection of software toolkit for numerical simulation of ionization irradiation passage through the matter; correct way of dose and dose rate calculation as dose rate should be calculated at the point; correct way of mass energy-absorption coefficient approximation by piecewise continuous function. For numerical simulation GEANT4 software toolkit was chosen. The GEANT4 is written in modern programming language: C++. GEANT4 is well documented, has a good support and free open software. To calculate dose and dose rate calculation should be made for the point. The absorbed dose calculation method which is used in GEANT4 can not be used for dose rate calculation. Proper mathematical method for absorbed dose calculation was chosen and was described in the article.

Keywords: ionization radiation, numerical simulation, GEANT4, absorbed and equivalent dose, dose rate.

Введение

Расчет защитных свойств радиационно-защитных материалов требует проведения большого количества экспериментов. Значительно сократить этот объем работы и времени позволяет использование математических методов.

Использование методов численного моделирования широко используется для расчета технологических параметров различных процессов. Особенно активно эти методы применяются в области моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество. Это обусловлено следующими факторами: ростом вычислительной мощности компьютерной техники и развитием программного обеспечения; существуют ситуации, когда невозможно измерить физические величины, относящиеся к ионизирующему излучению (например, радиационная обработка музейных

экспонатов, расчет эквивалентной поглощенной дозы внутренних органов); численное моделирование дополняет дозиметрические измерения, позволяет проводить большое количество вычислительных экспериментов, что способствует удешевлению и ускорению разработки новых радиационных технологий и материалов и т.д.

Цель работы

Для моделирования прохождения ионизирующего излучения применяются эмпирические, полумпирические, стохастические и детерминистические методы. Также, существуют различные способы расчета поглощенной дозы. Выбор соответствующего математического метода и способа расчета поглощенной дозы для расчета радиационно-защитных свойств материалов является целью данной статьи.

Описание математических методов расчета прохождения ионизирующего излучения через вещество

Авторами предложен радиационно-защитный материал и получен на него патент на полезную модель [1]. Для определения области применения данного материала требуется знать его радиационно-защитные свойства. Одним из возможных способов определения радиационно-защитных свойств является математические методы. В стан дарте-руководстве [2] описывается выбор и использование математических методов для проведения расчетов в области радиационных приложений. Как было сказано ранее существуют четыре метода для моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество: метод Монте-Карло, детерминистические, полуэмпирические и эмпирические методы.

При вычислениях методом Монте-Карло производится моделирование траекторий конечного числа частиц, приводящих к ионизации и происходит расчет различных физических величин, таких как, поглощенная доза, энергия частицы, ее координаты и многое другое. Преимуществом этого метода является, то, что в отличие от других методов, метод Монте-Карло, в принципе, может промоделировать все треки частиц и их взаимодействие с веществом, получить реалистическую картину актуальных столкновений и потери энергий при столкновениях. Все компоненты вклада в потерю энергии частицами могут быть учтены. В дополнение, метод Монте-Карло - метод, который может предоставить наиболее полную информацию в трехмерном измерении. Недостатком этого метода является то, что электроны с энергиями в диапазоне от 50 кэВ до 10 МэВ претерпевают огромное количество столкновений, точное моделирование всех треков не выполнимо или представляется затруднительным. Вместо этого, используются методы Монте-Карло со конденсированной историей (condensed history Monte Carlo methods).

Детерминистические методы используют уравнения, описывающие прохождение излучения в веществе и напрямую вычисляющие общее радиационное поле, поглощенную дозу и другие величины. Преимуществом детерминистических методов является, то что скорость работы программного обеспечения, основанного на этом методе, может быть быстрее по сравнению с методом Монте-Карло. Недостатком данного метода является то, что этот метод может быть чувствителен к осциллирующим решениям и ошибкам скорости сходимости решений.

Эмпирические и полуэмпирические методы основаны на статистических соотношениях измерений для конкретной системы. Преимуществом данных методов является их скорость и не требуют данных по сечениям, учета вторичных электронов и фотонов. Но недостатком таких методов есть, то, что

для каждого случая моделирования необходимо определять эмпирические зависимости. Также, такие методы могут вызвать затруднения в случаях, при которых присутствуют сложная геометрия.

В [2] перечислены следующие критерии выбора математического метода:

- спецификация типа источника и его геометрии;
- спецификация установки (объекта): геометрическое описание биологической защиты (камеры облучения), описание конвейера, вспомогательных элементов;
- спецификация материала облучаемого объекта и его геометрия.

На данный момент нет опубликованных методов выбора программного обеспечения для выбора в том или ином случае. Однако, главные критерии выбора следующие:

- эмпирические уравнения могут быть разработаны, сравнены с экспериментальными результатами, и в случае совпадения результатов расчетов с экспериментальными могут быть приняты и применены;
- если эмпирические методы не удовлетворяют критериям, которые определил пользователь, то следует использовать детерминистические или стохастические методы. На основании результатов вычислений с помощью детерминистических и/или стохастических методов могут быть выведены эмпирические соотношения, которые могут использоваться в дальнейших расчетах.

Во всех случаях необходимо провести валидацию результатов с использованием реальных экспериментальных данных. Сравнительная характеристика различных математических методов моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ математических методов моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество.

Параметр	Метод Монте-Карло	Детерминистические методы	Полу- и эмпирические методы
Размерность	3-D	3-D	-
Электроны	Да	Да	Да
Гамма-, рентгеновское излучение	Да	Да	Да
Скорость расчетов	Медленная	Средняя	Быстрая
Оценка точности	Да	-	-
Необходимость верификации	Да	Да	Да

На основании рекомендаций и в связи с тем, что требуется оценивать точность и производить моделирование прохождения нейтронов через вещество для изучения радиационно-защитных свойств был выбран метод Монте-Карло.

Среди программного обеспечения, реализующего моделирование прохождения ионизирующего излучения был выбран программный комплекс GEANT4 [3, 4]. Обоснование выбора данного программного комплекса было рассмотрено в [5], где было проведено сравнение с другими пакетами, позволяющими моделировать прохождение ионизирующего излучения через вещество методом Монте-Карло [6 - 9].

Выбор и обоснование методики расчета поглощенной дозы и мощности дозы

В выбранном программном комплексе GEANT4 - большой перечень физических явлений и величин, которые могут быть промоделированы и рассчитаны: момент и кинетическая энергия частиц и фотонов, координаты и время шага, поглощенная доза, различная геометрическая информация и многое другое. Для расчета мощности дозы и мощности эквивалентной дозы простое деление поглощенной дозы и эквивалентной дозы на время обработки (экспозиции) не подходит, так как поглощенная доза и эквивалентная поглощенная доза рассчитывается для конечных объемов, и величина этих объемов могут быть значительными. Мощность поглощенной дозы и эквивалентной дозы имеет смысл в случаях, когда рассчитаны в точке и за короткий промежуток времени, т.е. равна dD/dt . Корректный расчет мощности поглощенной дозы и эквивалентной дозы предлагается выполнять следующим образом. Поглощенная доза в точке гамма излучения рассчитывается по следующей формуле:

$$dD = \Psi \frac{\mu_{en}}{\rho}, \tag{1}$$

где dD - поглощенная доза, Гр; Ψ - флюенс энергии гамма излучения, МэВ/см²; $\frac{\mu_{en}}{\rho}$ - массовый коэффициент ослабления, см²/г.

Для расчета эквивалентной дозы применяется дополнительный множитель W_R - взвешивающий коэффициент, зависящий от типа излучения (для гамма и рентгеновского излучения, электронов - 1, для нейтронов множитель зависит от их энергии, для протонов - 2).

Мощность поглощенной (эквивалентной) дозы при численных расчетах равна поглощенной (эквивалентной) дозе, рассчитанной по формуле (1) и деленной на время t в течении которого тело поглощает эту дозу:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}. \tag{2}$$

Таким образом, мощность поглощенной (эквивалентной) дозы будет рассчитана в точке, для которой производится моделирование и такой подход может быть применен для корректного моделирования радиационно-защитных характеристик предложенного материала.

Для расчета массового коэффициента ослабления $\frac{\mu_{en}}{\rho}$, входящего в формулу (1) данные взяты из [10]. На рис. 1 приведены зависимость массового коэффициента ослабления для воды от энергии гамма кванта (обозначены точками). Отображенные на рис. 1 данные в источнике приведены в табличном виде, с большим шагом между соседними значениями энергий гамма кванта, поэтому для расчета поглощенной (эквивалентной) дозы необходимо табличные данные аппроксимировать. С этой целью нами применялся программный комплекс ROOT [11]. В связи с тем, что с увеличением энергии гамма кванта значение массового коэффициента ослабления быстро уменьшается подобрать аппроксимирующую функцию на весь диапазон энергий не удалось. Для решения этой проблемы диапазон энергий разбивался на малые интервалы энергий гамма кванта, и для каждого интервала подбиралась аппроксимирующая функция.

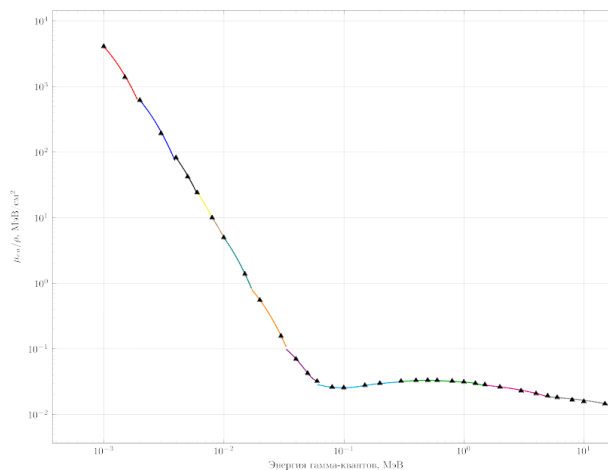


Рис. 1 – Зависимость массового коэффициента ослабления для воды от энергии гамма кванта. ▲ - табличные данные зависимости коэффициента массового ослабления для воды.

Результаты подбора аппроксимирующих функций приведены в табл. 2.

Таблиця 2 – Зависимость коэффициентов аппроксимирующих функций от диапазона энергий гамма-кванта.

Диапазон энергий, МэВ	Вид функции	p ₀	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇
0,0÷0,002	эсп.	10,371	-2063,95						
0,002÷0,004	эсп.	8,64225	6,9475						
0,004÷0,006	эсп.	-1111,52	-636,505						
0,006÷0,008	эсп.	5,83839	-443,043						
0,008÷0,01	эсп.	5,07754	-347,937						
0,01÷0,016	эсп.	4,15907	-256,09						
0,016÷0,03		1,927770,347	-126,253						
0,032÷0,06	полином.	0,34753	-10,3335	84,65					
0,06÷0,3	полином.	0,06051	-0,98887	9,59759	-34,3428	-5,00379	347,751	-835,313	621,782

5.0÷20.0	эсп.	-3,8712	-0,0238322						
1.5÷5.0	эсп.	-3,40742	-0,115632						
0.3÷1.5	полином.	0,022611	0,0318272	0,0640415	-0,358006	0,511662	-0,309909	0,0689375	

В случае, когда в таблице указана вид функции - «эсп.» вид функции соответствует экспоненциальной функции: $y = \exp(p_0 + p_1 \cdot x)$; «полином.» соответствует полиномиальной функции: $y = p_0 + p_1 \cdot x + p_2 \cdot x^2 + p_3 \cdot x^3 + \dots$ причем порядок полиномиальной функции соответствует индексу коэффициента p_r , для которого указано значение.

Часть работы выполнена в рамках научно-исследовательского контракта МАГАТЭ № 18685.

Выводы

В ходе работы был выбрана математический метод моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество и способ расчета поглощенной (эквивалентной) дозы и мощности поглощенной (эквивалентной) дозы в точке, что более корректно позволяет проводить вычисления. Обоснован математический подход расчета поглощенной (эквивалентной) дозы и мощности поглощенной (эквивалентной) дозы.

Приведены результаты аппроксимации табличных данных зависимости массового коэффициента поглощения от энергии ионизирующего излучения для воды. Это позволит внедрить в программное обеспечение расчет массового коэффициента ослабления в зависимости от энергии излучения для значений энергий, лежащих в промежутке между табличными данными.

Список литературы

- 1 Пат. Україна 94166, МПК G21F 1/00 Радіаційно-захисний матеріал / Р. М. Трищ, В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, М. В. Денисенко / заявл. 15.08.2014; опубл. 27.10.2014. – бюл. № 20. – 4 с.
- 2 E2322, ASTM Standard. 02-“Standard Guide for Selection and Use of Mathematical Methods for Calculating Absorbed Dose in Radiation Processing Applications”. ASTM, Conshohocken, PA. – 2002.
- 3 Agostinelli, S. GEANT4 – a simulation toolkit / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H.

- Araujo, P. Arce, M. Asai, D. Axen, S. Banerjee, G. Barrant, et al.** // *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2003. – 506(3). – P. 250-303. – doi:10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
- 4 **Allison, J.** GEANT4 developments and applications / **J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, P. A. Dubois, M. Asai, G. Barrant, R. Capra, S. Chauvie, R. Chytracek, et al.** // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2006. – 53(1). – P. 270-278. doi:10.1109/TNS.2006.869826.
- 5 **Моргунів, В. В.** Численне моделювання визначення радіаційно-захисних показувачів матеріалів для створення робочої одягу / **В. В. Моргунів, Е. Н. Черняк, Н. В. Діденко** // *Комунальне господарство міст*. – 2015. – № 120(1). – С. 42-49.
- 6 **Battistoni, G.** The FLUKA code: Description and benchmarking / **G. Battistoni, F. Cerutti, A. Fasso, A. Ferrari, S. Muraro, J. Ranft, P. R. Sala** // *In Hadronic Shower Simulation Workshop(AIP Conference Proceedings – Volume 896)*. – 2007. – Vol. 896. – P. 31-49. – doi:10.1063/1.2720455.
- 7 **Pelowitz, D. B.** MCNPX user's manual version 2.5. 0. / **D. B. Pelowitz** // *Los Alamos National Laboratory*. – 2005. – 76 p.
- 8 **Mokhov, N. V.** Recent MARS15 developments: nuclide inventory, DPA and gas production. *arXiv preprint arXiv:1202.2383*. – 2012.
- 9 **Tatsuhiko Satoa** Particle and heavy ion transport code system, PHITS, version 2.52 / **Tatsuhiko Satoa, Koji Niitab, Norihiro Matsudaa, Shintaro Hashimotoa, Yosuke Iwamotoa, Shusaku Nodaa, et al.** // *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2013. – 50(9). – P. 913-923. – doi:10.1080/00223131.2013.814553.
- 10 **Hubbell, J. H.** Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest / **J. H. Hubbell, S. M. Seltzer** // *Tech. rep., National 110 Inst. of Standards and Technology-PL, Gaithersburg, MD (United States). Ionizing Radiation Div.* – 1995. – 114 p.
- 11 **Antcheva, I.** ROOT-A C++ framework for petabyte data storage, statistical analysis and visualization / **I. Antchevaa, M., Ballintijna, B. Bellenota, M. Biskupa, R. Bruna, et al.** // *Computer Physics Communications*. – 2009. – 180(12). – P. 2499-2512. – doi:10.1016/j.cpc.2009.08.005.
- 2 **E2322, ASTM Standard.** 02-“Standard Guide for Selection and Use of Mathematical Methods for Calculating Absorbed Dose in Radiation Processing Applications”. *ASTM, Conshohocken, PA, 2002.*
- 3 **Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Asai, M., Axen, D., Banerjee, S., Barrant, G. et al.** GEANT4 – a simulation toolkit. *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2003, **506(3)**, 250-303, doi:10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
- 4 **Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Araujo, H., Dubois, P. A., Asai, M., Barrant, G., Capra, R., Chauvie, S., Chytracek, R., et al.** GEANT4 developments and applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2006, **53(1)**, 270-278, doi:10.1109/TNS.2006.869826.
- 5 **Morgunov, V., Tchernyak, E., Didenko, N.** Numerical simulation for radiation protective characteristics definition of work clothes [Numerical simulation of determining radiation protection performance materials to create workwear] *Komunakl'ne gospodarstvo mist [Utilities city]*, 2015, **120(1)**, 42-49.
- 6 **Battistoni, G., Cerutti, F., Fasso, A., Ferrari, A., Muraro, S., Ranft, J., Sala, P. R.** The FLUKA code: Description and benchmarking. *In Hadronic Shower Simulation Workshop(AIP Conference Proceedings Volume 896)*, 2007, **896**, 31-49, doi:10.1063/1.2720455.
- 7 **Pelowitz, D. B.** MCNPX user's manual version 2.5. 0. *Los Alamos National Laboratory*, 2005, 76 p.
- 8 **Mokhov, N. V.** Recent MARS15 developments: nuclide inventory, DPA and gas production. *arXiv preprint arXiv:1202.2383*, 2012.
- 9 **Tatsuhiko Satoa, Koji Niitab, Norihiro Matsudaa, Shintaro Hashimotoa, Yosuke Iwamotoa, Shusaku Nodaa, et al.** Particle and heavy ion transport code system, PHITS, version 2.52. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2013, **50(9)**, 913-923. doi:10.1080/00223131.2013.814553.
- 10 **Hubbell, J. H., Seltzer, S. M.** Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest. *Tech. rep., National 110 Inst. of Standards and Technology-PL, Gaithersburg, MD (United States). Ionizing Radiation Div.*, 1995, 114 p.
- 11 **Antcheva, I., Ballintijna, M., Bellenota, B., Biskupa, M., Bruna, R., et al.** ROOT-A C++ framework for petabyte data storage, statistical analysis and visualization. *Computer Physics Communications*, 2009, **180(12)**, 2499-2512, doi:10.1016/j.cpc.2009.08.005.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Patent 94166 Ukraine, МПК G21F 1/00** Radiation-protective material [Radiation-protective material] **R. Trishch, V. Morgunov, N. Didenko, M. Denisenko**, 27.10.2014, **20**, 4 p.

Сведения об авторах (About authors)

Моргунів Володимир Вікторович – кандидат технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри фізики, теоретичної і загальної електротехніки; г. Харків, Україна; e-mail: volodymyr.morgunov@gmail.com.

Volodymyr Morgunov – Ph. D., Docent, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; e-mail: volodymyr.morgunov@mail.ua.

Трищ Роман Михайлович – доктор технічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, професор кафедри охорони праці, стандартизації і сертифікації; г. Харків, Україна; e-mail: trich_@ukr.net.

Roman Trishch – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; e-mail: trich_@ukr.net.

Диденко Наталья Викторовна – Харьковський національний автомобільно-дорожній університет, асистент кафедри метрологи і БЖД, г. Харків, Україна; e-mail: nataly.v.didenko@gmail.com.

Natalya Didenko – Assistant lecturer, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nataly.v.didenko@gmail.com.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Моргунов, В. В. Выбор и использование математических методов для определения технологических параметров радиационно-защитных материалов / **В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, Р. М. Трищ** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 56-61. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.

Please cite this article as:

Morgunov, V., Didenko, N., Trishch, R. Choice and use of mathematical methods to determine the technological parameters of radiation-shielding materials. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 56-61, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Моргунов, В. В. Вибір і використання математичних методів для визначення технологічних параметрів радіаційно-захисних матеріалів / **В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, Р. М. Трищ** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 56-61. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.

АНОТАЦІЯ У статті обґрунтовано вибір програмного комплексу для проведення чисельного моделювання проходження іонізуючого випромінювання через речовину, наведено обґрунтування вибору коректного методу розрахунку дози і потужності дози при проведенні чисельного моделювання проходження іонізуючого випромінювання через речовину. Запропоновано методіку підбору апроксимуючої кусково-неперервної функції для розрахунку масового коефіцієнта ослаблення гамма-випромінювання, необхідного при розрахунку поглинутої та еквівалентної доз.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, чисельне моделювання, GEANT4, поглинена і еквівалентна доза, потужність дози.

Поступила (received) 11.02.2016

VIBRATION-BASED DETECTION OF AXIAL-FLOW COMPRESSOR UNSTABLE OPERATION

F. MOHAMMADSADEGHI, V. S. CHYGRYN, S. V. YEPIFANOV

Aircraft Engine Design department of National Aerospace university "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, UKRAINE
e-mail: farrokh_sadeghi@yahoo.com

ABSTRACT Computer-aided and experimental research of a axial stage stability loss is presented. Informative criteria of the pre-surge compressor state is formulated. It is proved that the harmonic of a rotating stall is unstable, standing out sharply against noise; thus it can serve as a rotating stall indicator and a surge precursor. It was proved that vibration from the mounted on casing sensor can be applicable for rotating stall detection. An algorithm is proposed that detects the compressor pre-surge state by vibrations of the compressor casing. The algorithm is easy to be implemented in engine control and health monitoring systems
Keywords: axial compressor, rotating stall, surge, vibration, median filter, band-pass filter.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ

Ф. МОХАММАДСАДЕГИ, В. С. ЧИГРИН, С. В. ЕПИФАНОВ

Кафедра конструкции авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет "Харьковский авиационный институт", Харьков, УКРАИНА

АННОТАЦИЯ Приведены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований динамики потери газодинамической устойчивости ступени осевого компрессора. Выполнены исследования по выявлению информативных критериев обнаружения предпомпажного режима. Показано, что гармоника вращающегося срыва является устойчивой, значительно выделяется на фоне шумов, что позволяет использовать ее для диагностики вращающегося срыва как предвестника помпажа. Приведена уточненная зависимость для определения частоты вращающегося срыва. Показано, что для выявления вращающегося срыва возможно использование параметров вибрации, зарегистрированных на корпусе компрессора. Предложен алгоритм выявления предпомпажного состояния компрессора по уровню вибраций корпуса компрессора для разработки автоматических систем предупреждения помпажа на этапе его зарождения.

Ключевые слова: осевой компрессор, вращающийся срыв, помпаж, вибросигнал, медианная фильтрация, полосовой фильтр

Introduction

An unstable operation of an aircraft engine is among major factors that cause incidents in maintenance. The airflow at the engine inlet can be disturbed by numerous reasons, such as asymmetric incident airflow while the aircraft turning in yaw or pitch, asymmetric incident airflow because of the side wind, atmospheric turbulence, control system malfunction, hot gases entering the engine intake during the taxiing or during formation flying (Fig.1) etc.

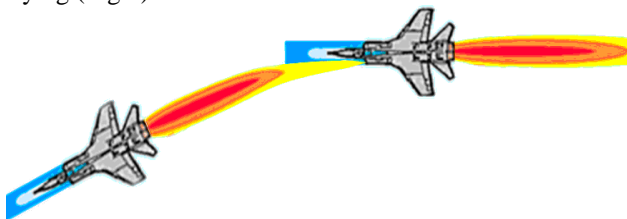


Figure 1 – Hot gas entering the engine intake at the formation flying

When the flow temperature at engine inlet raises, the airflow rate passing through the compressor drops, deforming the velocity triangles at rotor blade inlet thereby. The streamlining at the considered conditions results in rotating stall formation and its propagation in a whole blade wheel up to surge. The surge in compressor of a gas turbine engine is an unstable self-oscillating operation of compressor and its hydraulic network accompanied with an intensive low-frequency (5...15 Hz) parameter oscillations (pressure, temperature, air flow rate) along the entire gas path (Fig. 2).

Surge is an emergent phenomenon that entails compressor blades damaging, turbine blades overheat, a low-frequency oscillations, a rotor axial displacement, seals breakup that causes dynamic stresses in the engine parts, which exceed the design level.

It is known from numerous experiments that the surge temporal progress takes about 0.2 s. Almost all known compressor surge protection algorithms do not prevent the compressor unstable operation but detect the already commenced surge. Therefore, the aircraft power plant has no reliable surge protection. Well-known

methods of stall prevention, such as turning the compressor guide vanes, bypassing the air from intermediate compressor stages, decreasing fuel flow rate to idle value that in their turn significantly decrease the engine thrust or power.

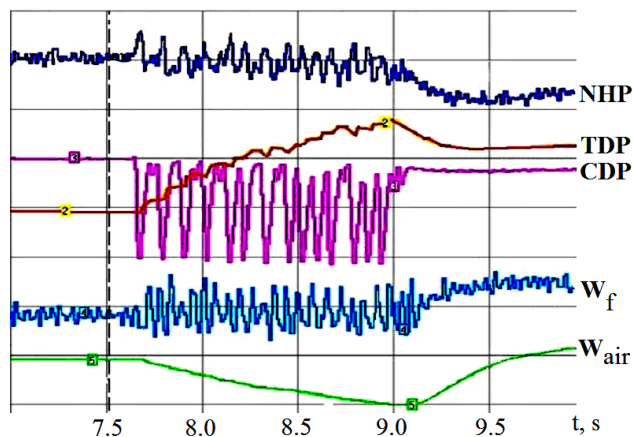


Figure 2 – The generic view of the parameters at a compressor surge: NHP – rotor rotation speed; TDP – turbine discharge pressure; CDP – compressor discharge pressure; W_f – fuel flow rate; W_{air} – air flow rate

The most typical forms of the compressor gas-dynamic instability are the rotating stall and the surge. Despite the successes in understanding the problem of the surge and the rotating stall, the development of anti-stall and anti-surge algorithms is still vital.

1. Problem overview

Surge is always preceded by the rotating stall. The latest is initiated by a flow disturbance at the compressor inlet or discharge [1]. There are two known mechanisms to explain the surge origination:

- rotating long-wave sinusoidal perturbation of an axial velocity (modal wave);
- local (peak) perturbation that propagates fast from initial local area and envelopes some airfoils.

There are some known strategies worldwide to simulate the surge of axial compressor. Some of them are based on airfoil limit attack angle exceeding [2] or wall boundary layer stall [3], the other ones – on vortex motion of an airflow that leaks through the clearance between blade tip and facing it casing [4] etc. Paper [5] represents the model that describes a consequence of the aerodynamic phenomena that cause the flow instability in a compressor with discontinuous performance. The concept of the “initial vortex area” (IVA) is introduced. According to this model, the boundary layer is separated near the front edge of airfoil at supercritical flow angles. The “air bubble” originates on a suction surface followed by the laminar boundary layer separation near the trailing edge. This fast process of a soft dynamic separation propagates at the relative radius $\bar{r} \approx 0.94 \dots 0.98$, creating

one or some IVA at the periphery. The thickness of the IVA takes 10 percent of the blade length. The rotational speed of the initial areas is close to the rotor rotational speed ($\bar{n}_{stall} = n_{stall} / n_{rot} \approx 0,97$). This process lasts for about 0.1 s and ends with the formation of the rotating stall. The observer sees periodic oscillations (0.3...0.6 from the rotor speed). Paper [6] presents similar experimental results for initiated and propagated rotating stall in the axial compressor stage.

Ground and in-flight tests show [7] that the progress of the rotating stall areas is a universal precursor of the surge.

2. Research tasks

The primary goal of this research is the development of informative criteria for timely detection of the axial compressor pre-surge state. The secondary goal is to develop an algorithm that implements the developed criteria.

The following tasks must be completed to succeed:

- study and analyze the collected experimental information about non-stationary processes with rapidly-changed parameters in characteristic stages of the axial compressor;
- analyze the methods of a pre-surge diagnostics;
- analyze the sources of a non-stationary signals that influence engine parameters and methods of signal processing;
- choose the informative frequencies;
- select the method and develop the algorithm able to detect an automatic periodic components of a non-stationary oscillations;
- develop informative criteria for a timely detection of the axial compressor pre-surge state;
- develop the surge protection algorithm that implements the above mentioned criteria.

3. Digital simulation and experimental investigation of the non-stationary processes in the axial compressor stage

The following tasks must be completed for the suitable presentation of the processes that accompany the surge:

- identify the compressor spool, which gas-dynamic stability is critical ;
- detect the pre-surge processes, form the informative diagnosing criterions;
- determine the engine control actions that are sufficient to prevent or to stop the surge.

These tasks can be completed experimentally or by digital simulation.

At first stage of the research, we had simulated the airflow in a blade passage of the first compressor stage of turboshaft. The model had been formed as the Reynolds-averaged Navier-Stokes differential equations

implemented in ANSYS CFX which is based on the finite-volume method and the implicit algorithm of integration [8]. Flow of the heat-conductive compressible viscous turbulent gas was a subject of the analysis. The above-mentioned software was complemented with the standard tools available in ANSYS.

Simulation showed that the airfoil is regularly streamlined at stable operational modes. When compressor operational mode becomes close to a stability margin, the rotating stall emerges on the convex airfoil surface. The airflow lines down everywhere along blade length. Velocity field in the blade passage at pre-stall conditions on the blade convex side are shown in Fig. 3.

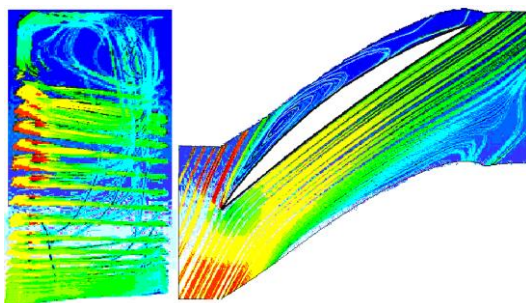


Figure 3 – Stall down on the blade convex side

The interblade flow in the axial compressor stage is characterized by the radial equilibrium of flows along the height of the interblade channel. Every cross-section is optimally oriented in the flow at the design operational mode. When the airflow rate abandons the design conditions, different blade cross-sections operate at different off-design conditions.

Stall and surge in compressor have the considerable feature. To be exact, the separate flow areas propagate in blade passages in both, circumferential and longitudinal directions. Then, it is obvious that a blade sector simulation cannot be applied for this case. The above presented considerations prove that the study to be simulated will work with many finite element models. The required evaluations will take long processing time. Therefore, mankind tries its best to develop the reduced models that are able to take the rotating stall features in. The following sequence of events must happen to entail the rotating stall, as it is given in [9] (see Fig. 4).

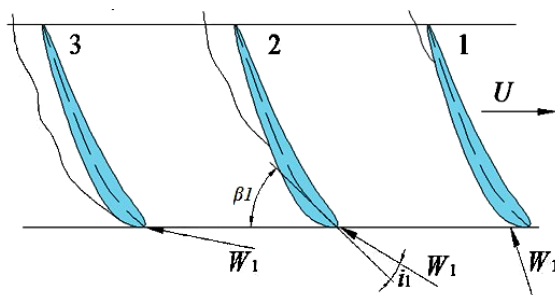


Figure 4 – Rotating stall origination

Under certain conditions attack angles may rise and block part of the interblade channel, reducing its flow capacity (see case 2 in Fig. 4). Flow is forced to be redistributed between adjacent interblade channels. The redistribution happens in the way that the attack angle i_1 of the blade 1 increases and the attack angle of the blade 3 decreases. Therefore, the stall area moves circumferentially opposite to the hand of rotation at the velocity, which is less than rotation. The flow in annular duct consists of stalled areas and areas of the non-stall flow then. So, in the other words, the rotating stall is a mechanism of compressor “adaptation” to a rapid decreasing of the airflow rate. Instead of uniform circular airflow distribution, the flow is distributed no uniformly. Main portion of the airflow is concentrated in a set of interblade channels and rest airfoil sets operate at partially blocked state. Therefore the averaged in time airflow rate remains constant at the rotating stall operation, but local airflow rate is different in different interblade channels. The areas with stable and unstable operation do not belong to particular blades, because as it was mentioned, stall rotates. One or some of the stalled areas can originate. The stall area can take entire circular cross-section (full-blocking stall) or only some part of it (partial-blocking stall).

These off-design flows initiate the hundreds hertz pressure oscillations [10]. These oscillations cause the radial and axial vibrations of engine casing. Thus, the stall propagation can be detected before the full-scale surge, on a base of a vibration analysis [1].

The results of a simulation had been experimentally validated [11] at the full-scale and laboratory-scale test facilities. Both facilities are of the same structure (Fig. 5).

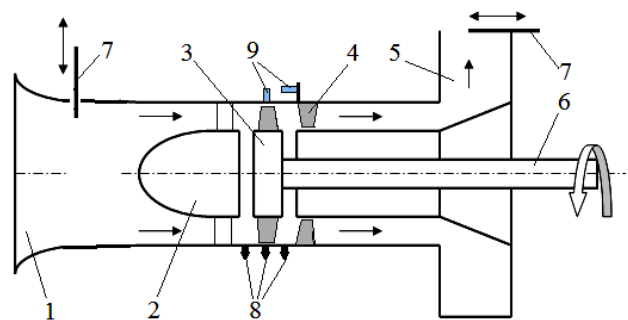


Figure 5 – Scheme of the test facility:

- 1 – intake; 2 – cowl; 3 – impeller; 4 – guide vanes;
- 5 – exhaust pipe; 6 – shaft; 7 – throttle; 8 – pressure sensors; 9 – vibration transducers

The full-scale facility is an axial compressor stage (20 blades) with 21 kW driving electric motor and controlled rotor speed (maximum speed is 3600 rpm).

The laboratory test facility is a single-stage axial compressor with five rotor blades driven by the electric motor (maximum speed is 2600 rpm).

The measuring system of the facility includes pressure sensor at the stage inlet (static pressure), pressure

sensor in the clearance between blades and facing them casing (static pressure), pressure sensor at the stage discharge (static pressure), axial and radial vibration transducers on the engine casing. The pressure fluctuations were recorded by sensors MPX2202, which sensitivity is 0.2 mV/kPa. The length of the pilot-static tube is $L = 7.4$ mm, the sonic velocity at experimental conditions (20°C) is $a = 343$ m/s. The tube operates like a half-wave resonator. It damps vibrations with wave length $2L = 14.8$ mm and frequency $f = a/2\pi L = 343/2 \cdot 3,14 \cdot 0,0148 \approx 3690$ Hz. These vibrations are well over the domain of interest.

The vibrations were recorded by the accelerometer D16, which sensitivity is 1.5 mV/m·s² and precise accelerometer KD-35 with sensitivity 4.9 mV/m·s².

Vibration sensors were mounted on the compressor casing as along the engine axis as in perpendicular to it. The frequency domain of the sensor studded to the casing is 8 kHz and the sensor magnet to the casing is 4 kHz. This satisfies the requirements to the experiment.

Compressor was forced out of stable operational domain to unstable one by a stepless flow throttling at the stage inlet or discharge.

Sensors were connected to a computer that was recording the signals and processed them by the Fast Fourier Transformation (FFT).

The pressure fluctuations recorded by the sensor in the clearance at the flow throttling at laboratory facility inlet are shown in Fig. 6.

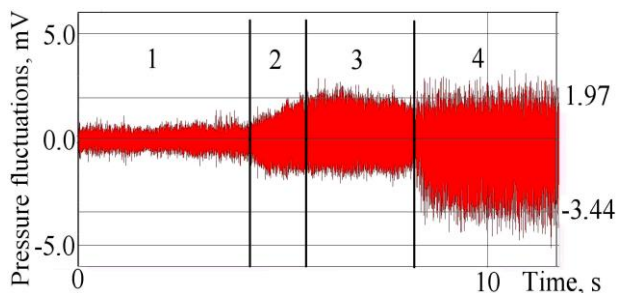


Figure 6 – Pressure fluctuations in time domain (sensor in the clearance)

Low-amplitude fluctuations can be recognized in the first section in Fig. 6. The frequency corresponds to blade repetition frequency. When the flow rate decreases then the compressor discharge pressure increases; the

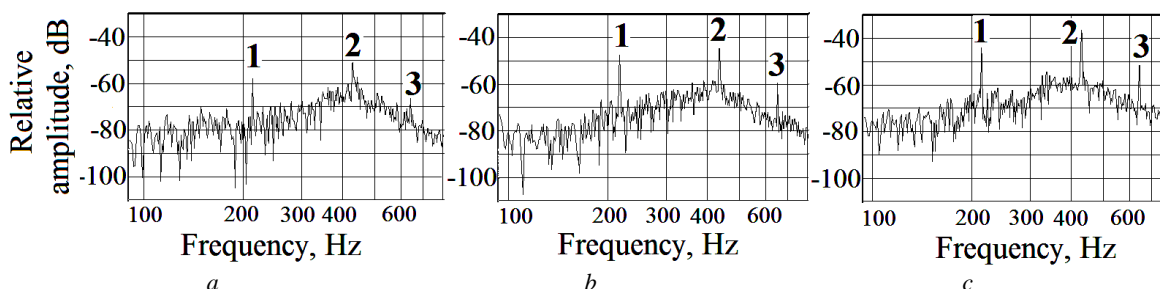


Figure 8 – Spectrogram of the pressure fluctuations: a – stable operation; b – stalled flow; c – surge

system stays stable. Meanwhile conditions of blades streamlining change. This can be understood as a beginning of the stall (sections 2 and 3). Further flow throttling (section 4) makes the flow unstable; pressure at the stage discharge drops and a surge, namely low-frequency flow pulsations appear. The surge can be recognized by a compressor discharge pressure dips and the ratio of amplitudes $p_{C\max} / p_{C\min} \approx 1.6 \dots 1.7$. In Fig. 6, this ratio is 1.75.

Other experiment at the same test facility was made. The stall was stimulated by a periodic short-time supply of the hot air to the inlet. The pressure recorded by the sensor at the impeller discharge is shown in Fig. 7.

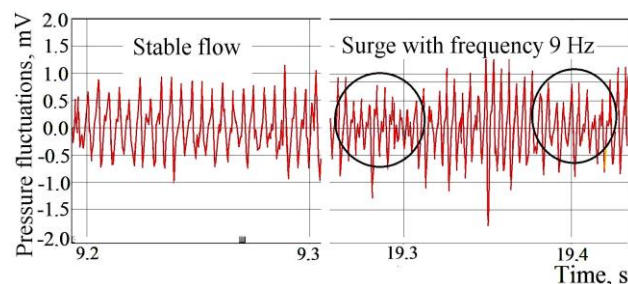


Figure 7 – Pressure fluctuations in time domain (sensor at impeller discharge)

When the stage operates regularly then the pressure pulsates with almost constant amplitude. The frequency is equal to a blade repetition frequency. When hot air gets to the duct, the fluctuation amplitude changes (increases/decreases) for short periods of time; the frequency is 9 Hz that corresponds to the surge. Herewith, the surge margin decreasing is accompanied with the amplitude of the blade oscillation higher harmonic (from 2-nd to 5-th) increasing for 6...9 dB in respect to the first harmonic. These data shown in Fig. 8 prove the investigation results [12].

The firsts to detect the beginning of the stall were sensors fitted in the clearance (above the blades). The sensors at the impeller discharge discover the formed stall and the sensors at the inlet discover only the progressing surge.

When the throttle ratio increases, the frequencies, equal or proportional to blade repetition frequency also increase (see Fig. 8).

Therefore this phenomenon can be used as the stall or surge indicator. But, this can be applied to a low speed compressor. For example, the first dry-bending critical speed of forty-blade impeller, which rotational speed is 18000 rpm is 12 kHz; so the right margin of the sensor band must be 25 kHz as minimum. Besides, the pressure pipelines must operate in wide band without damping [13] or blocking.

The rotating stall appears at off-design operating conditions and is characterized with the local pressure drop in one or some areas of the compressor gas path (Fig. 9). This causes the stalled streamlining of the rotor blades. The rotating stall initiates low-frequency axial and radial vibrations of the compressor casing. The stall rotates at speed about $(0.3...0.6) \cdot n_{rot}$ depending on the number of rotor blades, the number of guide vanes and the relative bush diameter.

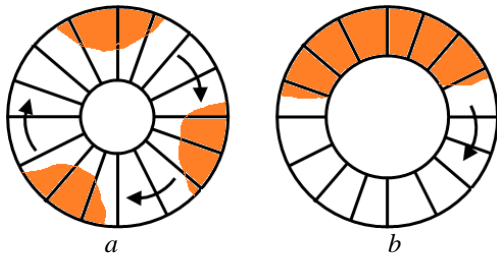


Figure 9 – Various types of the rotating stall:
a – partial-blocking stall (three stall areas);
b – full-blocking stall

The detection of the vibration like just considered means that the surge is very probable to appear in compressor. Thus, the presented above details about the progressing stall and surge prove that progressing stall can be stopped prior it transforms to the full-scale surge.

According to the full-scale experiments, (see Fig. 10) the common level of a broad-band vibration changes insignificantly at the rotating stall. So, this signal cannot serve for a pre-surge diagnostics. The rotational speed was noted to grow incidentally at throttling. This growth happens because of two reasons, which are an unloading of the driving electric motor and a reduction of the airflow rate.

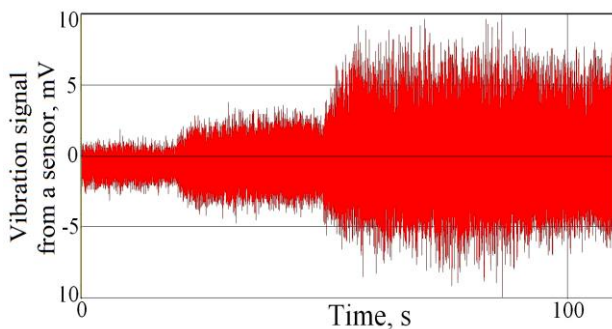


Figure 10 – Vibration recorded by the sensor on the casing of the full-scale compressor stage

The paper [14] represents a method of the rotating stall frequency determination. The relative rotating stall frequency $\bar{n}_{stall} = n_{stall} / n_{rot}$ is determined as a function of the relative bush diameter \bar{d} by the experimental formula. We have refined this function using obtained experimental data:

$$\bar{n}_{stall} = (0,32773 + 0,97254\bar{d} - 1,2295\bar{d}^2) \pm 0,04239$$

This function is shown in Fig. 11. It was evaluated by the processing of the experimental data. The proposed formula suits the range of the relative rotational speed $\bar{n} = 0.3...1.0$.

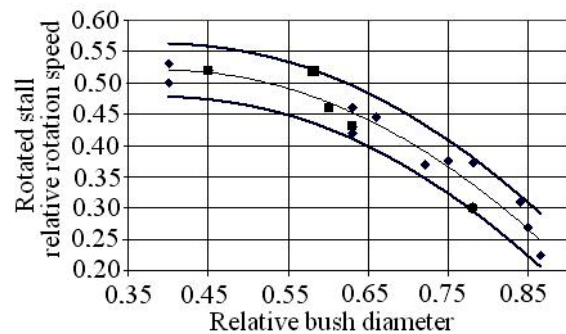


Figure 11 – Dependence of the stall rotational speed on the relative bush diameter: \blacklozenge – by paper [14]; \bullet – by paper [6]; \blacksquare – determined by the authors

Vibrations detected by the sensor mounted on the compressor casing depends on the load acting a radial thrust bearing of the rotor. This problem was not investigated in the presented research, nevertheless signal from both sensors can be considered informative. A spectrum of rotating stall vibration in the range of rotor frequencies is shown in Fig. 12. This spectrum is determined as a decomposition of the precise accelerometer KD-35 signal, mounted perpendicularly to the compressor axis.

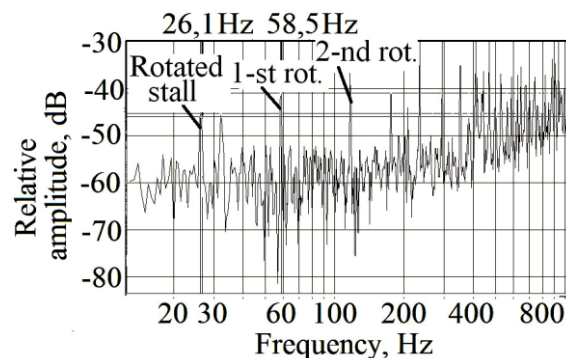


Figure 12 – Vibration spectrum at the rotating stall

The relative bush diameter of the experimental facility is $\bar{d} = 0.63$, so the design frequency of the rotating stall with single stalled area is $(0.4524 \pm 0.042)n_{rot} = 26.48$ rps. This value satisfactorily

conforms to the experimentally determined value of stall harmonic, which is 26.1 Hz (the relative error is 1.46 %).

The stall harmonic is stable. It significantly rises above the noise background (it is 11 dB above the noise in the experiment). Therefore it is suitable for the rotating stall diagnostics.

4. Algorithm of the compressor pre-surge state diagnostics

The recorded signal typically consists of a wanted signal $s(t - \tau_0)$, a fluctuation noise $q(t)$ and an impulse noise $g(t) = \sum_k s(t - \tau_k)$:

$$x(t) = s(t - \tau_0) + q(t) + g(t).$$

These components are of different intensity and structure.

The impulse noise is a signal distortion by an intensive short-time random-polarity impulse overshoots. The impulse noise may emerge because of external burst electromagnetic interferences or interference jamming, bugs and interference in the system itself. A combination of a random noise and the quasi-determined impulses is the combined interference. The noise-immune data processing is the most effective method for the combined interference suppression. However, the implementation of the considered data processing method slows data processing down and complicates a data processing system. The task is to filter random components off from the signal, saving the harmonic components. There is no known mathematically rigorous problem formalization of the impulse noise signal filtering problem and its solution. Only heuristic algorithms suite to find the solution of the considered filtering problem. The most appropriate among them is a median filtering algorithm [15].

The median filter is the nonlinear digital filter that member-by-member slides by the signal array and after each iteration returns one of members, which had entered the filter band (aperture). The output signal y_k of the $2n+1$ band sliding median filter at current instant k is formed from the input time series $\dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots$ as

$$y_k = \text{med}(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+n-1}, x_{k+n}),$$

where $\text{med}(x_1, \dots, x_m, \dots, x_{2n+1}) = x_m$ is the median member of the time series ranked on ascending or descending.

The specific feature of a median filter is the explicit selectivity to the elements of an array that are considerably different from adjacent elements. Simultaneously, the median filter does not change a monotone component. Due to this feature, the median filters with optimally adjusted aperture are efficient in the pattern recognition. For example, they can save sharp edges of the objects and effectively suppress the non-correlated or low correlated noise and low-size details. Therefore, the median filtering is an efficient processing tool that filters abnormal values off data arrays, decreases influence of overshoots and the impulse noise.

Signals detected by fast-response transducers usually contain non-harmonic peak-like (stall)

components. Nowadays the secondary processing of such signals is made using the Wavelet transformation. But, the processing in this case needs much processing time. For example, the paper [1] gives comparison of the processing time required to identify the rotating stall using the FFT and the Wavelet-transformation. The FFT required time is up to 40 rotor revolutions, and the Wavelet-transformation required time is 400 revolutions. So if the rotational speed is 12000...18000 rpm then FFT needs 0.13...0.2 s (this time is commensurable to a surge progress time), and the Wavelet-transformation needs 1.3...1.4 s (the simplest Haar wavelet needs 0.4 s), which is unacceptable because gives no chances to detect the surge.

The mentioned above data can be processed using an adaptive band filter [16], which frequency burst is adjusted on a pilot signal from a rotor speed induction sensor. The processing time is about 0.1 s then. ACS gains an opportunity to form on-time counteraction before the surge origination and progression.

The software of vibration signal processing was developed. It has the following performances. The time to read and process one observation with 2.4 GHz Intel CPU takes $1,15 \cdot 10^{-4}$ s. The time interval between signal recording and processing is 0.014 s at 512 Hz recording and the median filter usage with "three points" aperture and seven-point processing by the band Butterworth filter [17]. This provides reliable rotating stall detection. The analysis of compressor casing vibrations using the median filter and the band filter (mean frequency 26.48 Hz and bandwidth ± 2 Hz) is shown in Fig. 13 (upper diagram – in a time domain, down diagram – in a frequency domain).

It is obvious that the vibration signal at a developed rotating stall is twice more than a signal at stable operation (see Fig. 13). So, it can be the criterion of the compressor pre-stall state. When the surge progresses, the rotating stall disappears and the low-frequency component (9.8 Hz) appears that authenticates the surge. The reason for a signal rise after a surge had developed is a throttling rate decreasing.

Thus, the compressor pre-surge detection algorithm consists of:

- the rotor rotational speed measurement by a standard sensor with 5 Hz sampling frequency and the pilot signal formation;
- the compressor casing vibration recording with frequency that is no less than the rotor rotational frequency;
- the rotating stall frequency calculation and the filter pass band determination;
- the band filter formation;
- the signal median filtering;
- the processed signal band filtering, the signal rate determination;
- the surge signal formation and control action generation.

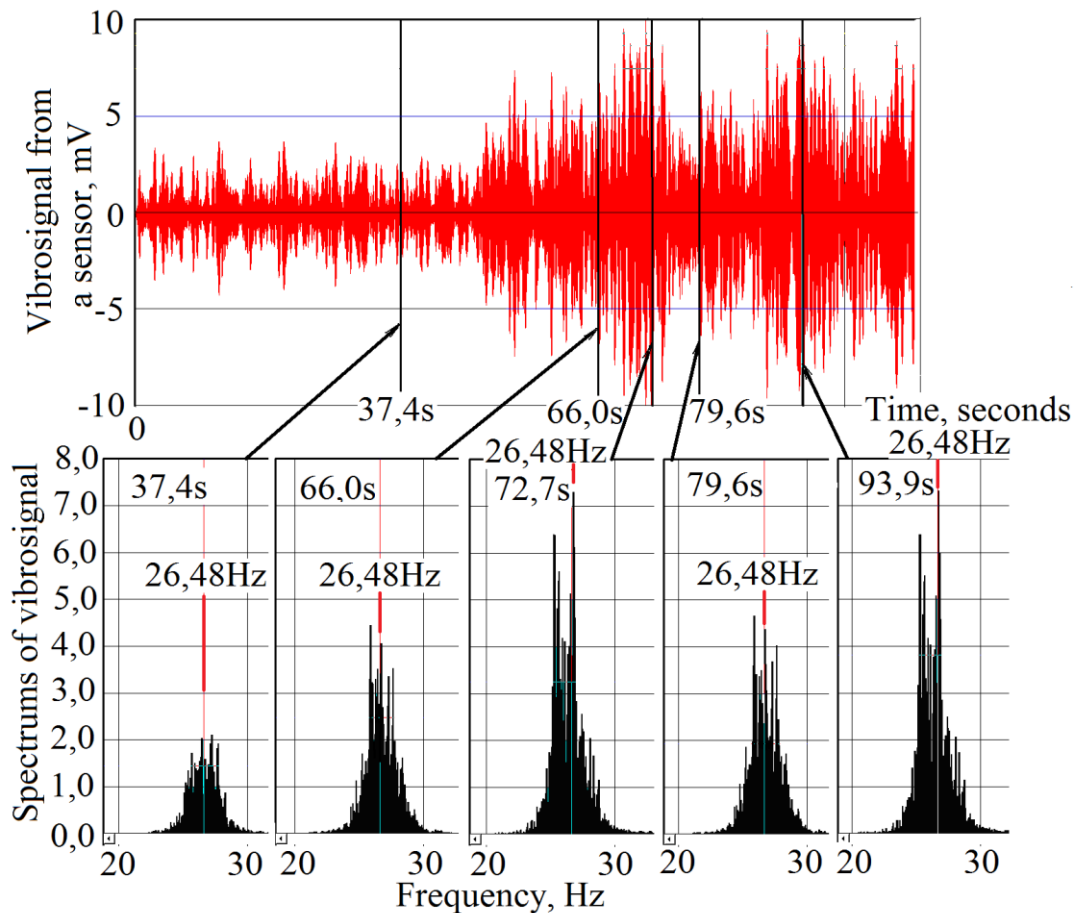


Figure 13 – Vibration signal after median and band filtering

Surge protection system may become much reliable whether it simultaneously processes the signals from several sources of information, like spectral components of the compressor casing vibration. The just mentioned arrangements may improve the engine maintainability. The incoming signal from one source approves or does not approve the signal from the other source. The signals are of different nature. Such signal analysis reduces the risk of false response and improves the reliability of the surge detection system.

Conclusion

Known surge protection systems snap into action at the developed surge. However, a surge predecessor, rotating stall, appears well prior to a surge, feeding the automatic surge protection system with information. Besides general level of pressure fluctuations, several spectral components can be separated that indicate origination and development of the rotating stall.

The coefficients in the formula relating rotating stall frequency with relative bush diameter of compressor had been refined from the experimental data. Increase in vibration level at this frequency can indicate that the compressor is at the pre-surge state. The algorithm, which automatically recognizes periodic components of the

compressor casing vibrations and forms the control actions for the surge protection was proposed.

Surge protection system may become much reliable whether it simultaneously processes the signals from several sources of information, like spectral components of the compressor casing vibration. The just mentioned arrangements may improve the engine maintainability. The incoming signal from one source approves or does not approve the signal from the other source. The signals are of different nature. Such signal analysis reduces the risk of false response and improves the reliability of the surge detection system.

Existing anti-surge systems of gas turbine engine are included into operation at surge increase though preceding rotating stall commences much earlier and can serve as informational criterion for its inclusion into system of engine automatics. Except general level of pressure fluctuations and vibrations, it is possible to single out several spectral components reacting to origination and increase of rotating stall resulting in surge.

It is proved that the reliability of the surge protection system can be improved by more full usage of GTE capabilities, like checking up the signal from one source by the signal from the other source. The signals are of different nature.

Список литературы

1. **Августинович, В. Г.** Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях / **В. Г. Августинович, Ю. Н. Шмотин, А. П. Сипатов** и др. – М.: Машиностроение. – 2005. – 536 с.
2. **Hah, C.** Characteristics of tip clearance flow instability in a transonic compressor / **C. Hah, M. Voges, M. Mueller, H.P. Schiffer** // *Proc. Of ASME Turbo Expo: GT2010-20101, 14-18 June 2010*. – Glasgow, UK. – 2010. – 12 p. – doi:10.1115/GT2010-22101.
3. **Greitzer, E. M.** Surge and rotating stall in axial flow compressors, PartII: Experimental results and comparison with theory / **E.M. Greitzer** // *Journal of Engineering for Power* 98. – 1976. – P. 199-217.
4. **Коваль, В. А.** Прогнозирование режимов вращающегося срыва в ступени осевого компрессора с учетом формирования профильного и торцевого пограничных слоев / **В. А. Коваль, Е. А. Ковалева** // *Современные технологии в газотурбостроении*. – 2010. – № 3/3(45). – С. 4-8.
5. **Колесинский, Л. Д.** Исследование процессов развития вращающегося срыва в осевом компрессоре после нарушения газодинамической устойчивости / **Л. Д. Колесинский** // *Ученые записки ЦАГИ*, т. 39. – 2008. – № 1 - 2. – С. 92-98.
6. **Mathioudakis, K.** Flow in the three-dimensional areas of the developed derangement in an axial compressor / **K. Mathioudakis, F. A. E. Breugelmans** // *Journal of Propulsion and Power*. – 1988. – №. 3. – P. 263-269.
7. **Колесинский, Л. Д.** Анализ протекания нестационарных явлений в многоступенчатом осевом компрессоре, работающем в системе стенда, при помпаже / **Л. Д. Колесинский, О. В. Макашева** // *Ученые записки ЦАГИ*, т. 39. – 2008. – № 4. – С. 46-59.
8. **Menter, F. R.** Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / **F. R. Menter** // *AIAA Journal*. – 1994. – Vol. 32, Issue 8. – P. 1598-1605. – doi:10.2514/3.12149.
9. **Кампсти, Н.** Аэродинамика компрессоров: пер. с англ / **Н. Кампсти**. – М.: Мир. – 2000. – 688 с.
10. **Киприч, Т. В.** Исследование методов и моделей обнаружения помпажных явлений в системе автоматического управления ГТД / **Т. В. Киприч, В. Н. Харитонов, В. И. Дубровин** // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 9(56). – С. 206-210.
11. **Мохаммадсадеги, Ф.** Моделирование срывных и неустойчивых режимов работы ступени осевого компрессора для диагностики его предпомпажного состояния / **Ф. Мохаммадсадеги** // *Вестник двигателестроения. Научно-технический журнал*. – Запорожье, АО «Мотор Сич». – 2014. – №2. – С. 80-83.
12. **Варжицкий, Л. А.** Исследование спектральной модели пульсаций давления в осевом компрессоре для диагностики газодинамической неустойчивости / **Л. А. Варжицкий, Ю. В. Киселев, М. К. Сидоренко** // *Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Сборник научных трудов*. – Куйбышев: КУАИ. – 1988. – С. 20-24.
13. **Шорин, В. П.** Акустические методы и средства измерения пульсаций давления / **В. П. Шорин, Е. В. Шахматов, А. Г. Гимадиев** и др. – Самара: СГАУ. – 2007. – 132 с.
14. **Колесинский, Л. Д.** Определение вращающегося срыва в осевом многоступенчатом компрессоре ГТД / **Л. Д.**

15. **Hung, M. H.** A Fast Algorithm of Temporal Median Filter for Background Subtraction / **M. H. Hung, J. S. Pan, C. H. Hsieh** // *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. – 2014. – Vol. 5, №. 1. – P. 33-40.
16. **Чигрин, В. С.** Віброакустика і вібродіагностика авіаційних двигунів: навч. посіб / **В. С. Чигрин, С. І. Суховій**. – Х.: Національний аерокосмічний університет «ХАІ». – 2012. – 264 с.
17. **Ifeachor, E. C.** Digital Signal Processing: A Practical Approach (2nd Edition) / **E.C. Ifeachor, B.W. Jervis**. – Prentice Hall. – 2002. – 934 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Avgustinovich, V. G., Shmotin, Yu. N., Sipatov, A. P.** i dr. Chislennoe modelirovanie nestatsionarnykh yavleniy v gazoturbinykh dvigatelyah [Numerical simulation of transient phenomena in gas turbine engines]. Moscow: Mashinostroenie, 2005, 536 p.
2. **Hah, C., Voges, M., Mueller, M., Schiffer, H.P.** Characteristics of tip clearance flow instability in a transonic compressor. *Proc. Of ASME Turbo Expo: GT2010-20101*, Glasgow, 2010, 12 p., doi:10.1115/GT2010-22101.
3. **Greitzer, E. M.** Surge and rotating stall in axial flow compressors, PartII: Experimental results and comparison with theory. *Journal of Engineering for Power* 98, 1976, 199-217.
4. **Koval, V. A., Kovaleva, E. A.** Prognozirovanie rezhimov vraschayushegosya sryiva v stupeni oseвого kompressora s uchetom formirovaniya profilnogo i tortseвого pogranichnykh sloev [Prediction rotating stall regimes stage axial compressor based on the formation of the profile and mechanical boundary layers]. *Sovremennyye tehnologii v gazoturbostroenii [Modern technologies in gas turbine manufacture]*, 2010, 3/3(45), 4-8.
5. **Kolesinskiy, L. D.** Issledovanie protsessov razvitiya vraschayushegosya sryi-va v osevom kompressore после narusheniya gazodinamicheskoy ustoychivosti [Investigation of the processes of rotating stall in axial compressor after violation dynamic stability]. *Uchenyie zapiski TsAGI*, 39 [TsAGI scientists note, v. 39], 2008, 1 - 2, 92-98.
6. **Mathioudakis, K., Breugelmans, F. A. E.** Flow in the three-dimensional areas of the developed derangement in an axial compressor. *Journal of Propulsion and Power*, 1988, 3, 263-269.
7. **Kolesinskiy, L. D., Makasheva, O. V.** Analiz protekaniya nestatsionarnykh yavleniy v mnogo-stupenchatom osevom kompressore, rabotayuschem v sisteme stenda, pri pompazhe [Analysis of transient flow phenomena in a multistage axial compressor system operating in the stand, when the surge]. *Uchenyie zapiski TsAGI*, 39 [TsAGI scientists note, v. 39], 2008, 4, 46-59.
8. **Menter, F. R.** Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*, 1994, 32(8), 1598-1605, doi:10.2514/3.12149.
9. **Kampsti, N.** (2000). Aerodinamika kompressorov: per. s angl [Aerodynamics compressors: Trans. with English]. Moscow: Mir, 688 p.
10. **Kiprich, T. V., Haritonov, V. N., Dubrovin, V. I.** Issledovanie metodov i modeley obnaruzheniya pompazhnykh yavleniy v sisteme avtomaticheskogo upravleniya GTD [Research methods and models of surge

- effects detecting in the GTE automatic control system]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya [Aerospace Engineering and Technology]*, 2008, **9**(56), 206-210.
11. **Mohammadsadegi, F.** Modelirovanie sryvnyh i neustoychivyyh rezhimov raboty stupeni oseвого kompressora dlya diagnostiki ego predpompažnogo sostoyaniya [Modeling teams and unstable modes of the axial compressor stages to diagnose his condition predpompažnogo]. *Vestnik dvigatelestroeniya. Nauchno-tehnicheskii zhurnal [Bulletin engine. Scientific and technical journal]*, Zaporozhe, AO «Motor Sich», 2014, **2**, 80-83.
 12. **Varzhitskiy, L. A., Kiselev, Yu. V., Sidorenko, M. K.** Issledovanie spektralnoy modeli pulsatsiy davleniya v osevom kompressore dlya diagnostiki gazodinamicheskoy neustoychivosti. Vibratsionnaya prochnost i nadezhnost dvigateley i sistem letatelnykh apparatov [Study of the spectral model of pressure fluctuations in the axial compressor for the diagnosis of gas-dynamic instability]. *Vibratsionnaya prochnost' i nadezhnost' dvigateley i sistem letatel'nykh apparatov. Sbornik nauchnykh trudov [Vibration resistance and reliability of engines and aircraft systems. Collection of scientific papers]*, Kuybishev: KUIAI, 1988, 20-24.
 13. **Shorin, V. P., Shahmatov, E. V., Gimadiev, A. G.** i dr. Akusticheskie metody i sredstva izmereniya pulsatsiy davleniya [Acoustic methods and means of measuring pressure pulsations]. Samara: SGAU, 132 p.
 14. **Kolesinskiy, L. D., Makasheva, O. V.** Opredelenie vraschayuschegosya sryiva v osevom mnogostupenchatom kompressore GTD [Determination of rotating stall in axial multistage compressor GTE]. *Polet*, 2010, **3**, 36-41.
 15. **Hung, M. H., Pan, J. S., Hsieh, C. H.** A Fast Algorithm of Temporal Median Filter for Background Subtraction. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2014, **5**(1), 33-40.
 16. **Chygryn, V. S., Suhoviy, S. I.** Vibroakustyka i vibrodiagnostyka aviatsyinykh dvyguniv: navch. posib [Vibroakustyka Lathe vibration monitoring and aircraft engines: teach. guidances]. *Natsional'nyi aerokosmichnyi universitet «KhAI» [National Aerospace University "KhAI"]*, 2012, 264 p.
 17. **Ifeachor, E. C., Jervis, B. W.** Digital Signal Processing: A Practical Approach (2nd Edition). *Prentice Hall*, 2012, 934 p.

About authors (Сведения об авторах)

Mohammadsadeghi Farrokh – post-graduate student of Aircraft Engines Design department of National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: farrokh_sadeghi@yahoo.com

Мохаммадсадеги Фаррох – аспирант кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: farrokh_sadeghi@yahoo.com

Chygryn Valentyn – candidate of technical science, associate professor of Aircraft Engine Design department of National Aerospace university “Kharkiv Aviation institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: chigrin_vs@rambler.ru

Чигрин Валентин Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: chigrin_vs@rambler.ru

Yepifanov Sergiy – doctor of technical sciences, professor, Honored worker of science of Ukraine, Head of Engine Design department of National Aerospace university “Kharkiv Aviation institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: aedlab@gmail.com

Епифанов Сергей Валерьевич – профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники Украины, заведующий кафедрой конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: aedlab@gmail.com

Please cite this article as:

Mohammadsadeghi, F., Chygryn, V., Yepifanov, S. Vibration-based detection of axial-flow compressor unstable operation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 62-70, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.09.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Мохаммадсадеги, Ф. Совершенствование методов обнаружения неустойчивых режимов работы осевых компрессоров с использованием анализа вибраций / **Ф. Мохаммадсадеги, В. С. Чигрин, С. В. Епифанов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 62-70. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.09.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мохаммадсадегі, Ф. Вдосконалення методів виявлення нестійких режимів роботи осьових компресорів з використанням аналізу вібрацій / **Ф. Мохаммадсадегі, В. С. Чигрин, С. В. Єпифанов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 62-70. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.09.

АНОТАЦІЯ Подано результати чисельного моделювання і експериментальних досліджень динаміки зменшення газодинамічної стійкості ступіня осьового компресора. Виконано дослідження з визначення інформативних критеріїв виявлення передпомпажного режиму. Показано, що гармоніка зриву, що обертається, є стійкою, значно виділяється на фоні шумів, це дозволяє використати її для діагностування зриву, що обертається, як передвісника помпажу. Приведено уточнену залежність для визначення частоти зриву, що обертається. Показано, що для виявлення обертового зриву можливе використання параметрів вібрації, які зареєстровані на корпусі компресора. Запропоновано алгоритм виявлення передпомпажного стану компресора за рівнем вібрації корпусу компресора для розробки автоматичних систем попередження помпажу на етапі його зародження.

Ключові слова: осьовий компресор, обертовий зрив, помпаж, вібросигнал, медіанна фільтрація, смуговий фільтр

Поступила (received) 08.03.2016

ИСПЫТАНИЯ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ

**В. И. СЕНЬКО¹, С. В. МАКЕЕВ², А. Д. ЧЕПУРНОЙ³, Р. И. ШЕЙЧЕНКО⁴, А. В. ЛИТВИНЕНКО⁴,
Р. В. ГРАБОРОВ⁴, Н. А. ТКАЧУК⁵, М. А. ЧУБАНЬ^{5*}**

¹ Белорусский Государственный Университет Транспорта, г. Гомель, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

² Испытательный центр железнодорожного транспорта «СЕКО», г. Гомель, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

³ ООО «Управляющая Компания РэйлТрансХолдинг», г. Москва, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

⁴ ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», г. Мариуполь, УКРАИНА

⁵ Кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

*email: s803@tmm-sapr.org

АННОТАЦИЯ В статье описаны три вида испытаний (испытание на статическую прочность, на прочность при соударении, расчетно-экспериментальная оценка сопротивления усталости конструкции), включенных в объем предварительных испытаний опытного образца вагона-платформы универсального. По результатам испытаний сделано заключение, что напряжения в несущих элементах конструкции вагона при квазистатических нагрузках и при соударениях, а также показатели сопротивления усталости конструкции вагона соответствуют требованиям конструкторской документации, технического задания и нормативных документов.

Ключевые слова: вагон-платформа универсальная, испытания, статическая прочность, прочность при соударении, сопротивление усталости конструкции.

TESTING OF THE UNIVERSAL PLATFORM CAR

**V. SEN'KO¹, S. MAKEYEV², A. CHERPURNY³, R. SHEYCHENKO⁴, A. LITVINENKO⁴,
R. GRABOROV⁴, M. TKACHUK⁵, M. CHUBAN^{5*}**

¹ Belarusian State University of Transport, Gomel, BELARUS

² Testing Center of Railway Transport "SEKO", Gomel, BELARUS

³ LLC "Management Company ReylTransHolding", Moscow, RUSSIAN FEDERATION

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

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

*email: s803@tmm-sapr.org

ABSTRACT The article contains the analysis of the experience and the results of the test center of rail car-building products. It describes methodology and analysis of results of the tests (static strength, strength at the collision, calculated and experimental evaluation of the fatigue resistance of the structure of the rail car), included in the scope of preliminary tests of the prototype of the universal platform car, model 13-9990-01. The main objective of the static strength testing was to evaluate the strength, the bearing capacity of the structure of the car. Test for strength in the collision was carried out for experimental test of design strength and stability of the rail car at the specified test modes of the collision. Registration of strain in structural elements of the rail car was performed using strain gauges. Obtained allocations of stress on the elements of the rail car are presented and evaluated. During the third type of preliminary tests the verification of compliance with norms of the reserve fatigue resistance of the structure was carried out. According to the results of tests the conclusion about conformity of rail car to requirements of the car design documentation, technical specifications and regulations was made. It was concluded that the maximum stress in the structural elements of the rail car under the quasi-static load and in the collisions, as well as indicators of fatigue resistance of the structure of the rail car are within permitted. Obtained results serve for future comparison with the data of numerical analysis by the finite element method.

Keywords: universal platform car, testing, static strength, the strength in the collision, the fatigue resistance of the structure

Введение

Железнодорожная промышленность отвечает за массовую транспортировку огромного количества грузов.

Потребности железнодорожной отрасли существенно изменились за последние годы. В современной технической литературе уделяется много внимания вопросам увеличения скоростей и нагрузок, обеспечения безопасности перевозок, а

также исследованиям дееспособности элементов конструкции вагонов [1 – 3]. Еще одной группой литературных источников, которые, очевидно, не менее актуальны, являются работы, содержащие информацию об исследованиях и разработках специалистов в области вагоностроения. В этих работах отображены описание новых типов вагонов и результаты их строительства, разработка новых и

сравнение существующих методов испытаний широкого спектра вагонов и их компонентов [4 – 6].

Такой же информативный характер носит и данная статья. Она содержит анализ опыта и результаты испытательного центра продукции вагоностроения.

Постановка задачи

С целью установления соответствия опытных образцов вагонов требованиям технического задания (ТЗ), конструкторской документации (КД) и нормативным документам проводят их предварительные испытания.

Так, в 2015 году испытательный центр продукции вагоностроения Общества с ограниченной ответственностью «Инженерный центр подвижного состава» (ООО «ИЦПС») провел такие испытания для вагона-платформы модели 13-9990-01 [7, 8] (рис. 1), изготовленного ОАО «Новозыбковский машиностроительный завод» по КД [9] и ТЗ [10]. Программа и методика проведения предварительных испытаний была разработана в соответствии с требованиями технического регламента "ТР ТС 001/2011. Технический регламент ТС. О безопасности железнодорожного подвижного состава" и нормативных документов [11-15].



Рис. 1 – Общий вид испытываемого вагона

Основные технические характеристики вагона в соответствии с КД представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики вагона

Технические характеристики	Значение
Грузоподъемность (максимальная), т	72
Масса тары, т	21,5±0,5
Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	230,5 (23,5)
Типы транспортируемых контейнеров серии ИСО	1AA, 1A, AX, ICC, IC, ICX
Конструкционная скорость, км/ч	120
Габарит по ГОСТ9238	0-ВМ

В объем предварительных испытаний были включены следующие виды:

- испытания на статическую прочность;
- испытания на прочность при соударении;

- расчетно-экспериментальная оценка сопротивления усталости конструкции вагона;
- ходовые динамические испытания;
- стационарные тормозные испытания;
- ходовые тормозные испытания;
- функциональные испытания.

Целью данной работы является проведение исследований и анализ результатов первых трех видов экспериментальных испытаний вагона-платформы.

Испытания на статическую прочность

Целью испытаний на статическую прочность являлась оценка показателей прочности, несущей способности конструкции вагона. Основными задачами при этом были исследование и оценка напряженного состояния конструкции вагона при квазистатическом нагружении: действии вертикальной нагрузки (вес груза, тара вагона), распорной, продольных сжимающих и растягивающих нагрузок, ремонтных нагрузок.

В частности, испытания на прочность вагона при действии вертикальной, распорной и ремонтных нагрузок проводились на территории ОАО «Новозыбковский машиностроительный завод» с 08.08.2015 г. по 14.08.2015 г.; испытания на прочность при действии горизонтальных продольных растягивающей и сжимающей статических нагрузок – на специальном стенде для растяжения-сжатия вагонов, обеспечивающем продольную сжимающую нагрузку не менее 2,5 МН и продольную растягивающую нагрузку не менее 2,0 МН, на территории УО «БелГУТ» с 17.08.2015 г. по 18.08.2015 г.

Перечень использованного при испытаниях испытательного оборудования и средств измерений приведен в табл. 2, 3 соответственно.

Таблица 2 – Испытательное оборудование

Наименование вида испытаний и (или) определяемой характеристики (параметра) ТСЖТ	Наименование, марка и номер (заводской или инвентарный) испытательного оборудования
Обеспечение прочности вагонных конструкций при квазистатических нагружениях	Стенд ЧР-3922-00 Зав. № б/н

Наклейка тензорезисторов в исследуемых точках вагона была произведена в соответствии со схемами, представленными на рис 2, 3.

В ходе проведения испытаний регистрировались значения напряжений в контрольных точках в нагруженном и ненагруженном состояниях вагона.

Таблица 3 – Средства измерений

Наименование вида испытаний или определяемой характеристики ТСЖТ	Наименование, марка и номер (заводской или инвентарный) средства измерений
Обеспечение прочности вагонных конструкций при квазистатических нагрузениях	Усилитель измерительный MGCplus_RU Зав. №801063961
	Линейка измерительная металлическая диапазон измерений (0-500) мм Зав. №01
	Тензорезисторы ТКФО1-10-120(12) сер. №061
	Устройства тензометрические весоизмерительные электронные модификация ТВЭУ-5Г Зав. №14-38941
Определение массы	Весы вагонные ВС-100В Зав. №10944
Условия работы испытат. оборудования и средств измерений. Атмосферное давление и температура окружающего воздуха	Барометр-анероид БАММ-1 Зав. №338
	Термометр технический жидкостный ТТЖ-М Зав. №00350

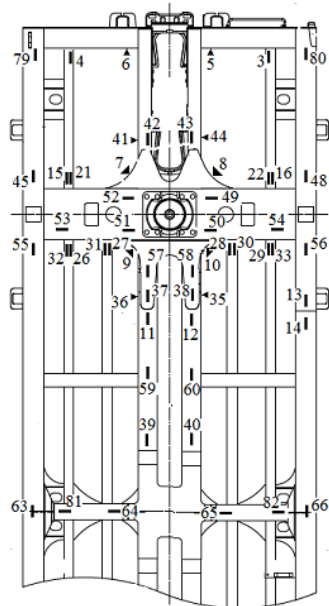


Рис. 2 – Схема расположения тензорезисторов на раме вагона

Создание вертикальной нагрузки на вагон при испытаниях осуществлялось двумя гружеными 20-ти футовыми имитаторами контейнеров массой 72 т. Таким образом, вес брутто вагона составил 93,5 т.



Рис. 3 – Схема расположения тензорезисторов на вагоне при испытании бокового борта

После испытаний на вертикальную нагрузку были выполнены нагрузки вагона ремонтными нагрузками:

- вертикальная нагрузка от веса брутто при подъеме груженого вагона за концы шкворневой балки с одного конца вагона за предусмотренные для подъема места (имитация полной подъемки кузова);
- вертикальная нагрузка от веса брутто при подъеме груженого вагона за шкворневую балку с одной стороны с одного конца вагона за предусмотренное для подъема место (имитация смены элементов рессорного комплекта или коробки бокового скользуса тележки);
- вертикальная нагрузка от веса тары при подъеме порожнего вагона за предусмотренные для подъема места шкворневых балок, расположенные по диагонали.

Испытания на ремонтные нагрузки выполнялись с использованием стационарных домкратов.

Для испытаний на продольные растягивающие и сжимающие нагрузки вагон устанавливался в стенд растяжения-сжатия и производилось нагружение продольными статическими нагрузками:

- продольная статическая нагрузка, приложенная через элемент автосцепного устройства – 1,0 МН и 2,0 МН (растяжение);
- продольная статическая нагрузка, приложенная через элементы автосцепного устройства – 1,0 МН и 2,5 МН (сжатие).

Для испытаний боковых бортов в вагон было установлено распорное устройство. Нагрузка прикладывалась к противоположащим тензометрируемым секциям бортов на уровне верхней обвязки, как показано на рис. 4.

Величины распорных нагрузок на секции бортов, которые были определены согласно [15], для I режима составили 12,74 кН, для III режима – 19,72 кН.

За время испытаний выполнено 3 цикла нагружения-разгружения вагона.

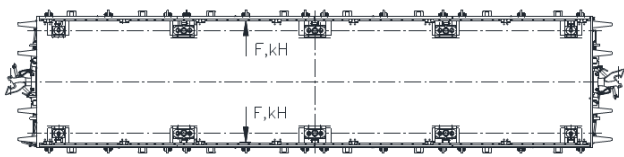


Рис. 4 – Схема приложения распорной нагрузки к боковым бортам вагона

Полученные результаты были обработаны согласно [15] с использованием специального программного обеспечения, входящего в состав измерительного усилителя MGCplus.

Измеряемые деформации в местах установки датчиков пересчитывались в напряжения.

Результаты статических прочностных испытаний вагона от действия вертикальной нагрузки, боковой силы, нагрузки от разности высот автосцепок, боковых сил взаимодействия между вагонами в кривых, продольных растягивающих и сжимающих нагрузок при I и III расчётных режимах представлены на рис. 5–8. На рисунках: 1 – продольная балка; 2 – консольная балка; 3 – шкворневая балка; 4 – хребтовая балка; 5 – боковая балка; 6 – промежуточная балка.

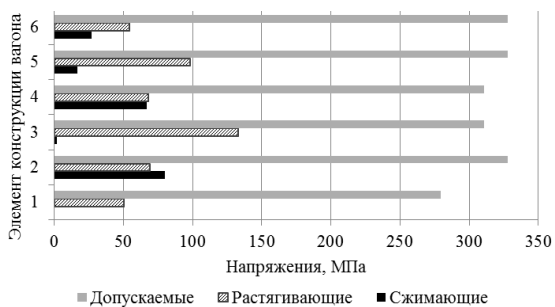


Рис. 5 – Максимальные напряжения в элементах вагона по I режиму с учетом сжимающей нагрузки

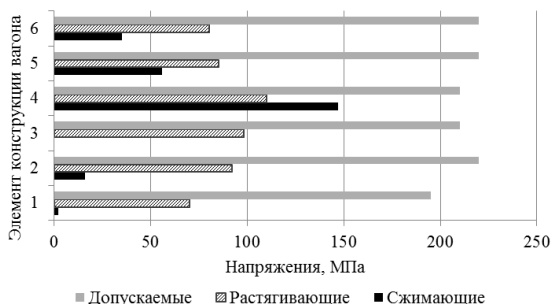


Рис. 6 – Максимальные напряжения в элементах вагона по III режиму с учетом сжимающей нагрузки

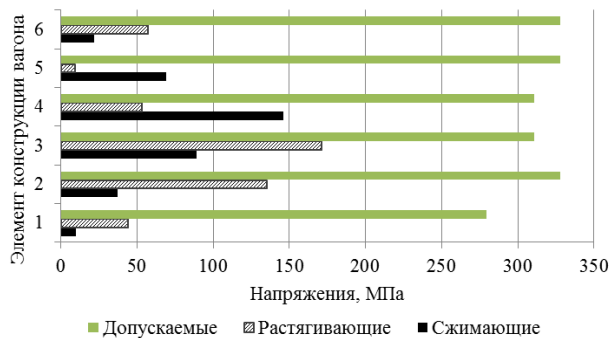


Рис. 7 – Величины максимальных суммарных напряжений в элементах вагона по I режиму с учетом растягивающей нагрузки

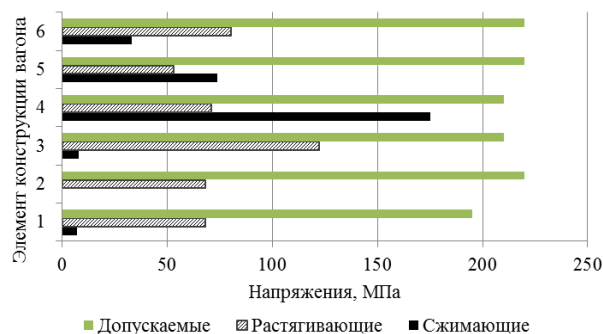


Рис. 8 – Величины максимальных суммарных напряжений в элементах вагона по III режиму с учетом растягивающей нагрузки

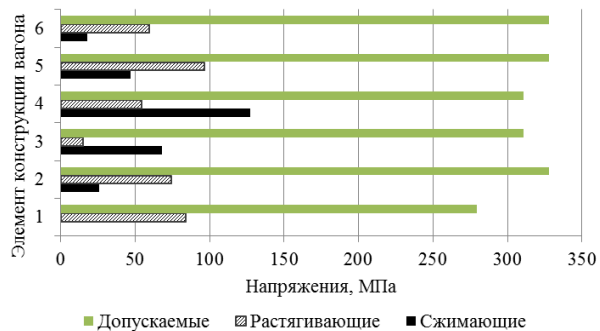


Рис. 9 – Величины максимальных суммарных напряжений в элементах вагона от подъема груженого вагона с одной стороны шкворневой балки с одного конца вагона

Величины максимальных напряжений в элементах конструкции боковых бортов при распорных нагрузках занесены в табл. 4.

Из приведенных результатов испытаний видно, что максимальные напряжения в конструкции вагона при квазистатических нагружениях не превышают допускаемые.

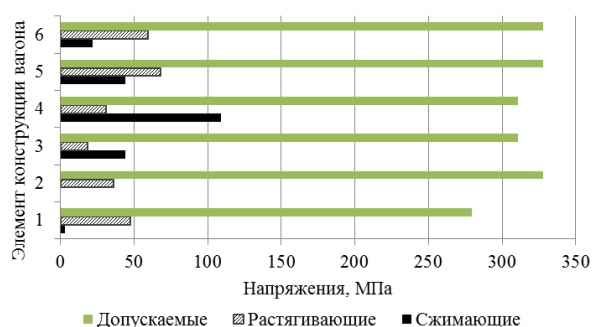


Рис. 10 – Величины максимальных суммарных напряжений в элементах вагона от подъема груженого вагона по концам шкворневой балки с одного конца вагона

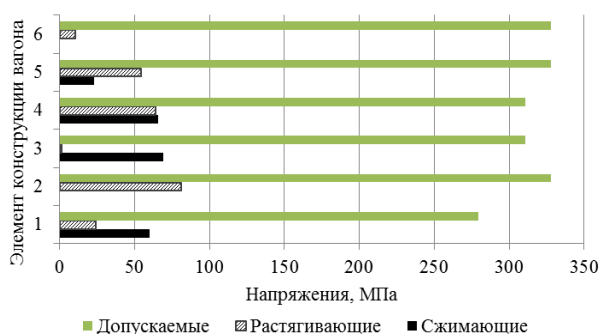


Рис. 11 – Величины максимальных суммарных напряжений в элементах вагона от подъема порожнего вагона за концы шкворневых балок по диагонали вагона

Таблица 4 – Максимальные напряжения в элементах боковых бортов вагона от распора

Напряжение от распора боковых бортов, МПа		Допускаемое напряжение, МПа	
I режим	III режим	I режим	III режим
113,4	175,2	279,3	195

Заключение. Таким образом, на основании проведенного анализа результатов испытаний вагона-платформы универсальной, модель 13-9990-01 на статическую прочность при квазистатических нагружениях можно сделать следующие выводы:

- 1) напряжения в несущих элементах конструкции вагона при квазистатических нагружениях соответствуют требованиям [15], КД и ТЗ;
- 2) после проведения статических испытаний при визуальном осмотре повреждений элементов конструкции вагона не обнаружено.

Испытания на прочность при соударении

Данный вид испытаний проводился с целью экспериментальной проверки прочности и устойчивости конструкции вагона при заданных испытательных режимах соударения на соответствие требованиям [15], КД и ТЗ. Основными задачами испытаний были исследование и оценка напряженного состояния конструкции вагона при действии нормативных ударных нагрузок согласно [15].

Испытания на прочность при соударении проводились на территории ОАО «Новозыбковский машиностроительный завод» испытательным центром продукции вагоностроения ООО «ИЦПС» с 08.08.15 по 14.08.15.

Испытательное оборудование и средства измерения, применяемые при проведении испытаний, приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5 – Испытательное оборудование

Наименование вида испытаний и (или) определяемой характеристики (параметра) ТСЖТ	Наименование, марка и номер (заводской или инвентарный) испытательного оборудования
Обеспечение прочности вагонных конструкций при соударениях	Полувагон модели 12-132 массой брутто 94 т Зав. №1322002 Тензометрическая автосцепка СА-3 Инв. №24

Таблица 6 – Средства измерений

Наименование вида испытаний или определяемой характеристики ТСЖТ	Наименование, марка и номер (заводской или инвентарный) средства измерений
Обеспечение прочности вагонных конструкций при соударениях	Усилитель измерительный MGCplus_RU Зав. Зав. №801063961
	Микропроцессорная многоканальная тензо-метрическая система ММТС-64.01 Зав. №4
	Тензорезисторы ТКФО1-10-120(12) сер. №061
	Секундомер механический СОПр Зав. №5609
Определение массы	Весы вагонные ВС-100В Зав. №10944
Условия работы испытат. оборудования и средств измерений.	Барометр-анероид БАММ-1 Зав. №338
	Термометр технический жидкостный ТТЖ-М Зав. №00350

Испытания на соударение проводились на прямом участке железнодорожного пути с применением локомотива согласно схемам, приведенным на рис. 12–14.

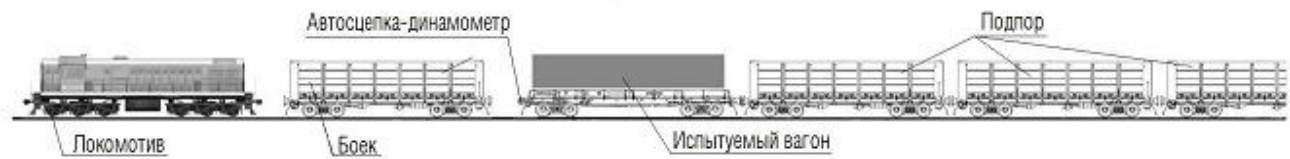


Рис. 12 – Схема расположения вагонов при испытаниях на соударение (вагон в подпоре)



Рис. 13 – Схема расположения вагонов при испытаниях на соударение (свободностоящий вагон)



Рис. 14 – Схема расположения вагонов при испытаниях на соударение (соударения порожним вагоном в подпор, выполняются без тензометрирования)

Величины сил соударения вагонов определялись по показаниям тензометрической автосцепки.

Скорость соударений вычислялась по времени прохождения вагоном-бойком и порожним испытуемым вагоном контрольной базы.

До начала проведения испытаний была произведена наклейка тензорезисторов в исследуемых точках вагона в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

Испытуемый вагон был загружен двумя грузными 20-ти футовыми имитаторами контейнеров массой 72 т. Таким образом, вес брутто вагона составил 93,5 т.

Испытания на прочность при соударении проводились путем соударения вагона-бойка в испытуемый вагон, стоящий в подпоре (рис. 12), свободностоящий (рис. 13), и порожним испытуемым вагоном в подпор (рис. 14).

Подпор был сформирован из 4 грузных вагонов различных моделей общей массой 320 т.

В процессе испытаний фиксировались: сила соударения вагонов, скорость набегания вагона-бойка или испытуемого вагона, а также динамические напряжения в исследуемых точках конструкции вагона.

При испытаниях на соударение после каждого удара производился визуальный осмотр вагона с целью обнаружения повреждений конструкции, включая элементы крепления тормозного оборудования, бортов вагона, а также устройств крепления груза в вагоне.

Соударения проводились со скоростями от 8,05 км/ч до скорости, обеспечивающей силу удара 3,3 МН.

Анализ результатов испытаний. В процессе проведения испытаний было произведено 33 соударения вагонов. Режимы соударений представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7 – Режимы соударений (грузный вагон)

№ режима	Диапазон сил ударов, МН	Количество соударений	Промежуточный осмотр
Вагон, стоящий в подпоре			
1	от 1,0 до 1,5	3	Видимых повреждений не обнаружено
2	от 1,0 до 2,0	7	
3	от 2,0 до 2,5	7	
4	от 2,5 до 3,0	7	
5	от 3,0 до 3,5	3	
Свободностоящий вагон			
6	от 3,0 до 3,5	3	Видимых повреждений не обнаружено

Таблица 8 – Режимы соударений (порожний вагон)

№ режима	Диапазон сил ударов, МН	Количество соударений	Промежуточный осмотр
Вагоном в подпор			
7	до 15,0	3	Видимых повреждений не обнаружено

Зависимость силы соударения от скорости набегания вагона-бойка представлена на рис. 15.

На рис. 16 приведен пример осциллограммы динамических напряжений, соответствующих силе соударения 3,5 МН, для одной из наиболее нагруженных исследуемых точек конструкции вагона.

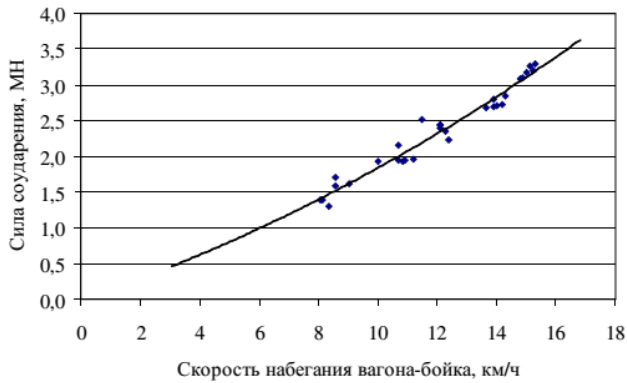


Рис. 15 – Зависимость силы соударения от скорости набегания вагона-бойка

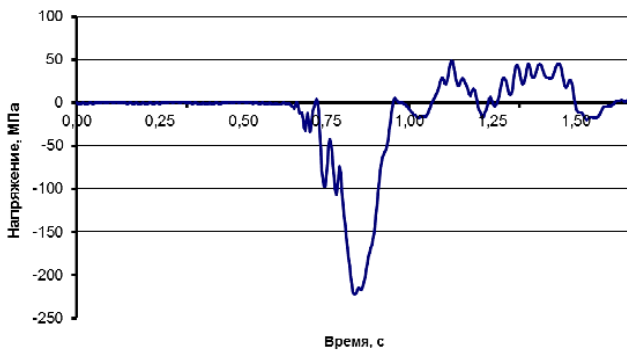


Рис. 16 – Осциллограмма динамических напряжений

Максимальные суммарные напряжения в конструкции вагона при соударении и действии вертикальной статической нагрузки (напряжение от веса груза и тары вагона) представлены на рис. 17. Они не превышают допускаемые.

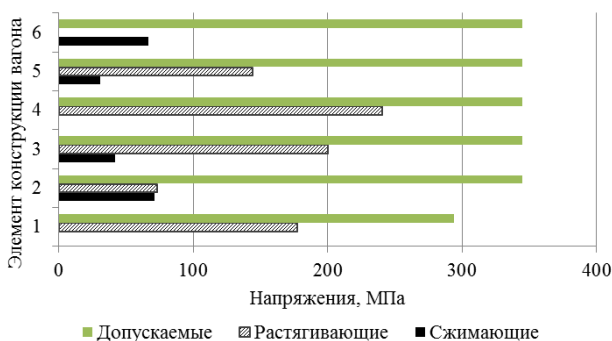


Рис. 17 – Величины максимальных напряжений в элементах вагона при соударении и действии вертикальной статической нагрузки

Заключение. На основании проведенного анализа результатов испытаний на прочность при

соударении вагона-платформы универсальной можно сделать следующие выводы:

- 1) напряжения в несущих элементах конструкции вагона при соударениях соответствуют требованиям [15], КД и ТЗ;
- 2) после проведения соударений при визуальном осмотре повреждений металлоконструкции вагона (трещины сварных швов или основного металла, нарушение геометрии несущих элементов), элементов крепления тормозного оборудования, бортов вагона и устройств для крепления груза в вагоне не обнаружено.

Расчетно-экспериментальная оценка сопротивления усталости конструкции

Целью расчетно-экспериментальной оценки сопротивления усталости конструкции вагона являлась проверка соответствия запаса сопротивления усталости конструкции требованиям [15], ТЗ и КД.

Основными задачами были исследование и оценка напряженного состояния конструкции при действии динамических нагрузок с последующей оценкой запаса сопротивления усталости.

Испытания проводились на ОАО «Новозыбковский машиностроительный завод» испытательным центром ООО «ИЦПС» в период с 08.08.15 по 14.08.15 в светлое время суток на прямом участке железнодорожного пути.

В ходе испытаний использовались средства измерений, занесенные в табл. 9.

Таблица 9 – Средства измерений

Наименование определяемой характеристики ТСЖТ	Наименование, марка и номер (заводской или инвентарный) средства измерений
Обеспечение прочности вагонных конструкций при соударениях	Усилитель измерительный MGCplus_RU Зав. №801063961
	Тензорезисторы ТКФО 1-10-120(12) сер. №061
	Рулетка измерительная металлическая типа P10УЗК Зав. №03
Определение массы	Весы вагонные ВС-100В Зав. №10944
Условия работы испытат. оборудования и средств измерений.	Барометр-анероид БАММ-1 Зав. №338
	Термометр технический жидкостный ТТЖ-М Зав. №00350

Наклейка тензорезисторов в исследуемых точках конструкции вагона была произведена в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

Для определения коэффициента вертикальной динамики на надрессорной балке тележки, расположенной с тензометрируемой стороны вагона,

произведена наклейка и соединение тензорезисторов по схеме, представленной на рис. 18.

При испытаниях вагон был загружен двумя грузеными 20-ти футовыми имитаторами контейнеров массой 72 т. Вес брутто вагона составил 93,5 т.

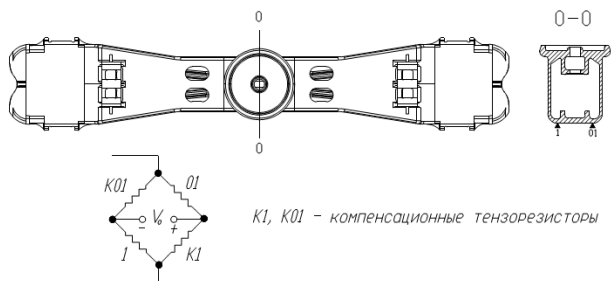


Рис. 18 – Схема наклейки и соединения тензорезисторов на надрессорной балке тележки

Тарировка измерительных схем надрессорной балки тележки была выполнена путем поднятия рамы вагона за штатные места с помощью электрических домкратов.

Сброс с клиньев производился путем наката вагона на клинья, установленные под каждое колесо. Эскиз клина приведен на рис. 19.

В процессе испытаний фиксировались динамические напряжения в исследуемых точках конструкции вагона и коэффициент вертикальной динамики.

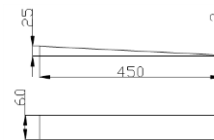


Рис. 19 – Эскиз клина

При проведении сброса с клиньев производился визуальный осмотр вагона с целью обнаружения повреждений конструкции.

В процессе проведения испытаний произведено 8 сбросов вагона с клиньев.

В результате испытаний по сбрасыванию вагона с клиньев при коэффициенте вертикальной динамики 0,35 были получены динамические напряжения в исследуемых точках конструкции вагона и частота процесса изменения динамических напряжений, которые вместе с динамическими напряжениями, полученными в ходе испытаний на соударение, и стали исходными данными для расчета, рис. 20, 21.

Расчет выполнялся для назначенного срока службы 32 года. Все элементы конструкции вагона изготовлены из стали марки 09Г2С ГОСТ19281.

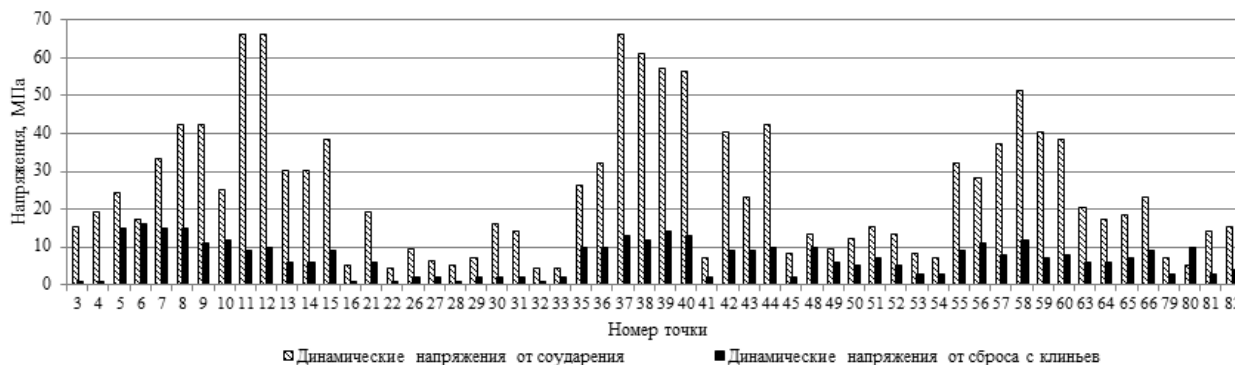


Рис. 20 – Динамические напряжения в исследуемых точках конструкции вагона

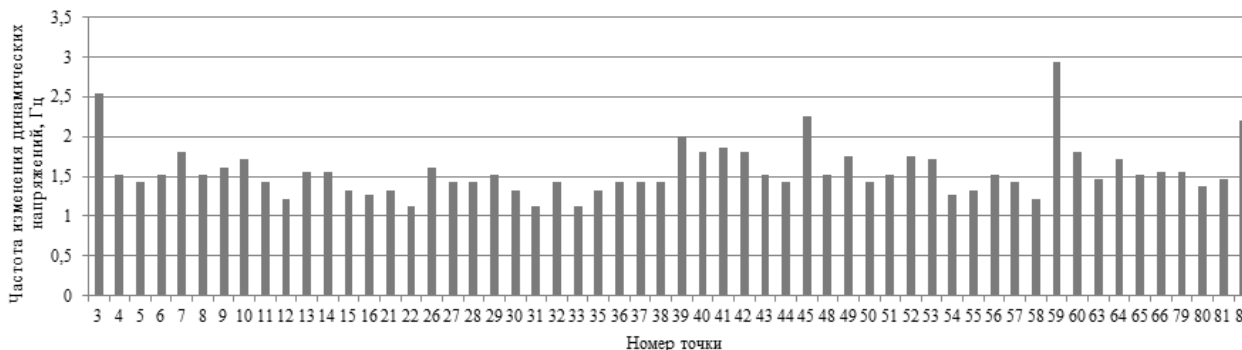


Рис. 21 – Величины частот изменения динамических напряжений в исследуемых точках

Методика расчета. Методика расчета включает в себя:

- расчет величины эквивалентной амплитуды напряжений, приведенной к базовому циклу нагружений;
- расчет предела выносливости материала конструкции;
- определение коэффициента запаса сопротивления усталости.

Расчет величины эквивалентной амплитуды напряжений

$$\sigma_{a,э} = \sqrt[3]{1/N_0 \cdot (D_{\text{верт.дин}} + D_{\text{продол.дин}})}, \quad (1)$$

где $D_{\text{верт.дин}}$ – повреждающее воздействие от вертикальной динамики;

$D_{\text{продол.дин}}$ – повреждающее воздействие от продольных нагрузок.

Расчет повреждающего воздействия от вертикальной динамики $D_{\text{верт.дин}}$

$$D_{\text{верт.дин}} = N_{c,э} \sum_{j=1}^3 K_j \sum_{i=1}^{K_{vj}} P_{vji} \sum_{n=1}^{K_{cji}} \sigma_{ajin}^m P_{cjin}, \quad (2)$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах ($m=4$);

$N_{c,э}$ – нормативное количество циклов динамических напряжений от вертикальной динамики рамы при движении вагона;

N_0 – базовое число циклов динамических напряжений;

j – счетчик характерных режимов движения;

K_j – доля протяженности характерных участков пути: прямых ($j=1$), кривых ($j=2$) и стрелочных переводов ($j=3$) в общей длине железнодорожных линий. Принимались: $K_1=0,75$; $K_2=0,23$; $K_3=0,02$;

K_{vj} – принятое число диапазонов амплитуд для j -го характерного участка

i – счетчик диапазонов скоростей;

P_{vji} – доля времени, приходящаяся на эксплуатацию в i -ом диапазоне скоростей (п. 3.2.5 норм [15]);

K_{cji} – принятое число диапазонов амплитуд, для j -го характерного участка пути в i -ом диапазоне скоростей;

n – счетчик диапазонов амплитуд напряжений;

σ_{ajin} – средняя амплитуда напряжений в n -ом диапазоне (для j -ого характерного участка пути в i -ом диапазоне скоростей), МПа;

P_{cjin} – частота появления амплитуд с уровнем σ_{ajin} .

Функция распределения частот повторения коэффициентов вертикальной динамики принимается

равной нормативной функции распределения скоростей движения вагона согласно п. 3.2.5 [15].

Нормативное количество циклов динамических напряжений от вертикальной динамики кузова (рамы) при движении вагона за расчетный срок службы согласно [15] определялось по формуле

$$N_{c,э} = f \cdot T_p \cdot (1 - k_{II}), \quad (3)$$

где f – эффективная частота процесса изменения динамических напряжений в контрольной точке, Гц;

T_p – суммарное время действия динамических напряжений при движении за расчетный срок службы вагона, с;

k_{II} – коэффициент порожнего пробега согласно [14];

$$T_p = B \cdot T_k, \quad (4)$$

где B – коэффициент перевода календарного расчетного срока службы в годах во время непрерывного движения в секундах.

$$B = 365 \cdot \frac{10^3 \cdot \bar{L}_c}{V}, \quad (5)$$

где \bar{L}_c – среднесуточный пробег груженого вагона, км/сутки;

V – средняя техническая скорость движения, м/с;

T_k – назначенный срок службы вагона, лет.

Среднесуточный пробег груженого вагона \bar{L}_c в соответствии [16] составляет 300 км/сутки.

В соответствии с [15] средняя техническая скорость движения вагона составляет 22,4 м/с.

Величины амплитуд динамических напряжений для средних вероятных значений коэффициентов динамики при скоростях \bar{V}_k вычислялись по формуле

$$\sigma_{a,i} = \frac{\sigma_{эксн} \cdot k_{di}}{k_d}, \quad (6)$$

где $\sigma_{a,i}$ – амплитуда динамического напряжения для i -ого диапазона скоростей, МПа;

$\sigma_{эксн}$ – амплитуда экспериментально полученного несимметричного цикла, МПа;

k_{di} – среднее вероятное значение коэффициента вертикальной динамики для i -ого диапазона скоростей;

k_d – коэффициент вертикальной динамики.

Расчет повреждающего воздействия от продольных нагрузок

$$D_{\text{продол.дин}} = N_{c,э} \sum_{o=1}^{K_{yo}} ((\sigma_{a,i})^m P_{yo}), \quad (7)$$

Обобщенные распределения ударных продольных сил для проверки циклической долговечности несущих конструкций вагона представлены в табл. 10.

Нормативное количество циклов динамических напряжений от продольных сил, действующих на вагон через автосцепку, согласно [14] составляет $N_{c, yd} = 20200 \cdot T_k$.

Величины амплитуд динамических напряжений для средних значений диапазонов усилий вычислялись по формуле

$$\sigma_{a,i} = \frac{\sigma_{эксп} \cdot F_i}{3,5}, \quad (8)$$

где $\sigma_{a,i}$ – амплитуда динамического напряжения для i -ого диапазона, МПа;

$\sigma_{эксп}$ – амплитуда экспериментально полученного несимметричного цикла от соударений при силе соударения 3,5 МН, МПа;

F_i – среднее значение продольного усилия для i -ого диапазона, МН.

Таблица 10 – Обобщенные распределения ударных продольных сил

Диапазон усилий, МН	Частота повторения усилий в диапазон P_{yd}	Среднее значение диапазона F_i , МН
0,1 - 0,4	0,1258	0,25
0,4 - 0,8	0,2852	0,60
0,8 - 1,2	0,2802	1,00
1,2 - 1,6	0,1832	1,40
1,6 - 2,0	0,0772	1,80
2,0 - 2,4	0,0359	2,20
2,4 - 2,8	0,0208	2,60
2,8 - 3,2	0,0023	3,00
3,2 - 3,6	0,0003	3,40
3,6 - 3,8	0,0001	3,70

Таким образом, для контрольных точек вагона были определены величины амплитуд динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенные к базовому числу циклов N_0 , эквивалентные по повреждающему воздействию реальному режиму эксплуатационных напряжений за расчетный срок службы, рис. 22.

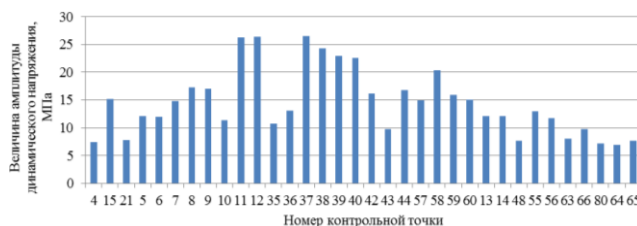


Рис. 22 – Величины амплитуд динамического напряжения для некоторых контрольных точек

Расчет предела выносливости материала конструкции. Расчетное значение $\sigma_{a,N}$, МПа определялось по формуле

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} \cdot (1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}}), \quad (9)$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 10^7$, МПа;

$\bar{\sigma}_{a,N}$ – медианное значение предела выносливости контрольной зоны, МПа;

z_p – квантиль распределения $\sigma_{a,N}$, соответствующий односторонней вероятности 95%, $z_p = 1,645$;

$v_{\sigma_{a,N}}$ – коэффициент вариации предела выносливости материала, $v_{\sigma_{a,N}} = 0,07$ (согласно [15]).

Значение $\bar{\sigma}_{a,N}$ определялось по формуле

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{k_{\sigma}}, \quad (10)$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее (медианное) значение предела выносливости гладкого стандартного образца при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 10^7$ МПа, для несущих элементов конструкции вагона составляет:

- хребтовая, шкворневая, боковая, промежуточная, консольная балки – 220 МПа;
- продольные балки – 195 МПа.

$(\bar{k}_{\sigma})_k$ – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца (определялось по [15]).

Предел выносливости материала $\sigma_{a,N}$ для продольной балки составил 38,34 МПа, для консольной, шкворневой, хребтовой, боковой и промежуточной балок – 43,26 МПа.

Определение коэффициента запаса сопротивления усталости. Коэффициент запаса сопротивления усталости определялся согласно [15] по формуле

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,э}} \geq [n], \quad (11)$$

где $[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости, $[n] = 1,5$.

Во всех исследованных контрольных точках конструкции вагона коэффициент запаса сопротивления усталости превышает установленный нормами [15], рис. 23.

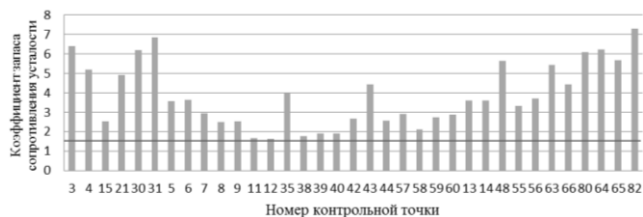


Рис. 23 – Значения коэффициентов запаса сопротивления усталости

Заключение. Таким образом, на основании расчетно-экспериментальной оценки сопротивления усталости вагона-платформы универсальной, можно сделать вывод о том, что показатели сопротивления усталости конструкции вагона соответствуют требованиям [15], КД и ТЗ.

Выводы

Таким образом, результаты всех трех рассмотренных в статье видов испытаний опытного образца вагона-платформы универсальной подтвердили его соответствие требованиям нормативных документов.

Полученные результаты служат для последующего сравнения с данными численных исследований методом конечных элементов.

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, April 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, 02-04 April 2012. – P. 579-586.
- 3 **Liana P., Stringfellow R., Mayville R.** 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, April 2013. – 51 p. – doi:10.1115/JRC2013-2546.
- 4 **Bitiutskiy, A. A.** Freight railcars testing methods and diagnostics improvement: a collection of scientific articles / ed. by **A.A. Bitiutskiy** / *Railcar-building Engineering Center*. – St. Petersburg: Publishing house “OM-Press”, 2007. – Edition 2. – 120 p.
- 5 **Tyrell, D., Severson K., Perlman A.B., Brickle B., VanIngen-Dunn C.** Rail Passenger Equipment Crashworthiness Testing Requirements and Implementation / **D. Tyrell, K. Severson, A. B. Perlman, B. Brickle, C. VanIngen-Dunn** // *Rail Transportation, American Society of Mechanical Engineers*. – RTD. – 2000. – Vol. 19. – 10 p.
- 6 **Liana, P.** Structural Crashworthiness Standards Comparison: Grade Crossing Collision Scenarios / **P. Liana** // *ASME 2009 Rail Transportation Division Fall*

Conference, Paper No. RTDF2009-18030, October 2009. – 10 p. – doi:10.1115/RTDF2009-18030.

- 7 **Пат. на корисну модель UA 97543 U МПК: B61D 3/00, B61F 1/08.** Багатоцільовий залізничний вагон-платформа / **С. О. Шпак, А. Д. Чепурний, О. В. Литвиненко** [та інш.]; заявитель и патентообладатель ООО УК "РэйлТрансХолдинг", заявл. 01.09.2014; опубл. 25.03.2015. Бюл. № 6.
- 8 **Пат. на полезную модель RU 149429 U1 Российская Федерация МПК B61D3/08, B61F1/08.** Многоцелевой железнодорожный вагон-платформа / **С. А. Шпак, А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко** [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО УК "РэйлТрансХолдинг", заявл. 25.06.2014; опубл. 10.01.2015.
- 9 **9990.00.000-01** Вагон-платформа универсальная. Модель 13-9990-01. *Комплект конструкторской документации*: НИЦ «УК «РТХ», 2014 г.
- 10 Техническое задание на разработку и постановку на производство вагонов-платформ универсальных 13-9990, 13-9990-01, 13-9990-02: ООО «УК «РТХ», 2015 г.
- 11 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство: ГОСТ Р15.201-2000. Введ. 2001-01-01. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ. – 2001 г. – 12 с.
- 12 Единая система конструкторской документации: ГОСТ 2.106-96. Введ. 1997-07-01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 1997. – 32 с.
- 13 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок заказа, разработки, постановки на производство, проведение испытаний и утилизации железнодорожной техники: ОСТ 32.181-2001. Введ. 2001-01-01 – МПС России. – 2001. – 63 с.
- 14 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества: РД 24.050.37.95. – М.: ГосНИИВ. – 1995 г. – 102 с.
- 15 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИЖТ-ГосНИИВ. – 1996. – 319 с.
- 16 **9990.12.000-01 PP** Вагон-платформа модели 13-9990-01. Рама. Расчет на прочность: НИЦ «УК «РТХ». – 2015 г.

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, April 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*, 02-04 April 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, April 2013, 51 p., doi:10.1115/JRC2013-2546.

- 4 **Bitiutskiy, A. A.** Freight railcars testing methods and diagnostics improvement: a collection of scientific articles. *Railcar-building Engineering Center. – St. Petersburg: Publishing house "OM-Press", 2007, Edition 2, 120 p.*
- 5 **Tyrell, D., Severson, K., Perlman, A. B., Brickle, B., VanIngen-Dunn, C.** Rail Passenger Equipment Crashworthiness Testing Requirements and Implementation. *Rail Transportation, American Society of Mechanical Engineers, RTD, 2000, 19, 10 p.*
- 6 **Liana, P.** Structural Crashworthiness Standards Comparison: Grade Crossing Collision Scenarios. *ASME 2009 Rail Transportation Division Fall Conference, Paper No. RTDF2009-18030, October 2009, 10 p., doi:10.1115/RTDF2009-18030.*
- 7 **Pat. na korisnu model UA 97543 U MPK: B61D 3/00, B61F 1/08.** Bagatocilovij zaliznichnij vagon-platforma [Multi-platform railway car] / **S. O. Shpak, A. D. Chepurnoy, O. V. Litvinenko** [ta insh.]; zayavitel i patentoobladatel OOO UK "RailTransHolding", zayavl. 01.09.2014; opubl. 25.03.2015. Byul. № 6.
- 8 **Pat. na poleznuyu model RU 149429 U1 Rossijskaya Federaciya MPK B61D3/08, B61F1/08.** Mnogocelovoj zheleznodorozhnyj vagon-platforma [Multipurpose railway wagons] / **S. A. Shpak, A. D. Chepurnoj, A. V. Litvinenko** [i dr.]; zayavitel i patentoobladatel OOO UK "RailTransHolding", zayavl. 25.06.2014; opubl. 10.01.2015.
- 9 **9990.00.000-01** Vagon-platforma universalnaya [Wagon-platform universal]. Model 13-9990-01. *Komplekt konstruktorskoj dokumentacii [Complete design documentation]:* NIC «UK «RTH», 2014.
- 10 Tehnicheskoe zadanie na razrabotku i postanovku na proizvodstvo vagonov-platform universalnyx 13-9990, 13-9990-01, 13-9990-02 [The terms of reference for the development and implementation in production of flat cars universal 13-9990, 13-9990-01, 13-9990-02]: OOO «UK «RTH», 2015.
- 11 Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo. produkcija proizvodstvenno-tehnicheskogo naznacheniya. poryadok razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo [System development and launch of new products. Products for industrial purposes. The procedure for the development and launch of new products]: GOST R15.201-2000. Vved. 2001-01-01. – Moscow: GOSSTANDART ROSSII, 2001, 12 p.
- 12 Edinaya sistema konstruktorskoj dokumentacii: GOST 2.106-96 [12 Unified system for design documentation: GOST 2.106-96]. Vved. 1997-07-01. – Minsk: *Mezhgos. sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii [Minsk: the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification]*, 1997, 32 p.
- 13 Sistema razrabotki i postanovki produkcii na proizvodstvo. Poryadok zakaza, razrabotki, postanovki na proizvodstvo, provedenie ispytanij i utilizacii zheleznodorozhnoj texniki: OST 32.181-2001 [System development and launch of new products. Ordering, development, putting into production, testing and utilization of railway equipment: OST 32.181-2001]. Vved 2001-01-01, MPS Rossii, 2001, 63 p.
- 14 Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytanij na prochnost i hodovye kachestva: RD 24.050.37.95 [Freight and passenger. Test methods for durability and driving performance: RD 24.050.37.95], Moscow: GosNIIV, 1995, 102 p.
- 15 Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyx dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) [The rules for the calculation and design of wagons MPS 1520 mm gauge railways (non-self)], Moscow: VNIIZhT-GosNIIV, 1996, 319 p.
- 16 **9990.12.000-01 RR** Vagon-platforma modeli 13-9990-01. Rama. Raschet na prochnost [Wagon-platform model 13-9990-01. Frame. Strength analysis]: NIC «UK «RTH», 2015

Сведения об авторах (About authors)

Сенько Вениамин Иванович – доктор технических наук, проф., Ректор Учреждения образования "Белорусский Государственный Университет Транспорта", г. Гомель, Республика Беларусь.

Sen'ko Veniamin – Doctor of Technical Sciences, prof., Rector of the educational establishment "Belarusian State University of Transport", Gomel, Belarus

Макеев Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, заместитель начальника испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО», г. Гомель, Республика Беларусь.

Makeev Sergey – Ph.D., Deputy Head of the Test Center of Railway Transport "SECO", Gomel, Belarus.

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

Chepurnoj Anatoly – Doctor of Technical Sciences, prof., Director of Scientific and Technological Development "UK "RailTransHolding", Moscow.

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

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

Литвиненко Александр Витальевич – доктор технических наук, директор ООО Научно-инженерный центр УК «РэйлТрансХолдинг», Мариуполь, Украина.

Litvinenko Oleksandr – Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), Director at the JSC "Science Engineering Center UK" RailTransHolding", Mariupol, Ukraine.

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

Graborov Roman – chief of technical calculations group of the JSC "Science Engineering Center UK" 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» тел.: (057) 707-69-01; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Tkachuk Mykola Mykolayovych – 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; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Чубань Марина Александровна – аспирант каф. Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина; e-mail: s803@tmm-sapr.org.

Chuban Maryna – postgraduate student at the Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: s803@tmm-sapr.org.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сенько, В. И. Испытания вагона-платформы универсальной / **В. И. Сенько, С. В. Макеев, А. Д. Чепурной, Р. И. Шейченко, А. В. Литвиненко, Р. В. Граборов, Н. А. Ткачук, М. А. Чубань** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 71-83. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.10.

Please cite this article as:

Sen'ko, V., Makeev, S., Chepurnoy, A., Sheychenko, R., Litvinenko, O., Graborov, R., Tkachuk, M., Chuban, M. Testing of the universal platform car. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 71-83, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.10.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сенько, В. І. Випробування вагона-платформи універсальної / **В. І. Сенько, С. В. Макеев, А. Д. Чепурний, Г. І. Шейченко, О. В. Литвиненко, Р. В. Граборов, М. А. Ткачук, М. О. Чубань** // *Вісник НТУ «ХПИ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 71-83. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.10.

АНОТАЦІЯ У статті описані три види випробувань (випробування на статичну міцність, на міцність при зіткненні, розрахунково-експериментальна оцінка опору втомі конструкції), включених в обсяг попередніх випробувань дослідного зразка вагона-платформи універсальної. За результатами випробувань встановлено, що напруження в несучих елементах конструкції вагона при квазістатичних навантаженнях і при співдарах, а також показники опору втомі конструкції вагона відповідають вимогам конструкторської документації, технічного завдання та нормативних документів.

Ключові слова: вагон-платформа універсальна, випробування, статична міцність, міцність при зіткненні, опір втомі конструкції.

Поступила (received) 01.02.2016

УДК 539.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.11

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ТЕЛ

*Н. Б. СКРИПЧЕНКО**, *Н. Н. ТКАЧУК*, *А. А. АТРОШЕНКО*

Кафедра теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА
**e-mail: negrobova@gmail.com*

АННОТАЦИЯ В работе проведен и описан ряд экспериментальных исследований с применением чувствительных к давлению пленок для обоснования применимости разработанного варианта метода граничных интегральных уравнений. Сравнение распределений контактных давлений, полученных экспериментально и при численном решении методом граничных элементов, подтвердило полное качественное и удовлетворительное количественное соответствие расчетных и экспериментальных исследований. Погрешность в определении площадок контакта и максимальных контактных давлений не превысила 10 %.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, метод граничных элементов, напряженно-деформированное состояние, шероховатость, гидрообъемная передача, чувствительные к давлению пленки.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF CONTACT FOR BODIES OF COMPLEX SHAPE

*N. SKRIPCHENKO**, *M. TKACHUK*, *O. ATROSHENKO*

Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT This work delivers results of experimental studies performed in order to justify the validity of the developed version of the boundary element method that accounts for the compliance of the intermediate layer. Experimental investigation of contact interaction of complex shaped bodies in the presence of local compliance of conjugate surfaces has been conducted on a prototype of a hydrovolumetric drive, for which the contact area and the magnitude of the contact pressure were determined by means of pressure sensitive films. In order to capture the entire domain where contact pressure is applied and their maximal values and therefor for the sake of measurement error reduction each test is made using two types of contact films: MS and HS. It was demonstrated that the increased compliance of the intermediate layer results in contact over a larger area and leveling of the maximal contact pressure pike. With the increase of pressing force both the size of the contact zone and the values of contact pressure grow. Comparison of contact pressure distributions obtained experimentally and from numerical boundary element method solution confirmed full qualitative and quantitative correspondence of the experimental and numerical results. The discrepancy in contact area and maximal contact pressure was less then 10%. The results are summarised in a curve chart that contains correlation between the size of the contact area and the value of the maximal contact pressure for different local compliances of the contact layer.

Keywords: contact interaction, boundary element method, stress-stain state, roughness, hydrovolumetric drive, pressure sensitive films

Введение

В современном машиностроении контактное взаимодействие – один из основных способов передачи механического воздействия между деталями машин в процессе эксплуатации. При этом для передачи сложных видов движения, увеличения нагрузочной способности, а также уменьшения максимальных контактных давлений при проектировании новых изделий их форма усложняется. Это порождает проблему выбора рационального способа анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) контактирующих сложнопрофильных тел, поскольку для таких тел нельзя напрямую применить традиционные методики, основанные на теории Герца [1, 2]. Также характер распределения контактных давлений и величина их площадок чувствительны к учету дополнительных

факторов, таких как шероховатость, наличие прокладок, напылений и т.д.

Для анализа НДС при контактном взаимодействии с учетом этих факторов разрабатываются различные численные методы. Наиболее распространенные из них – метод конечных элементов (МКЭ) [3, 4] и метод граничных элементов (МГЭ) [5-8].

В работе [9] предложен вариант метода граничных элементов для решения контактных задач, позволяющий учитывать произвольную форму первоначального зазора между сопрягаемыми телами, что позволяет расширить область исследуемых задач на более широкий класс объектов. Также предложена модель учета локальной податливости промежуточного слоя между контактирующими телами, основанная на модели Винклера [10]. При помощи специализированного программно-

модельного обеспечения, разработанного при реализации предложенной математической модели, решен ряд прикладных задач.

Полученные численные результаты нуждаются в подтверждении данными экспериментальных исследований.

В данной работе проведен и описан ряд экспериментальных исследований для обоснования применимости разработанного варианта МГЭ с учетом наличия податливости промежуточного слоя между контактирующими телами.

Цель работы

Цель работы состоит в расчетно-экспериментальном исследовании контактного взаимодействия сложнопрофильных тел при наличии между ними упругого слоя и в обосновании на этой основе точности проведенного комплекса численных исследований, выполненных при помощи метода граничных элементов.

Изложение основного материала

В работе экспериментальное исследование контактного взаимодействия сложнопрофильных тел с учетом локальной податливости сопрягаемых поверхностей (обусловлена наличием либо шероховатости, либо прокладок, напылений, пленок и т.д.) проведено на опытных образцах элементов гидрообъемной передачи. В процессе экспериментальных исследований определялись величины контактных площадок и контактных давлений методом контактных отпечатков с применением чувствительных к давлению пленок. Эти пленки разработаны компанией Fuji [www.fujifilm.com] и позволяют измерять давления при статическом нагружении или их максимальные значения при динамическом. Принцип их работы состоит в том, что при приложении контактного усилия микрокапсулы в цветообразующем слое разрушаются, и их вещество взаимодействует с веществом цветопроявляющего слоя. Интенсивность полученного цвета зависит от величины приложенного усилия, т.к. на пленках имеются микрокапсулы различных размеров (от микронов до десятков микронов), разрушающиеся при различных давлениях. Общее строение и принцип действия чувствительных к контакту пленок показаны на рис. 1.

В качестве контактирующих тел использованы настоящий шаровой поршень, извлеченный из гидрообъемной передачи ГОП-900 [www.morozovkmdb.com], и блок из плексигласа, свойства материала которого позволяют при незначительных прижимающих усилиях отследить характерные изменения размеров контактных площадок и распределений контактных давлений. Промежуточный упругий слой моделировался с помощью резины, величина податливости которой

определена экспериментально ранее [11]. При этом во время проведения ряда экспериментов для варьирования локальной податливости между контактирующими телами использовалось различное количество слоев резины, а для соответствующих численных исследований – значения податливостей слоев складывались.

Для измерения контактных давлений необходимо первоначально выбрать тип пленки, исходя из ожидаемых значений измеряемых величин (см. табл. 1). Каждому типу пленок ставятся в соответствие зависимости интенсивности цвета в пределах от 0,1 до 1,6 от прикладываемого давления.

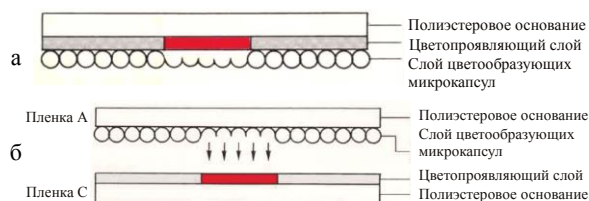


Рис. 1 – Строение и принцип действия одинарных (а) и составных (б) контактных пленок

Таблица 1 – Виды пленок Fuji и их параметры

Тип пленки		Диапазон измеряемых давлений, МПа
Составные	Ultra Super Low Pressure (LLW)	0.2-0.6
	Super Low Pressure (LLW)	0.5-2.5
	Low Pressure (LW)	2.5-10
	Medium Pressure (MW)	10-50
Одинарные	Medium Pressure (MS)	10-50
	High Pressure (HS)	50-130
	Super High Pressure (HHS)	130-300

Экспериментальная установка (рис. 2) обеспечивает прижатие шарового поршня к плоскости ответной детали. Блок из плексигласа фиксируется на специально собранном приспособлении из элементов комплекта универсальных сборочных приспособлений. Усилие прикладывается с помощью винтовой пары и передается через специальный вкладыш, исключая прокручивание поршня, а измеряется за счет наклеенных на винт тензодатчиков, подсоединенных к тензометрическому прибору ИСД-3, показания которого протарированы (с применением динамометра).

Как отмечено выше, разные типы контактных пленок имеют различные диапазоны измеряемых давлений, которые в большинстве случаев не пересекаются. Поэтому для захвата большей области распределения контактных давлений и их значений, а соответственно для снижения погрешности проводимого эксперимента в работе при каждом нагружении используются пары пленок типа MS и HS, диапазоны измеряемых давлений для которых



Рис. 2 – Общий вид экспериментальной установки для исследования контактного взаимодействия шарового поршня с беговой дорожкой радиальной ГОП

составляют 10-50 МПа и 50-130 МПа соответственно (см. табл. 1). Таким образом, проведение экспериментальных измерений осуществляется в следующей последовательности: устанавливается и фиксируется блок из плексигласа, моделирующий беговую дорожку радиальной ГОП-900, с которой находится в сопряжении в реальной конструкции шаровой поршень; в месте ожидаемого контакта размещаются пары контактных пленок, на которые нанесены метки для их последующего совмещения, и слой (или слои) резины; проводится установка поршня на плоскости и его закрепление, для исключения его проворачивания; приложение и снятие заданного усилия с помощью винтовой пары; извлечение контактных пленок и их оцифровка; проведение анализа полученных контактных отпечатков и определение влияния локальной податливости на характер распределения контактных давлений и величину контактных пятен.

Анализ результатов

В ходе эксперимента при варьировании величины промежуточного податливого слоя, а также прижимающего усилия получены разные пары контактных отпечатков и проведена их оцифровка (рис. 3). Видно, что контактные пятна, полученные на пленках меньшей чувствительности, хорошо отображают форму и границы пятен контакта, однако имеют белую область в центральной зоне. Это объясняется тем, что пленка в этой области «засвечена», т.к. там действуют контактные давления, превышающие верхний порог ее чувствительности. Для оценки контактных давлений в этой центральной зоне и их максимальных значений используются уже данные, полученные на пленках с более высоким диапазоном. Т.о., в ходе эксперимента обосновано применение двух типов пленки одновременно в едином пакете для оценки характера распределения контактных давлений, их максимальных значений и размеров пятен контакта. Это обстоятельство отличает методику исследований от традиционных (с применением одного типа пленки или нескольких, но устанавливаемых поочередно).

На полученных оцифрованных контактных пятнах видно, что с использованием большего количества слоев (увеличением податливости промежуточного слоя) размеры контактных пятен растут, а максимальные контактные давления уменьшаются, и пики в распределениях сглаживаются. С увеличением же прижимающего усилия наблюдается рост максимальных контактных давлений и увеличение площадки контакта.

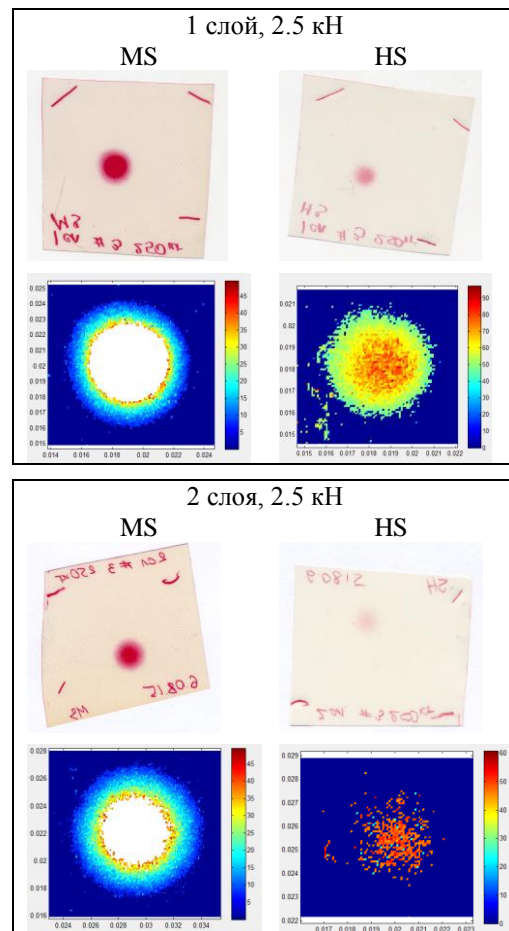


Рис. 3 – Контактные отпечатки на чувствительных пленках Fuji в сопряжении шарового поршня с беговой дорожкой и их оцифровка

Сравнение распределений контактных давлений, полученных, с одной стороны, экспериментально и, с другой стороны, при численном решении методом граничных элементов, показано на рис. 4. Полученные результаты свидетельствуют о полном качественном и удовлетворительном количественном совпадении расчетных и экспериментальных исследований. Погрешность в определении площадок контакта и максимальных контактных давлений не превышает 10 %.

В подтверждении этого можно привести диаграмму, отражающую зависимости значений максимальных контактных давлений от размера пятна контакта для разной локальной податливости промежуточного слоя (рис. 5).

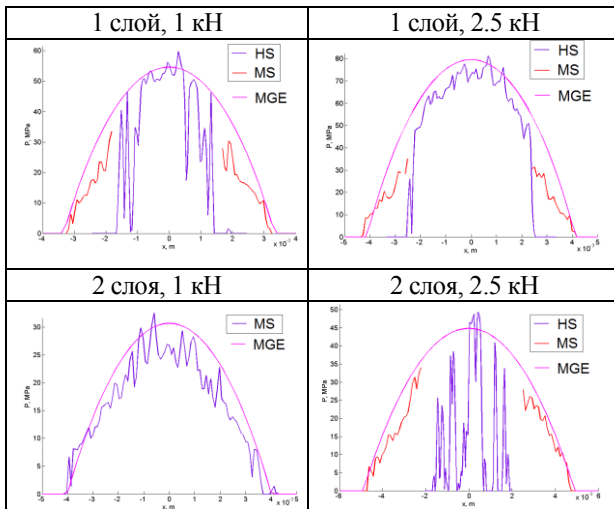


Рис. 4 – Сравнение распределений контактных давлений, полученных экспериментально численным методом граничных элементов (ВЕМ)

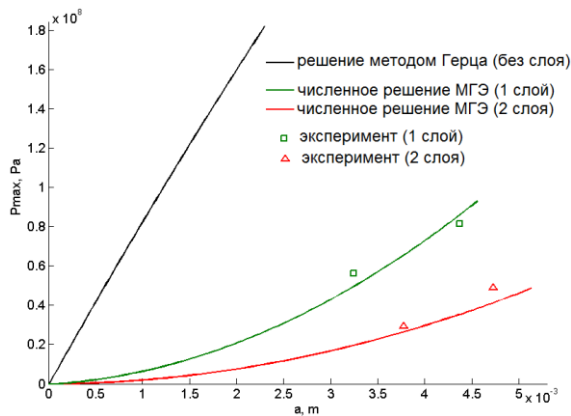


Рис. 5 – Сопоставление полученных численно кривых зависимости максимальных контактных давлений от размера пятна контакта для разной величины локальной податливости с результатами экспериментальных измерений

Выводы

Для исследования контактного взаимодействия шарового поршня с плоскостью с учетом податливого слоя применена и усовершенствована технология контактных отпечатков с использованием чувствительных к давлению пленок фирмы Fujifilm. Проведенные исследования показали качественное и количественное соответствие результатов, полученных методом граничных элементов и установленных экспериментально. Численно установлено и подтверждено в ряде экспериментов, что при увеличении локальной податливости промежуточного слоя распределения контактных давлений сглаживаются, их максимальные значения снижаются, а пятно контакта растет. Анализ показывает, что погрешность численного моделирования контактного взаимодействия

сложнопрофильных тел с учетом податливости не превышает 10 %.

Таким образом, описанные в работе экспериментальные исследования подтверждают адекватность предложенного ранее в работах [9, 11], метода решения контактных задач, реализующего вариант метода граничных элементов, достоверность и точность численных моделей, а также получаемых с их помощью зависимостей распределений контактных давлений и площадок контакта при учете и варьировании локальной податливости поверхностного слоя сопрягаемых сложнопрофильных тел.

Список литературы

- 1 **Hertz, H.** Über die Berührung fester elastischer Körper / **H. Hertz** // *J. Reine Angew.* – 1881. – Vol. 92. – P. 156-171.
- 2 **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия / **К. Джонсон** // *М.: Мир.* – 1989. – 509 с.
- 3 **Стрэнг, Э.** Теория метода конечных элементов / **Э. Стрэнг, Дж. Фикс** // *М.: Мир.* – 1977. – 349 с.
- 4 **Норри, Д.** Введение в метод конечных элементов / **Д. Норри, Ж. Фриз** // *М.: Мир.* – 1981. – 304 с.
- 5 **Vollebregt, E. A. H.** Use of “CONTACT” in multi-body vehicle dynamics and profile wear simulation: Initial results // **E. A. H. Vollebregt, C. Weidemann, A. Kienberger** // *Proceedings of the 22nd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks.* – 2011. – doi:10.1177/0954409716631009.
- 6 **Vollebregt, E. A. H.** Refinement of Kalker’s rolling contact model ollebregt. In: Bracciali editor // **E. A. H. Vollebregt** // *Proceedings of the 8th international conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems.* – 2009. – P. 149-156.
- 7 **Прокопишин, І. І.** Числове дослідження задач про контакт трьох пружних тіл методами декомпозиції області / **І. І. Прокопишин, І. І. Дияк, Р. М. Мартиняк** // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*, 2013. – 49, № 1. – С. 46-55.
- 8 **Ciavarella, M.** On the elastic contact of rough surfaces: Numerical experiments and comparisons with recent theories / **M. Ciavarella, C. Murolo, G. Demelio** // *Wear.* – 2006. Vol. 261. – 1102-1113 p. – doi:10.1016/j.wear.2006.02.001.
- 9 **Skripchenko, N.** Numerical tools for analysis of complex-shaped bodies in mechanical contact / **M. A. Tkachuk, N. Skripchenko, A. Grabovskiy, M. M. Tkachuk** // *Book of Proceedings of the 56th International Conference of Machine Design Departments (ICMD 2015).* – *Slovak University of Technology Bratislava.* – 2015. – P. 393-398.
- 10 **Winkler, E.** Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit mit besonderer Rücksicht, etc. / **E. Winkler** // *Verlag von H. Dominicus.* – 1867. – Vol. 1. – 388 p.
- 11 **Скрипченко, Н. Б.** Экспериментальное исследование контактного взаимодействия сложнопрофильных шероховатых тел с учетом податливости / **Н. Б. Скрипченко, Н. Н. Ткачук, А. А. Атрошенко, Н. А. Ткачук** // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».* – *Харків: НТУ «ХПІ».* – 2015. – № 34. – С. 124-130.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Hertz, H.** Über die Berührung fester elastischer Körper. *J. Reine Angew.*, 1881, **92**, 156-171.
- 2 **Dzhonson, K.** Mehanika kontaktного vzaimodeystviya [Mechanics of contact interaction]. *Moskow: Mir*, 1989, 509 p.
- 3 **Streng, E., Fiks, Dg.** Teoriya metoda konechnykh elementov [The theory of finite elements method], *Moskow: Mir*, 1977, 349 p.
- 4 **Norri, D., Friz, Zh.** Vvedenie v metod konechnykh elementov [Introduction to finite elements method]. *Moskow: Mir*, 1981, 304 p.
- 5 **Vollebregt, E. A. H., Weidemann, C., Kienberger, A.** Use of "CONTACT" in multi-body vehicle dynamics and profile wear simulation: Initial results. *Proceedings of the 22nd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*, 2011, doi:10.1177/09544097116631009.
- 6 **Vollebregt, E. A. H.** Refinement of Kalker's rolling contact model ollebregt. In: Bracciali editor. *Proceedings of the 8th international conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems*, 2009, 149-156.
- 7 **Prokopishin, I. I., Diyak, I. I., Martinyak, R. M.** Chislove doslidzhennya zadach pro kontakt troh pruzhnykh til metodami dekompozitsii oblasti [Numerical investigation of problems on the contact of elastic bodies of three domain decomposition]. *Fiz.-him. mehanika materialiv [Physical Chemical Mechanics of Materials]*, 2013, **49**(1), 46-55.
- 8 **Ciavarella, M., Murolo, C., Demelio, G.** On the elastic contact of rough surfaces: Numerical experiments and comparisons with recent theories. *Wear*, 2006, **261**, 1102-1113, doi:10.1016/j.wear.2006.02.001.
- 9 **Tkachuk, M. A., Skripchenko, N., Grabovskiy, A., Tkachuk, M. M.** Numerical tools for analysis of complex-shaped bodies in mechanical contact. *Book of Proceedings of the 56th International Conference of Machine Design Departments (ICMD 2015)*, Slovak University of Technology Bratislava, 2015, 393-398.
- 10 **Winkler, E.** Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit mit besonderer Rücksicht, etc. *Verlag von H. Dominicus*, 1867, **1**, 388 p.
- 11 **Skripchenko, N. B., Tkachuk, N. N., Atroshenko, A. A., Tkachuk, N. A.** Eksperimentalnoe issledovanie kontaktного vzaimodeystviya slozhnoprofilnykh sherohovatykh tel s uchetom podatlivosti [Experimental study of contact interaction slozhnoprofilnykh rough bodies in view of compliance]. *Visnik Natsionalnogo tehnichnogo universitetu «Kharkivskiy politehniichnyi institut» [Bulletin of the National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute']*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, **34**, 124-130.

Сведения об авторах (About authors)

Скрипченко Наталья Борисовна – младший научный сотрудник кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; e-mail: negrobova@gmail.com.

Natalia Skripchenko – Junior researcher of the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: negrobova@gmail.com.

Ткачук Николай Николаевич – к.т.н., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», докторант кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин; г. Харьков, Украина; e-mail: mikolei@rambler.ru.

Mykola Tkachuk – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), doctorante of the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: mikolei@rambler.ru.

Атрошенко Александр Александрович – младший научный сотрудник кафедры теории и систем автоматизированного проектирования механизмов и машин Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; e-mail: atroshenko@tmm-sapr.org.

Oleksandr Atroshenko – Junior researcher of the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: atroshenko@tmm-sapr.org.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Скрипченко, Н. Б. Расчетно-экспериментальное исследование контакта сложнопровильных тел / **Н. Б. Скрипченко, Н. Н. Ткачук, А. А. Атрошенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 84-88. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.11.

Please cite this article as:

Skripchenko, N., Tkachuk, N., Atroshenko, O. Numerical and experimental study of contact for bodies of complex shape. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 84-88, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.11.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Скрипченко, Н. Б. Розрахунково-експериментальне дослідження контакту складнопровільних тіл / **Н. Б. Скрипченко, М. М. Ткачук, О. О. Атрошенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 84-88. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.11.

АННОТАЦИЯ У роботі проведено та описано ряд експериментальних досліджень для обґрунтування застосовності розробленого варіанта методу граничних інтегральних рівнянь із застосуванням чутливих до тиску плівок. Порівняння розподілу контактного тиску, який отримано експериментально та при числовому розв'язанні задачі методом граничних елементів, підтвердило повну якість та задовільну кількісну відповідність розрахункових та експериментальних досліджень. Похибка у визначенні площадок контакту та максимального контактного тиску не перевищила 10%.

Ключові слова: контактна взаємодія, метод граничних елементів, напружено-деформований стан, шорсткість, гідрооб'ємна передача, чутливі до тиску плівки.

Поступила (received) 08.03.2016

КОНТРОЛЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ У СКЛАДІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА

Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА
e-mail: eechaikovskaya@gmail.com

АНОТАЦІЯ Контроль працездатності сушильної установки з використанням аналітичної оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері при вимірюванні температури повітря на вході в теплообмінник підігріву повітря дозволяє приймати рішення на зміну витрату повітря, що нагрівається, на основі зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора. Узгодження температурного та аеродинамічного режимів сушки деревини надає можливість, наприклад, при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік здобути грошову економію при використанні пелетного палива до 40% та знизити собівартість виробництва енергії у складі когенераційної системи в межах 20–30 %.

Ключові слова: когенераційна установка, пелетне паливо, сушильна установка, вологовміст.

CONTROL WORKING ABILITY OF THE COMPOSITION OF THE COGENERATION SYSTEM

Е. СЧАЙКОВСКАЯ

Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The paper presents the architecture of a cogeneration system, the foundation of which is the dynamic subsystem. It includes a co-generation plant, drying plant, air heating heat exchanger, an air fan. Other units are units of discharge, charge, assessment of functional efficiency, which are consistent with the dynamic interaction subsystem. It is proposed an analytical evaluation of changes in the moisture content of the air in the drying chamber at an air temperature measured at the outlet of the drying chamber. Set functioning levels of dryer air temperature change at the inlet of the heat exchanger and heating the air leaving the heat exchanger which corresponds to a change of the equilibrium moisture content of wood in the drying chamber. The air flow entering the air-heating heat exchanger which corresponds to the level functioning the dryer is defined. The valid values change in the moisture content of the air in the drying chamber obtained. The block diagram of logical modeling dryer developed. The functional information is obtained. It allows to change the air flow entering the heat exchanger preheating the air in measuring air temperature at the outlet of the drying chamber. Changing the air blower motor speed for changes in air flow provides thermal drying treatment in the drying chamber. Coordination of temperature and aerodynamic regimes of drying wood allows, for example, the production of 5.8 thousand tons of wood pellets per year to provide 860 apartments measuring 120 m² pellet fuel that given the frequency regulation on electric air fan drying materials, provides gain saving money using pellet fuel for heating and hot water to 40% and reduce the cost of power generation and heat within 20%-30% in the conditions of the cogeneration system

Keywords: cogeneration plant, pellet fuel, drying plant, the moisture content

Вступ

Завдяки реалізації енергії за “зеленим тарифом” використання біопалива для виробництва як електричної енергії, так і теплоти є достатньо стимулюючим фактором [1, 2]. При виробництві пелетного палива витрати на сушку деревини складають до 25% від загальних витрат. Вміст вологи не повинен перевищувати 10% –12 %, а сира деревина, наприклад, може містити близько 50% води.. З метою енергозбереження підтримка температурного та аеродинамічного режимів сушки повинна відбуватись в узгодженій взаємодії, що можливо здобути з використанням когенераційних технологій, які мають у своєму складі первинний двигун, електрогенератор, систему утилізації теплоти, систему контролю й управління. Більш того, вимірювання температури та вологості повітря як сушильного агента, вологості деревини, що висушується,

мають не завжди достовірне використання у зв'язку із складністю вимірів, що унеможливило упереджений вплив на зміну параметрів сушки для забезпечення безперервного виробництва пелетного палива. Засоби удосконалення сушильних технологій деревини базуються як на інтенсифікації процесів теплообміну в сушильній камері, так і на удосконаленні систем управління процесом сушки. В роботі [3], наприклад, визначено перевагу механічної активації матеріалу, що висушується, але за рахунок додаткових витрат на електричну енергію. В роботі [4] визначено, що на якість сушки впливають конструктивні параметри сушильної камери, але оцінка проведена при вимірюванні параметрів сушки в сушильній камері. В роботі [5] без узгодження температурного та аеродинамічного режимів сушіння матеріалу визначено вплив режимних параметрів сушки на якість сушки. В роботі [6] видані рекомендації щодо інтенси-

фікації теплообміну в сушильній камері, але без можливості їх використання в реальних умовах функціонування сушильної установки. Найважливішим показником сушки сировини при виробництві пелетного палива є потужність сушки, що відтворює кількісне відношення вологості сировини до її рівноважної вологості. Рівноважна вологість деревини щодо виробництва пелетного палива практично дорівнює його стійкої вологості, яка залежить від температури повітря та його відносної вологості. Потужність сушки має бути більшою за одиницю [7]. Для підтримки потужності сушки деревини використовують експертні системи, що базуються на вимірюванні температури повітря та його вологості в сушильній камері при вимірюванні вологості деревини. Складність вимірів при неможливості використання у взаємній єдності може привести до зворотного процесу накопичення вологи сушильним матеріалом чи припинення процесу сушки сировини [8, 9]. Для уникнення негативних явищ сушки необхідно прогнозувати зміну вологості повітря при вимірюванні температури повітря на виході із сушильної камери, що надходить в теплообмінник підігріву, щодо зміни рівня потужності сушки.

Мета роботи

Мета роботи – здобути еталонну та функціональну оцінку зміни вологовмісту повітря в залежності від рівноважної вологості деревини для підтримки температурного та аеродинамічного режимів сушки. З цією ціллю необхідно виконати математичне моделювання динаміки сушильної установки щодо прогнозування зміни вологовмісту повітря при вимірюванні температури повітря на виході із сушильної камери; розробити структурну схему логічного моделювання щодо контролю працездатності сушильної установки у складі когенераційної системи.

Контроль працездатності сушильної установки у складі когенераційної системи

Для здобуття еталонної та функціональної інформації щодо прийняття рішень на підтримку температурного та аеродинамічного режимів сушки деревини запропонована архітектура когенераційної системи, основою якої є інтегрована динамічна підсистема – (когенераційна установка, сушильна камера, теплообмінник для підігріву повітря, повітряний вентилятор) та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою (рис. 1).

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи:

$$CS = ((D(P(\tau)(x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau))), Z(\tau), P(\tau)), R(\tau), (P_i(\tau)(x_1(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau))))).$$

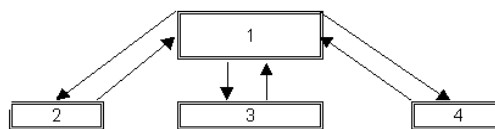


Рис. – 1. Архітектура когенераційної системи: 1 – динамічна підсистема (когенераційна установка, сушильна камера, теплообмінник для підігріву повітря, повітряний вентилятор); 2 – блок розряду; 3 – блок заряду; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема (когенераційна установка, сушильна камера, теплообмінник для підігріву повітря, повітряний вентилятор); P – властивості елементів когенераційної системи; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; R – логічні відносини в CS ; τ – час, с. Індeksi: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Основою для підтримки температурного та аеродинамічного режимів сушки щодо здобуття як еталонної, так і функціональної інформації є математична модель динаміки сушильної установки. Система нелінійних диференціальних рівнянь включає рівняння стану як фізичну модель теплообмінника, рівняння енергії передавального середовища – теплоносія, що гріє, від когенераційної установки, рівняння енергії сприймаючого середовища – повітря, в якому зміна вологовмісту повітря оцінена як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника для підігріву повітря, що співпадає з напрямком потоку руху середовища, та рівняння теплового балансу для стінки теплообмінника. В результаті реалізації математичної моделі отримана передатна функція за каналом: «вологовміст повітря – витрата повітря» [10]:

$$W_{w-G_{в1}} = \frac{K_B(\beta - 1)}{L_B K_w \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma 1 \xi})$$

$$\text{де } K_B = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{B0}}; \beta = T_M S + \varepsilon^* + 1; T_M = \frac{g_M C_M}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_3^*); \varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{B0} h_{B0}}; L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1}; L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}};$$

$$\gamma 1 = T_B S; T_B = \frac{g_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \xi = \frac{z}{L_B}; L_B = \frac{G_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

$$K_w = \frac{\partial i}{\partial w} / \frac{\partial i}{\partial t}; \gamma = \frac{T_B S}{L_B},$$

де σ , θ – температура повітря, температура теплоносія, що гріє, температура стінки теплообмінника, K , відповідно; G – витрата речовини, кг/с; C – питома теплоємність, кДж/(кг·К); i – ентальпія робочого тіла, кДж/кг; w – вологовміст повітря; α – коефіцієнт

тепловіддачі, кВт/(м²·К); h – питома поверхня, м²/м; g – питома маса речовини, кг/м; z – координата довжини теплообмінника, м; T_B, T_M – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність повітря, метала, с, відповідно; m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; S – параметр перетворення Лапласа; $S = \omega j$; ω – частота, 1/с. Індекси: v – внутрішній потік – повітря; m – металева стінка; z – зовнішній потік – теплоносій, що гріє; w – вологовміст повітря; $0, 1$ – початкові умови, вхід в теплообмінник, відповідно.

Для використання передатної функції у складі комплексного математичного моделювання динаміки сушильної установки, виділено дійсну частину, $O(\omega)$, що має такий вид:

$$O(\omega) = (C_1 L_1 - D_1 M_1) (K_B / K_w).$$

Для одержання коефіцієнтів у складі дійсної частини $O(\omega)$ здобуто такі вирази:

$$C_1 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}; L_1 = 1 - \cos(-\xi T_B \omega);$$

$$D_1 = \frac{A_2 B_1 - A_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}; M_1 = 1 - \sin(-\xi T_B \omega),$$

де $A_1 = \varepsilon^* - T_B T_M \omega^2$; $A_2 = -T_B T_M \omega^2$; $B_1 = T_M \omega$; $B_2 = T_B \omega (\varepsilon + 1)$.

Температура поділяючої стінки θ , що входить до складу коефіцієнта K_B :

$$\theta = \left(\frac{\alpha_B (\sigma_1 + \sigma_2)}{2} + \frac{A(t_1 + t_2)}{2} \right) / (\alpha_B + A),$$

де σ_1, σ_2 – температура теплоносія, що гріє, на вході, та на виході з теплообмінника, К, відповідно; t_1, t_2 – температура повітря на виході з сушильної камери та на вході в сушильну камеру, К, відповідно; α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); Індекс: v – внутрішній потік – повітря.

$$A = \frac{1}{\frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{1}{\alpha_3}}$$

де δ – товщина стінки теплообмінника, м; α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); λ – теплопровідність металу стінки теплообмінника, кВт/(м·К). Індекс: z – зовнішній потік – теплоносій, що гріє.

З використанням інтеграла переходу з частотної області до області часу зміна вологовмісту повітря як за часом, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника для підігріву повітря визначена так:

$$w(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} O(\omega) \sin(\tau\omega/\omega) d\omega,$$

де τ – час, с.

Встановлені наступні рівні зміни температури повітря на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника: перший рівень: 55^oC – 85^oC; другий рівень: 52,6^oC – 80,8^oC; третій рівень: 51,3^oC – 77^oC, та рівні зміни витрати повітря; 1,8 кг/с, 1,68 кг/с, 1,65 кг/с, що відповідають зміні рівноважної вологості повітря 20%, 15%, 12 % в межах зменшення вологості сировини з 40% до 12%. Результати моделювання динаміки сушильної установки представлені в табл.1, 2, 3, рис. 2.

Таблиця 1 – Параметри теплообміну в теплообміннику підігріву повітря

Рівні функціонування	Параметр		
	α_3 , Вт/(м ² ·К)	α_B , Вт/(м ² ·К)	k , Вт/(м ² ·К)
Перший рівень	3050,67	254,33	233,05
Другий рівень	2912,86	242,84	222,59
Третій рівень	2877,91	239,92	219,94

Примітка: α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, що гріє до стінки теплообмінника, Вт/(м²·К); α_B – коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до повітря, Вт/(м²·К); k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К).

Таблиця 2 – Постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки теплообмінника

Рівні функціонування	$T_{B, c}$	$T_{M, c}$	ε	ζ
Перший	0,0048	0,6149	14,547	0,146
Другий	0,0050	0,6440	14,547	0,136
Третій	0,0051	0,6518	14,547	0,134

Таблиця 3 – Постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки теплообмінника

Рівні функціонування	$L_{3, m}$	L_B	$L_{3, *}$	K_w
Перший	33,26	483,89	0,029	-0,9646
Другий	32,51	472,99	0,029	-1,2848
Третій	32,32	470,19	0,030	-1,6060

Так, наприклад, при функціонуванні сушильної установки на першому рівні, що відповідає зменшенню вологості сировини з 40% до 20% при рівноважній вологості повітря 20% зменшення температури повітря на виході з сушильної камери до 52^oC потребує прийняття рішення з використанням інформації (1) на встановлення витрати повітря на рівні 1,68 кг/с на основі зменшення частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо входження в допуск другого рівня функціонування за рахунок підтримки температури повітря на вході в сушильну камеру на рівні 80,5^oC (рис. 4). Перехід на другий рівень функціонування сушильної установки підтримує зменшення вологовмісту сировини з 20% до 15%,

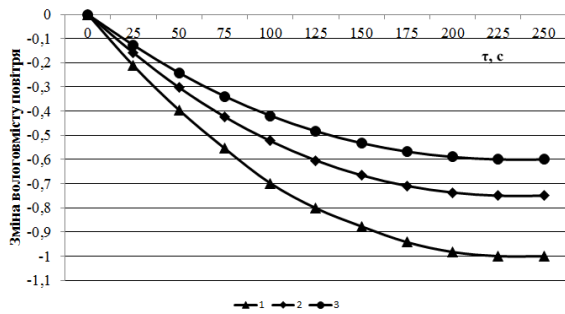


Рис. 2 – Допуски на граничну працездатність сушильної установки для встановлених рівнів функціонування: 1, 2, 3 – еталони підтримки рівноважної вологості повітря 20%, 15%, 12%, відповідно

Для контролю працездатності сушильної установки запропоновано структурну схему з використанням метода графа причинно-наслідкових зв'язків [10] щодо здобуття функціональної інформації (рис. 3).

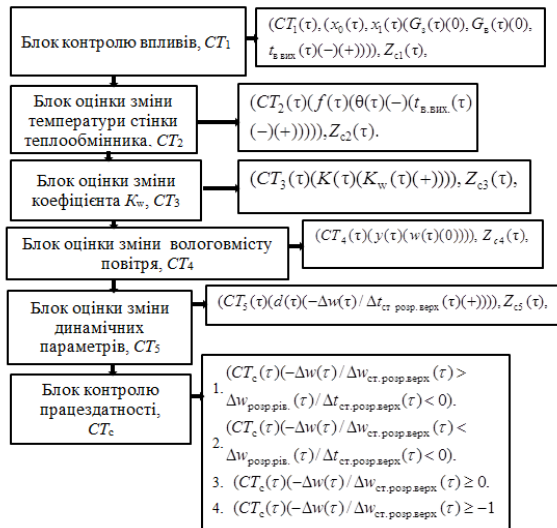


Рис. 3. – Структурна схема логічного моделювання контролю працездатності сушильної установки: ST – контроль події; Z – логічні відносини; d – динамічні параметри; w – вологовміст повітря; t – температура повітря, K ; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; y – вихідні параметри; K – коефіцієнти математичного опису; $K_w = \frac{\partial i}{\partial w} / \frac{\partial i}{\partial t}$ – коефіцієнт математичної моделі динаміки сушильної установки. де i – ентальпія робочого тіла, кДж/кг ; w – вологовміст повітря; G – витрата теплоносії, кг/с ; Індекси: c – контроль працездатності; вих. – вихід повітря із сушильної камери; верх. – перший рівень функціонування; в. – повітря; з. – теплоносії, що гріє; ст. розр. – стає розрахункове значення параметра; $0, 1, 2$ – початковий стаціонарний режим, зовнішні, внутрішні параметри; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри.

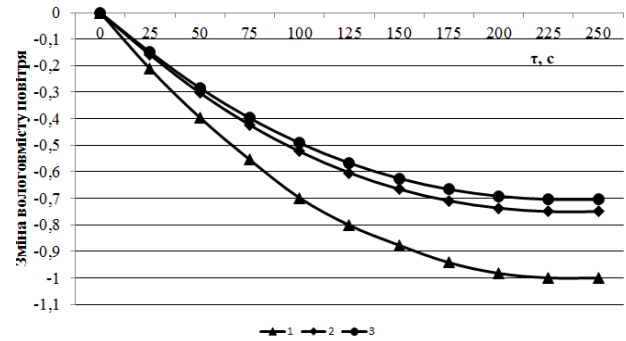


Рис. 4. – Зміна вологовмісту повітря в сушильній камері щодо переходу з першого рівня функціонування на другий рівень; 1 – допуск на граничну працездатність першого рівня функціонування; 2 – допуск на граничну працездатність другого рівня функціонування; 3 – прийняття рішення та підтвердження нових умов функціонування

Підтримку функціонування сушильної установки у складі когенераційної системи забезпечує повітряний вентилятор для можливості частотного регулювання зміни витрати повітря щодо встановлення температури повітря на вході в сушильну камеру з ціллю підтримки потужності сушки матеріалу.

Обговорення результатів

В результаті проведених досліджень у складі запропонованої когенераційної системи виконано контроль працездатності сушильної установки, що включає сушильну камеру, теплообмінник для підігріву повітря, повітряний вентилятор. З цієї ціллю здобута аналітична оцінка зміни вологовмісту повітря в сушильній камері в зв'язку із недостовірним використанням виміру. Визначено параметри теплообміну теплообмінника для підігріву повітря, поверхню теплообміну теплообмінника, що вдовольняють встановленим рівням функціонування сушильної установки. Здобуто еталонну оцінку зміни вологовмісту повітря в залежності від рівноважної вологості деревини. Розроблена структурна схема логічного моделювання для здобуття функціональної оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері при зміні температури повітря на виході із сушильної камери, що вимірюється. щодо зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора для підтримки функціонування сушильної установки. Запланована апробація здобутих результатів в умовах когенераційних систем з використанням виробництва пелетного палива різної потужності.

Висновки

1. Запропонована архітектура когенераційної системи, що має у своєму складі основу – динамічну підсистему, яка включає когенераційну установку,

сушильну камеру, теплообмінник для підігріву повітря, повітряний вентилятор та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою.

2. Для здобуття еталонної та функціональної оцінки зміну вологовмісту повітря в сушильній камері виконано математичне моделювання динаміки сушильної установки.

3. Здобута еталонна оцінка зміни вологовмісту повітря в сушильній камері в залежності від рівноважної вологості сировини для підтримки температурного та аеродинамічного режимів сушки.

4. Запропонована структурна схема логічного моделювання сушильної установки щодо здобуття функціональної оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері при зміні температури повітря на виході із сушильної камери, що вимірюється, для прийняття рішень на підтримку функціонування сушильної установки.

5. Контроль працездатності сушильної установки щодо узгодження температурного та аеродинамічного режимів сушки деревини надає можливість, наприклад, при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік здобути грошову економію при використанні пелетного палива до 40% та знизити собівартість виробництва енергії у складі когенераційної системи в межах 20–30 % [10].

Список літератури

- 1 Гелету́ха, Г. Г. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2 / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железная, П. П. Кучерук, Е. Н. Олейник, А. В. Трибой // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 65-73.
- 2 Чайковська, Є. Є. Розробка енергозберігаючої технології функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи / Є. Є. Чайковська // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 3, № 8 (75). – С.47-53. doi: 10.15587/1729-4061.2015.442522.
- 3 Трошин, А. Г. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы / А. Г. Трошин, В. Ф. Монсеев, И. А. Тельнов, С. И. Завинский // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2010. – № 8/45 (3). – С. 36-40.
- 4 Bhattarai, S. Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production / Sujala Bhattarai, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu // *Drying Technology*. – 2014. – Vol. 32. – P. 1142-1156. – doi:10.1080/07373937.2014.884575.
- 5 Laurila, J. Compression drying of energy wood / Jussi Laurila, Havimo Mikko, Lauhanen Risto // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – Vol. 124. – P. 286-289. – doi:10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
- 6 Yuping, L. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system / Liu Yuping, Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhattacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – Vol. 117. – P. 66-74. – doi:10.1016/j.fuproc.2013.02.007.

- 7 Wang, H. Study of Immune PID Controller for Wood Drying System / Hai-tao Wang, He-ming Jia // *2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. – 2013. – P. 827 - 831. – doi:10.1109/csnt.2013.176.
- 8 Zhongfu, T. Research on control system of wood drying based on BP Neural Network / Tian Zhongfu, Li Yuehua // *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*. – 2013. – P. 36-38. – doi: 10.1109/mec.2013.6885046.
- 9 Perre, P. Drying of Wood: Principles and Practices / Patrick Perre, Roger Keey // *Handbook of Industrial Drying*. – 2014. – P. 797 - 846. – doi:10.1201/b17208-44.
- 10 Чайковська, Є. Є. Розробка методу підтримки функціонування сушильної установки у складі когенераційної системи / Є. Є. Чайковська // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 5/7 (25). – С.62 - 67. – doi:10.15587/2312-8372.2015.51520.

Bibliography (transliterated)

- 1 Heletuha, H. H. Gelieznaia, T. A. Kuchtruk, P. P. Olenic, E. N. Triboi, A. V. Bioenergy in Ukraine: Current State and Prospects for Development. Part 2 [Bioenergy in Ukraine: Current State and Prospects for Development. Part 2]. *Industrial Heat Engineering*, 2015, 3(37), 65 - 73.
- 2 Chaikovskaya, E. E. Development of energy-operation of biogas plant as part of a cogeneration system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 3/8(75), 47-53, doi:10.15587/1729-4061.2015.442522.
- 3 Trohin, A. H., Moisieiev, V. F., Telnov, I. A., Zavinski, S. I. Development of processes and equipment for the production of fuel pellets from biomass. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2010, 8/45(3), 36-40.
- 4 Bhattarai, Sujala, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production. *Drying Technology*, 2014, 32, 1142-1156. doi:10.1080/07373937.2014.884575.
- 5 Laurila, J. Havimo, M., Lauhanen, R. Compression drying of energy wood. *Fuel Processing Technology*, 2014, 124, 286-289, doi:10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
- 6 Yuping, L. Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhattacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system. *Fuel Processing Technology*, 2014, 117, 66-74, doi:1016/j.fuproc.2013.02.007.
- 7 Wang, H., He-ming Jia Study of Immune PID Controller for Wood Drying System. *2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2013, 827-831, doi:10.1109/csnt.2013.176.
- 8 Zhongfu, T., Li Yuehua Research on control system of wood drying based on BP Neural Network. *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer(MEC)*, 2013, 36-38, doi:10.1109/mec.2013.6885046.
- 9 Perre, P. Roger Keey Drying of Wood: Principles and Practices. *Handbook of Industrial Drying*, 2014, 797-846, doi:10.1201/b17208-44.
- 10 Chaikovskaya, E. E. Development of methods support the operation of the drying plant composed of cogeneration system. *Technological audit and production of reserves*, 2015, 5/7(25), 62-67, doi:10.15587/2312-8372.2015.51520.

Відомості про авторів (About author)

Чайковська Євгенія Євстафіївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5663-2707>.

Chaikovskaya Eugene – PhD, Senior Reseacher, Odessa National Polytechnic University, Associate Professor, Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa, Ukraine, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com <http://orcid.org/0000-0002-5663-2707>.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чайковська, Є. Є. Контроль працездатності сушильної установки у складі когенераційної системи / Є. Є. **Чайковська** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 89-94. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.12.

Please cite this article as:

Chaikovskaya Eugene Control working ability of the drying plant in the composition of the cogeneration system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12**(1184), 89-94, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.12.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чайковская, Е. Е. Контроль работоспособности сушильной установки в составе когенерационной системы / **Е. Е. Чайковская** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 89-94 – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.12.

АННОТАЦІЯ Контроль работоспособности сушильной установки с использованием аналитической оценки изменения влагосодержания воздуха в сушильной камере при измерении температуры воздуха на входе в теплообменник подогрева воздуха позволяет принимать решения на изменение расхода нагреваемого воздуха на основе изменения частоты вращения электродвигателя воздушного вентилятора. Согласование температурного и аэродинамического режимов сушки древесины дает возможность, например, при производстве 5,8 тыс. т пеллет из древесины в год получить денежную экономию при использовании пеллетного топлива до 40% и снизить себестоимость производства энергии в составе когенерационной системы до 20–30 %.

Ключевые слова: когенерационная установка, пеллетное топливо, сушильная установка, влагосодержание

Надійшла (received) 14.03.2016

OLFACTOMETRY DIAGNOSTIC AT THE MODERN STAGE

O. AVRUNIN^{1*}, N. SHUSHLYAPINA², Y. NOSOVA¹, O. BOGDAN³

¹ Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Otorhinolaryngology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, UKRAINE

³ Department of Foreign languages, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

*email: gavrur@list.ru

ABSTRACT In this article we consider the most popular methods for evaluating the degree of olfactory disorders. The purpose of our paper is an analytical review of olfactometry of methods and tools to determine their potential and the diagnostic value of the detection of respiratory-olfactory disorders (blocking of odorants getting into areas of the nasal mucosa, containing olfactory receptors). Purposful study of olfactory function allows to determine the criteria for the diagnosis of local destruction of various parts of the analyze. Various methods and devices (olfactometers) are used to diagnose olfactory analyzer, but they all have a number of drawbacks: the long duration of the study, the use of objective evidence of the subjects, the use of olfactory substances that affect the end of the threefold nerve, determination of olfactory dysfunction or only quantitatively or only qualitatively. Most of the methods for evaluating of olfactory disorders have a wide range of uses for the diagnosis of various diseases as well, including mental disorders, brain damage, and nervous system. However, within our problem, olfactory dysfunction is necessary to consider in connection with the problem of the air passage in the human olfactory system. Therefore, it is necessary to develop a highly specialized method of assessing olfactory – respiratory disorders, which would have a high degree of objectivity for use in clinical practice of otolaryngologists. Thus, in the perspective of further research it seems necessary to develop a method of assessment of olfactory function on the basis of respiratory parameters derived from rinomanometry research that will improve the objectivity of conducted researches.

Keywords: smell, nose, olfactometry, mucous, odor, dysfunction, stimulus

ОЛЬФАКТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

О. Г. АВРУНИН^{1*}, Н. О. ШУШЛЯПИНА², Я. В. НОСОВА¹, О. Н. БОГДАН³

¹ Кафедра биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² Кафедра Оториноларингологии, Харьковский национальный медицинский университет, Харьков, УКРАИНА

³ Кафедра иностранных языков, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; Харьков, УКРАИНА

*email: gavrur@list.ru

АННОТАЦИЯ Эта статья посвящена обзору наиболее популярных методов оценки степени обонятельных расстройств. Большинство методов оценки степени нарушения обоняния имеют широкий спектр применения для диагностики различных заболеваний, включая психические расстройства, повреждения мозга и нервной системы. Однако, в рамках нашей задачи необходимо рассматривать дисфункцию обоняния в связи с проблемой прохождения воздуха в обонятельный анализатор человека. Таким образом, в перспективе дальнейших исследований представляется необходимым разработать метод оценки обонятельной функции на основе параметров дыхания, полученных в результате риноманометричного обследования, что позволит повысить объективность проведенных исследований.

Ключевые слова: запах, нос, ольфактометрия, слизь, одорант, дисфункция, стимул

Introduction

Method holding fate of studies.
I.P. Pavlov

Olfaction plays a major role in our interaction with the environment. The olfactory system not only acts for the detection of potential dangers in the environment, such as smoke, gas or dusts, but also it influences our nutrition, social behavior, and well-being [1]. For human beings, it also has been crucial function for better quality of life. There has been a recent increase in diseases associated with olfactory dysfunction as shown in figure 1 [2]. Moreover, because many patients with olfactory dysfunction have often complained of their olfactory functions as well as reported of chronic pain,

olfactory dysfunction must not be neglected anymore. In addition, the olfactory function has been considered to be one of the biological markers associated with various diseases, such as Alzheimer's disease, Parkinson disease, multiple sclerosis, and brain tumor. Thus, the evaluation of olfactory function will shed some light to understand the function of the human olfactory system as well as assess the olfaction value in day-to-day life [2].

The structure of the olfactory analyzer is a complex anatomical and physiological structure. Violation of olfactory function may be due to both, mental disorders and diseases affecting the nervous system, and otorhinolaryngological diseases.

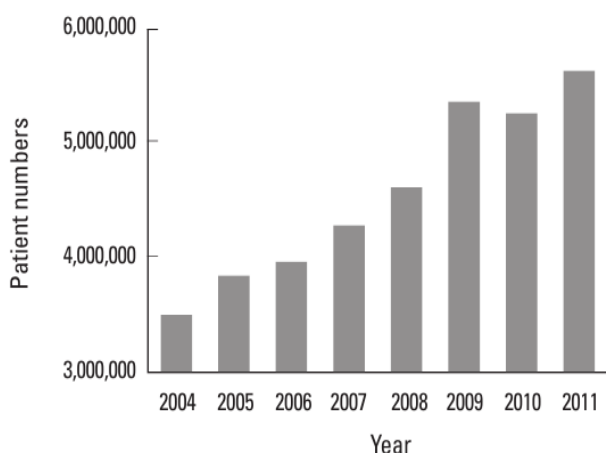


Fig. 1 – Patient trends with olfactory disorders by year [2]

Violations of olfactory function in the broadest sense can be divided into three categories:

- dysfunction of brain regions associated with olfactory information processing;
- disruption of conduction paths (central nervous system), i.e. blocking the signals in the way of the olfactory receptors to the appropriate areas of the brain;
- respiratory-olfactory disorders, blocking of odorants getting into areas of the nasal mucosa, containing olfactory receptors.

It may be necessary a consultation for the patient with various specialists during examination of olfaction - neurologists, neurosurgeons, endocrinologists, psychiatrists and others. In particular, it occurs in the situations when the patient with clear violation of smell is no conclusive clinical signs of diseases of the nose and paranasal sinuses [4].

Actuality of the paper.

Violation of olfaction plays an important role in the diagnosis of diseases of the nose and nasal cavity, and it is an indicator of the quality of treatment and post-intervention and rehabilitation of patients with various nose injuries as well. Blocking airflow with odorants in the nasal cavity due to various disorders is a very complex problem of modern otorhinolaryngological diagnosis. Today there are no objective methods to assess this problem. Therefore, it is necessary to pay attention to more detailed consideration of objective methods of diagnosis of olfactory dysfunction with a doctor's point of view (otolaryngologist).

Purpose of work

The purpose is an analytical review of olfactometry of methods and tools to determine their potential and the diagnostic value of the detection of olfactory disorders.

Statement of the main material

For the overall clinical assessment of the state of the nose the information of state of olfaction, is certainly required. The adequate stimulus for the organ of smell is a variety of molecules of odorous substances (odorants). Smell receptors are presented in the olfactory region, which includes the surface of the mucous membrane of the nasal cavity above the upper nasal turbinates and the opposing part of the nasal septum.

In 1991, Axel and Buck discovered a family of approximately 1,000 genes that encode for an equivalent number of olfactory receptors, corresponding to the largest family of genes in the mammalian genome, highlighting their important role in physiology. In the majority of mammals most of these genes are functional, but in primates the number of functional genes decreases and is only about 350 in humans. Axel and Buck found that each olfactory receptor neuron possesses only one type of odorant receptor and each receptor is specialized for a small number of odors. Hence, a given odorant will bind a typical pattern of olfactory receptors [1].

Recent fundamental studies of the physiological mechanisms of olfaction showed that the process of olfactory reception occurs as follows:

- 1) olfactory reaction occurs as a result the dissolution odorant molecules in an aqueous-fat medium of membrane, covering the olfactory receptors;
- 2) each substance in accordance with the theory of matrices, stimulates nerve endings mainly those to which it is closest in meaning their physical and chemical properties, i.e. odor molecule as it is imprinted in its type of olfactory receptor matrix;
- 3) activator of the formation of the smell is nasal mucus;
- 4) characteristic of smell depends on its adsorption properties;
- 5) olfactory sensation in a qualitative sense is the result of summation of the olfactory and trigeminal nerves reaction receptor stimulation, which receptors of which are located throughout the surface of nasal mucosa.

The mucous membrane of the respiratory area is lined with ciliated epithelium, cilia movement is "banished" from the nasal cavity mucus and immersed in it dust particles entering from the inhaled air. Oscillation movements of cilia are not directed toward the nostrils, and in the nasopharynx, where shrouded with mucus dust particles or get into the esophagus, or just clear your throat [2].

Purposeful study of olfactory function allows to determine the criteria for the diagnosis of local destruction of various parts of the analyzer.

Discussion of the results

According to researchers Woo Seop Kim, Dong Pyo Jang, In Young Kim the methods for assessing the olfactory function are largely divided into electrophysiological and psychophysical methods.

Electrophysiological tests evaluate olfactory function based on objective measurement such as biosignals and medical imaging [3]. For example, the total number of physiological parameters such as galvanic skin response, electrocardiogram data, pneumogram we evaluate olfactory dysfunction [9]. On the basis of physiological parameters there is a method of evaluation of smell, which includes the registration of the background level of pupillary reaction parameters in response to the light signal (pupillography) and in comparison with pupillogramm made after olfactory stimulation by odorants. [10]. The method of estimating the human olfactory activity includes the determination of olfactory function on the results of the subjective assessment of odorous substances in superthreshold solution. It is necessary to provide the registration of background potentials of the brain conduct in a relaxed state at half reclining position of a body examinee with closed eyes in 40 s after the beginning of registration of the background potentials of the brain.

Using the inhaler Maholda we represent the olfactory stimulus lavender essential oil in a concentration of 1: 100 for 3 seconds and 70 seconds later, the power spectral density is recorded theta and alpha rhythms in the frontal and temporal areas of the cerebral cortex and changes olfactory activity is defined by the formula:

$$Ha = \frac{T_{\theta} + F_{\theta}}{T_{\alpha} + F_{\alpha}},$$

where Ha – the olfactory activity;

T_{θ} - the average value of the theta rhythm of the power spectral density in the temporal region, mcV^2/Hz ;

F_{θ} - the average value of the power spectral density of the theta rhythm in the frontal region, mcV^2/Hz ;

T_{α} - the average value of the alpha rhythm of the power spectral density in the temporal region, mcV^2/Hz ;

F_{α} - the average value of the alpha rhythm of the power spectral density in frontal region, mcV^2/Hz , wherein at the magnitude of the olfactory activity of 0.7 and more olfactory function is normal, and if the value of 0.6 and less shows the violation of the olfactory function, namely, hyposmia [14].

The psychophysical inspections are methods mostly based on questionnaires or simple apparatus. Normally, the evaluator presents a fragrance and then evaluates subjectively the subject's awareness of smelling [3].

On the basis of subjective feelings and recognize odors the method of the threshold olfactometry has been built. The essence of this method is to use the three olfactory substances, valerian tincture, acetic acid and ammonia. The solution is prepared with intervals of concentrations of olfactory substance by 2-2.5 times (see table 1).

Table 1 – The general scheme of quantitative and qualitative study of olfactory sensitivity

Olfactory substance and consistency of their use	The amount of solution	The concentrations of olfactory substances,%	Time inspection, sec
Tincture of valerian	8	0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1	10-20
Acetic acid	8	0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1	10-20
Ammonium chloride	11	0,0005; 0,001; 0,0025; 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1	10-20

Each of the prepared solutions is placed in a glass bottle of glass tubes with volume about 100 ml with cross-sectional area of the neck 0,64 cm^2 ; olfaction research is carried out at room temperature of solutions 18-22°C and in the following order: tincture of valerian, acetic acid, ammonium chloride [11].

The next and one of the most popular around the world method for assessing of violations of the olfactory function is Sniffing Sticks test. In the first stage to determine the olfactory threshold n-butanol of 16 solutions is used (orange, leather, cinnamon, peppermint, banana, lemon, licorice, turpentine, garlic, coffee, apple, clove, pineapple, rose, anise, fish). In assessing the ability to discriminate odors odorants triplets are used in superthreshold dilution, while the patient is asked to choose which smell is different from the two other (fig.2) [5].

In determining the subject's ability to identify the smell – the patient is proposed in the superthreshold concentration of the odorant and four possible answers. At each stage of the study the patient can gain a maximum of 16 points, that is, for the time of the study - a maximum of 48 points. This index is defined as threshold discrimination identification score (TDI). If TDI patient scores 15 or less, that he is believed to have a functional anosmia. When TDI from 17 to 30 points we conclude the presence of the patient hyposmia. TDI 30 points and above is considered normal [5, 13-14].

The UPSIT comprises forty different smells released by scratching a panel of microencapsulated odorants using a pencil lead. For each of the forty smells, participants must choose an answer from four possible options; only one is correct. Booklets containing the smells, four, each with ten smells, are in sealed envelopes and a pencil provided (fig. 3).



Fig. 2 – Sniffin' Sticks methods in progress [5]

Data collected on the USA population showed that participants' score out of forty was dependent on gender, age and smoking status. A diagnostic ladder was drawn up and six categories devised for olfactory diagnosis depending on score [6]. This test is occasionally judged to have an American cultural bias. There have British, Chinese, French, German, Italian, Korean and Spanish UPSIT versions made. There are called the Brief (Cross-Cultural) Smell Identification Test. It evaluates olfactory functions uses 12 odor capsules that are familiar with people from other cultures [3]. The advantages of the test are: reliability, low cost, ease of use, the possibility of testing in all conditions, even the self-test at home or in the field.

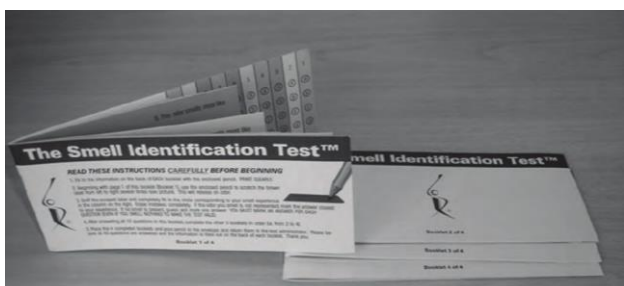


Fig. 3 – University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT) [6]

The T&T olfactometer (Daiichi-Yakuhin, Tokyo, Japan) consists of five test odorants. Each odorant was diluted into eight log-step concentration series with either propylene glycol or liquid paraffin (grade 5 to -2). The detection threshold is the weakest concentration at which the stimulus is firstly noticed. The concentration at which a qualitative sensation is first recognized is recorded as the recognition threshold [8].

Also researches developed an olfactory display shown in figure 4. This display uses the technique used in ink-jet printer in order to produce a jet which is broken into droplets from the small hole in the ink tank. The display can set up an ejection head. This head can store three small tanks and one large tank, thus this display can contain 4 kinds of scents maximum.



Fig. 4 – Olfactory display [7]

Thus, pulse ejection for scent presentation is able to minimize odor elimination. Measurement algorithm uses binary search. Therefore, might measure the detection threshold at 192 levels in total by changing the number of stimuli and ejection time. For measurement result, might be able to quantify the detection threshold. Furthermore, only 5 min is needed to measure the detection thresholds [7].

In this article we are considered the most popular methods for evaluating the degree of olfactory disorders. There are some other methods as well, but in most cases they differ only by odorants, their concentration and the number of repetitions of test studies.

Conclusions

Various methods and devices (olfactometer) are used to diagnose olfactory analyzer, but they all have a number of drawbacks: the long duration of the study, the use of objective evidence of the subjects, the use of olfactory substances that affect the end of the threefold nerve, determination of olfactory dysfunction or only quantitatively or qualitatively only. There are, most of the methods to evaluate olfactory disorders have a wide range as well of uses for the diagnosis of various diseases, including mental disorders, brain damage, and nervous system. However, within of our problem, olfactory dysfunction is necessary to consider with the problem in connection of the air passage in the human olfactory system. Therefore, it is expedient to develop a highly specialized method of assessing olfactory - respiratory disorders, which would have a high degree of objectivity for use in clinical practice of otolaryngologists. Thus, in the perspective of further research it seems necessary to develop a method of assessment of olfactory function on the basis of respiratory parameters derived from rinomanometry research that will improve the objectivity of conducted researches.

Список литературы

- 1 **Huart, C.** Plasticity of the Human Olfactory System: The Olfactory Bulb / **C. Huart, P. Rombaux, T. Hummel** // *Molecules*. – 2013. – № 18, P. 11586-11600; doi:10.3390/molecules180911586.

- 2 **Морохоєв, В. И.** Ольфактометрия в клинической практике / **В. И. Морохоєв** // Научно-практический медицинский журнал «Практическая медицина». – 2011. – № 3. – С. 34-36.
- 3 **Kim, W. S.** The Current Status of Evaluation Technologies for the Function of Human Olfaction / **W. S. Kim, D. P. Jang, In Y. Kim** // *Hanyang Med Rev.* – 2014. – №34, P. 120-124, doi:10.7599/hmr.2014.34.3.120.
- 4 **Avrunin, O. G.** Method of expression of certain bacterial microflora mucosa olfactory area / **O. G. Avrunin, N. O. Shushlyapina, Y. V. Nosova, W. Surtel, A. Burlibay, M. Zhassandykyzy** // *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications.* – 2015. – 98161L (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229074.
- 5 **Barezak, R.** Application of the standard Sniffin' Sticks method to the determination Odor Inspectors' olfactory sensitivity in Poland / **R. Barezak, I. Sowka, A. Nych, M. Skretowiez, P. Zwodziak** // *Chemical engineering transaction.* – 2010. – 23. – P. 13-18, doi:10.3303/CET1023003.
- 6 **Muirhead, N.** Is The University Of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT) Valid for the UK Population? / **N. Muirhead, E. Benjamin, H. Saleh** // *Rila Publications Ltd. The Otorhinolaryngologist.* – 2013. – 6(2). – P. 99-103.
- 7 **Fukasawa, A.** Olfactory Measurement Method at Health checkup with Olfactory Display using Pulse Ejection / **Aya Fukasawa, Kenichi Okada** // *International Journal of Informatics Society.* – 2013. – 5. – P.13-19.
- 8 **Scadding, G.** Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper / **G. Scadding, P. Hellings, I. Alobid, C. Bachert, W. Fokkens et al.** // *Clinical and Translational Allergy.* – 2011. – 1:2. – P. 1-39.
- 9 **Морохоєв, В. И.** Обонятельная дисфункция: диагностика и хирургическое лечение / **В. И. Морохоєв** // *Вестник оториноларингологии.* – 1990. – № 6. – С. 36-41.
- 10 Спосіб ольфактометрії: пат. 2089093 РФ кл. А61В 5/00, А61В 3/02, А61В 3/10. **Морозова С.В.; Ананин В.В.; Кудрин А.Н.; Овчинников Ю.М.** - № 95116668/14: Заявл. 28.09.1995: Опубл.: 10.09.1997.
- 11 Спосіб проведення порогової ольфактометрії: пат. 2169364 РФ кл. G01N 33/15, А61В 10/00, А61J 1/06. **Домрачев А.А.; Афонькин В.Ю.; Савченков Ю.И.; Амельчугов С.П.; Эрлих И.А.** - № 99123781/14: Заявл. 10.11.1999: Опубл.: 20.06.2001.
- 12 **Hummel, T.** Normative data for the Sniffing sticks 35 including tests of odor identification, odordiscrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects / **T. Hummel, G. Kobal, H. Gudziol, A. Mackay-Sim** // *Eur Arch Otorhinolaryngol.* – 2007. – 264. – P. 237-243, doi:10.1007/s00405-006-0173-0.
- 13 **Савватеева, Д. М.** Диагностика и лечение обонятельной дисфункции у больных острым риносинуситом / **Д. М. Савватеева, А. С. Лопатин** // *Российская ринология.* – 2010. – №2. – С. 8-11.
- 14 Спосіб визначення нюхової активності людини: Патент на корисну модель 84393, А61В 5/0205 **Беспалова С.В., Говта М.В., Котлярова І.В., Кузьменко Ю.О.** Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2013, Бюл.№ 20.
- Bulb. *Molecules,* 2013, **18,** 11586-11600; doi:10.3390/molecules180911586.
- 2 **Morohoev, V. I.** Ol'faktometriya v klinicheskoy praktike [Olfactometry in clinical practice] *Nauchno-prakticheskiy meditsinskiy zhurnal «Prakticheskaya meditsina» [Scientific-Practical Medical Journal "Practice of medicine"]*, 2011, **3,** 34-36.
- 3 **Woo Seop Kim, Dong Pyo Jang, In Young Kim.** The Current Status of Evaluation Technologies for the Function of Human Olfaction. *Hanyang Med Rev,* 2014, **34,** 120-124, doi:10.7599/hmr.2014.34.3.120.
- 4 **Oleg G. Avrunin, Natalia O. Shushlyapina, Yana V. Nosova, Wojciech Surtel, Aron Burlibay, Maral Zhassandykyzy.** Method of expression of certain bacterial microflora mucosa olfactory area. *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications,* 2015, 98161L (December 18, 2015), doi:10.1117/12.2229074.
- 5 **Radoslaw Barezak, Izabela Sowka, Alicja Nych, Maria Skretowiez, Pawel Zwodziak.** Application of the standard Sniffin' Sticks method to the determination Odor Inspectors' olfactory sensitivity in Poland. *Chemical engineering transaction,* 2010, **23,** 13-18, doi:10.3303/CET1023003.
- 6 **Muirhead, N., Benjamin, E., Saleh, H.** Is The University Of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT) Valid for the UK Population? *Rila Publications Ltd. The Otorhinolaryngologist,* 2013; **6(2),** 99-103.
- 7 **Aya Fukasawa, Kenichi Okada.** Olfactory Measurement Method at Health checkup with Olfactory Display using Pulse Ejection. *International Journal of Informatics Society,* 2013, **5,** 13-19.
- 8 **Scadding et al.** Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper. *Clinical and Translational Allergy,* 2011, **1:2,** 1-39.
- 9 **Morohoev, V. I.** Obonyatel'naya disfunktsiya: diagnostika i khirurgicheskoe lechenie [Olfactory dysfunction: diagnosis and surgical treatment]. *Vestnik otorinolaringologii [Journal of otorhinolaryngology],* 1990, **6,** 36-41.
- 10 Sposob ol'faktometrii [Method olfactometry]: pat. 2089093. А61В 5/00, А61В 3/02, А61В 3/10. **Morozova, N.E., Ananyin, V.V., Kudrin, A.N., Ovchinnikov, Y.M.** - № 95116668/14: Stated 28.09.1995: Published: 10.09.1997.
- 11 Sposob provedeniya porogovoy ol'faktometrii [The method of the threshold olfactometry]: pat. 2169364. G01N 33/15, А61В 10/00, А61J 1/06. **Domrachev, A.A., Afonkin, S. Yu., Savchenkov, Y.I., Amelchugov, J.V., Ehrlich, I.A.** - № 99123781/14: Stated. 10.11.1999: Published: 20.06.2001.
- 12 **Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., Mackay-Sim, A.** Normative data for the Sniffing sticks 35 including tests of odor identification, odordiscrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *Eur Arch Otorhinolaryngol,* 2007, **264,** 237-243, doi:10.1007/s00405-006-0173-0.
- 13 **Savvateeva, D. M., Lopatin, A. S.** Diagnostika i lechenie obonyatel'noy disfunktsii u bol'nykh ostrym rinosinusitom [Diagnosis and treatment of olfactory dysfunction in patients with acute]. *Rossiyskaya rinologiya [Russian Rhinology],* 2010, **2,** 8-11.
- 14 Sposib viznachennya nyukhovoї aktivnosti lyudini [Method of determining the olfactory human activity]: Patent for useful model 84393, А61В 5/0205 **Bespalova, S. V., Govta, M. V., Kotljarova, I. V., Kuzmenko Yu. O.** Published: 25.10.2013, № 20.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Caroline Huart, Philippe Rombaux, Thomas Hummel.** Plasticity of the Human Olfactory System: The Olfactory

About authors (Сведения об авторах)

Oleg Avrunin – Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), Professor, Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: gavrun@list.ru.

Аврунин Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры биомедицинской инженерии; г. Харьков, Украина; e-mail: gavrun@list.ru.

Natalja Shushlyapina – Candidate of Medical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Otorhinolaryngology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: schusha75@mail.ru.

Шушляпина Наталья Олеговна – кандидат медицинских наук, доцент, кафедра Оториноларингологии, Харьковский национальный медицинский университет, г. Харьков, Украина; e-mail: schusha75@mail.ru..

Yana Nosova – graduate student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yasanosova@rambler.ru.

Носова Яна Витальевна – аспирант, кафедра биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: yasanosova@rambler.ru.

Olga Bogdan – senior teacher, Department of Foreign Languages, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nyav007@gmail.com .

Богдан Ольга Николаевна – старший преподаватель, кафедра иностранных языков, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: nyav007@gmail.com.

Please cite this article as:

Avrunin, O., Shushlyapina, N., Nosova, Y., Bogdan, O. Olfactometry diagnostic at the modern stage. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 95-100, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.13.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Аврунин, О. Г. Ольфактометрическая диагностика на современном этапе / **О. Г. Аврунин, Н. О. Шушляпина, Я. В. Носова, О. Н. Богдан** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 95-100. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.13.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Аврунін, О. Г. Ольфактометрична діагностика на сучасному етапі / **О. Г. Аврунін, Н. О. Шушляпіна, Я. В. Носова, О. М. Богдан** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 95-100. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.13.

АНОТАЦІЯ Ця стаття присвячена огляду найбільш популярних методів оцінки ступеня нюхових розладів. Більшість методів оцінки ступеня порушення нюху мають широкий спектр застосування для діагностики різних захворювань, включаючи психічні розлади, пошкодження мозку і нервової системи. Однак, в рамках нашого завдання необхідно розглядати дисфункцію нюху в зв'язку з проблемою проходження повітря в нюховий аналізатор людини. Таким чином, в перспективі подальших досліджень представляється необхідним розробити метод оцінювання нюхової функції на основі параметрів дихання, отриманих в результаті риноманометричного обстеження, що дозволить підвищити об'єктивність проведених досліджень.

Ключові слова: запах, ніс, ольфактометрія, слиз, одорант, дисфункція, стимул

Поступила (received) 16.03.2016

УДК 510.635:004.891(045)

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14

СПОСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ЛОГІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЧАСТИНАМИ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

А. І. ВАВІЛЕНКОВА

*Кафедра комп'ютеризованих систем управління, Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА
e-mail: a_vavilenkova@mail.ru*

АНОТАЦІЯ Метою роботи є створення формального опису способів виявлення логічних зв'язків між частинами текстів. Одним із засобів лінгвістичного аналізу текстової інформації та екстракції знань є логіко-лінгвістичні моделі. Довільний текст можна представити у вигляді масиву логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови, логічні операції та структурні компоненти яких вказують на типи логічних зв'язків. Пропонується для відображення структури тексту використовувати формальний опис п'яти абстрактних моделей, що в подальшому дають можливість визначити тематику тексту.

Ключові слова: логіко-лінгвістичні моделі, природна мова, логічні зв'язки, текстовий документ, аналіз.

METHODS OF IDENTIFYING LOGICAL CONNECTIONS BETWEEN PARTS OF TEXT DOCUMENTS

A. VAVILENKOVA

Department of Computerized Control Systems, National Aviation University, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The objection of work is creation a formal specification of methods of identifying logical connections between parts of texts. One of the means of text information linguistic analysis and knowledge extraction is logic and linguistic model. Any text can be presented as array of logic and linguistic models of natural language sentences, where logic operations and structural components indicate the types of logical relationships. There are two levels while constructing the text. The first level reflects the grammar links between the natural language sentences, and the second one is in content relationships between fragments of text. Exactly the construction of the second level is proposed to be used for formal description of five abstract models. For that purpose, every natural language sentence transforms into logic and linguistic model, which is an atomic predicate for the simple sentence and, correspondingly, set of atomic predicates for the complex sentence. The first abstract model is based on the consistent deployment of information when the object of the preceding sentence becomes subject for the next sentence. For the second abstract model the key point is usage of the same subject in a few natural language sentences, and within these sentences subject is represented in different interpretations. The third model is based on the fact that the subjects of logic and linguistic models of the next natural language sentences are hyperons or conversives in relation to the subject of the first sentence of text fragment. For the fourth abstract model the subject of the first sentence is partly the subject for the next sentences. In the fifth model the subjects of the next sentences can be both objects and matters of the first sentence and its subject. The result of the construction of such abstract models are polyhedrons that subsequently used to determine the texts' subject (topic).

Keywords: logic and linguistic models, natural language, logical links, text document analysis.

Вступ

Збільшення інформаційних потоків та динамічний характер інформаційного попиту спричиняє потребу у постійному отриманні оперативної інформації для своєчасного прийняття правильних рішень [1]. Тому першочерговою задачею при обробці великих обсягів інформації є аналіз даних, а системи управління базами даних повинні підтримувати методи повнотекстового пошуку, які б дозволили швидко знаходити потрібну інформацію серед великих об'ємів текстів [2]. Аналіз даних передбачає створення математичних методів та алгоритмів екстракції знань з експериментальних даних; фільтрацію, перетворення та моделювання даних з метою отримання корисної інформації та прийняття рішень [3].

Дослідження текстових документів на змістовному рівні передбачає застосування методів

лінгвістичного аналізу та основних положень теорії тексту [4]. Існуючі системи лінгвістичного аналізу (Oracle Text, Advego, IBM Intelligent Miner for Text, технологія ABBY Y Compreno, Cognitive Dwarf та ін.) оперують різноманітними парсерами, механізмами перекладу, автоматичного реферування та анотування, тезаурусами [5]. Проте жоден із перерахованих програмних продуктів не здійснює змістовного аналізу та автоматичного пошуку логічних зв'язків між складними синтаксичними конструкціями текстів. У свою чергу, фахівці у сфері структурної лінгвістики (В.А. Широков [6], Дж. Лайонз [7], І.Р. Гальперін [8], К.А. Філіппов [9]) виділяють та описують форми змістовного зв'язку у текстах, не підкріплюючи їх алгоритмами автоматичного простеження. Тому актуально є задача створення формального опису способів організації логічних зв'язків у текстах для подальшого автоматичного аналізу текстових документів.

Одним із засобів лінгвістичного аналізу текстової інформації та екстракції знань є логіко-лінгвістичні моделі. Зокрема, представлення тексту у вигляді масиву логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови та встановлення закономірностей між їх структурними компонентами дає можливість простежити логічні зв'язки між частинами текстових документів.

Мета роботи

Метою роботи є створення формального опису способів виявлення логічних зв'язків між частинами тексів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Дослідити можливі способи побудови текстів довільної тематики.
- 2) Представити речення природної мови за допомогою логіко-лінгвістичних моделей.
- 3) Сформувати абстрактні моделі побудови логічних зв'язків у текстах.

Викладення основного матеріалу

Розрізняють два рівні побудови тексту. На першому рівні речення тексту зв'язуються за допомогою граматичних залежностей. Другий рівень необхідний для формування змістовної єдності тексту, що вбачається у змістовних зв'язках між фрагментами тексту, обумовлюючи його тип. Таким чином, кожен текст складається зі змістовних одиниць, які виконують у тексті певні функції.

За Т. ван Дейком модель пояснення процесів, пов'язаних зі сприйняттям змісту тексту, відбувається через послідовний зв'язок макроструктур (рис. 1).

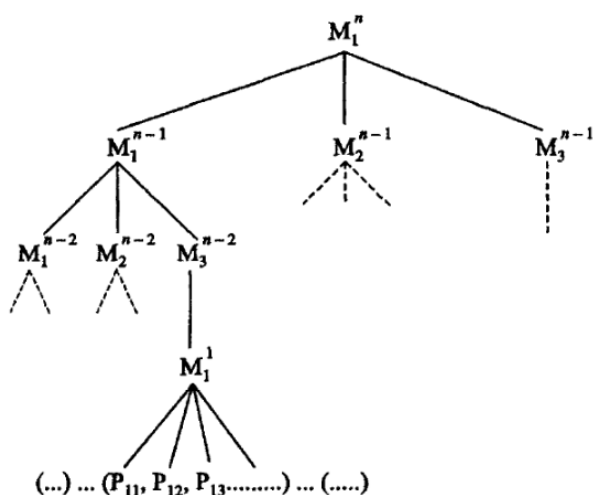


Рис. 1 – Ієрархія макроструктур в концепції Т. ван Дейка

Кожен рівень позначається більш високим індексом, охоплює ряд пропозицій до найвищого

рівня (від $M^{(1)}$ до $M^{(n)}$). Основною проблемою побудови структури тексту з використанням такої моделі є шляхи виявлення макроструктур у тексті. Це стає можливим завдяки застосуванню правил семантичної трансформації.

В основі змістовної єдності текстів довільної тематики та структури, тобто при формування другого рівня, лежить п'ять абстрактних моделей, кожна з яких представляє собою сукупність пресупозицій, компонент змісту речень, які повинні бути істинними для того, щоб речення не сприймалося як аномальне або недоречне у даному контексті [9]. Для кожної з абстрактних моделей пропонується формалізований опис способів організації зв'язків між макроструктурами тексту.

Довільне просте речення природної мови можна представити у вигляді атомарного предикату виду:

$$L(S) = p(x, g, y, q, z, r, h), \quad (1)$$

- де x – суб'єкт інваріантної до $L(S)$ логіко-лінгвістичної моделі;
- g – характеристика суб'єкта x ;
- y – об'єкт логіко-лінгвістичної моделі;
- q – характеристика об'єкта y ;
- p – відношення, що пов'язує суб'єкт x з об'єктом y у логіко-лінгвістичної моделі;
- z – предмет p -го відношення між суб'єктом x та об'єктом y у логіко-лінгвістичної моделі;
- r – характеристика предмету відношення;
- h – характеристик відношення p .

Істинність логічного висловлювання (1) нерозривно пов'язана з правильністю побудови речення природної мови. Зміст різних частин складного твердження (сукупності атомарних предикатів виду (1), пов'язаних логічними операціями) задається всіма можливими способами рекурсивного задання групи функцій інтерпретації, що проектують речення природної мови на деякі завчасно задані математичні множини. Так, інтерпретація логіки предикатів першого порядку задається проектуванням в терми, а проектування предикатів – у значення «істина» або «хибність».

Абстрактна модель №1. Базується на послідовному розгортанні інформації, коли об'єкт або предмет попереднього речення стає суб'єктом для наступного. У такому тексті розгортання змісту відбувається від заданого до нового. Логіко-лінгвістичні моделі речень природної мови, з'єднані за таким принципом, будуть пов'язані операцією кон'юнкції і матимуть вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(y^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

.....

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(y^{(i-1)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(y^{(n-1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}),$$

де $i = \overline{1, n}$ – номер речення у фрагментів тексту,
 n – загальна кількість речень у фрагменті тексту.

Графічна інтерпретація першої абстрактної моделі побудови тексту для фрагменту із трьох простих речень зображена на рис.2.

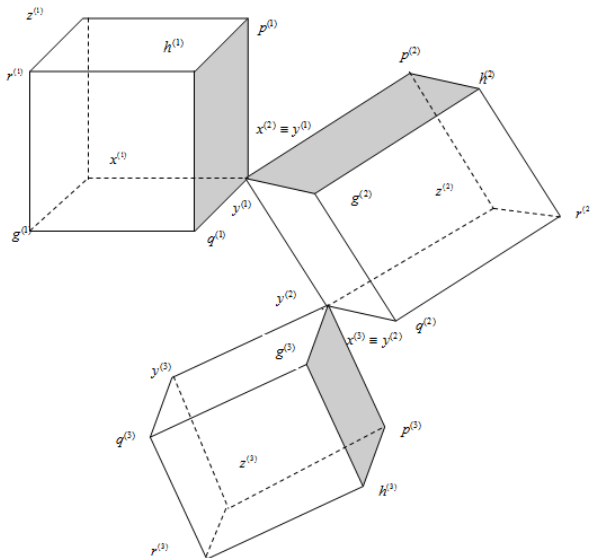


Рис. 2 – Інтерпретація першої абстрактної моделі

Абстрактна модель №2. Друга абстрактна модель характеризується тим, що у декількох реченнях природної мови вживається один і той самий суб'єкт, представлений у різних інтерпретаціях. Тобто одна і та сама тема пронизує увесь текст.

Логіко-лінгвістичні моделі речень природної мови, з'єднані за таким принципом, будуть пов'язані операцією кон'юнкції і матимуть вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(x^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(x^{(1)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(x^{(1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}).$$

Абстрактна модель №3. Для третьої моделі характерно, що суб'єкти логіко-лінгвістичних моделей всіх наступних речень природної мови є гіперонімами або конверсивами до суб'єкта, об'єкта, предмета відношень або характеристики відношення першого речення фрагменту, що розглядається. Таким чином, у кожній логіко-лінгвістичній моделі присутні елементи загальної тематичної направленості тексту. Як і для перших двох типів абстрактних моделей,

логіко-лінгвістичні моделі природної мови будуть з'єднані логічною операцією кон'юнкції і матимуть наступний вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(\tilde{x}^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(\hat{x}^{(1)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(\tilde{x}^{(1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}),$$

якщо $\tilde{x}^{(1)}$ – синонім суб'єкта $x^{(1)}$, $\hat{x}^{(1)}$ – гіперонім суб'єкта $x^{(1)}$, $\tilde{x}^{(1)}$ – конверсив суб'єкта $x^{(1)}$.

Якщо загальна тематика фрагменту тексту стосується предмета відношень першого речення, тобто $\hat{z}^{(1)}$ – гіперонім предмета відношень $z^{(1)}$, $\tilde{z}^{(1)}$ – синонім предмета відношень $z^{(1)}$, $\tilde{z}^{(1)}$ – конверсив предмета відношень $z^{(1)}$, то логіко-лінгвістичні моделі матимуть вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(\hat{z}^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(\tilde{z}^{(1)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(\tilde{z}^{(1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}).$$

Абстрактна модель №4. Для четвертої абстрактної моделі суб'єкт першого речення частково виступає суб'єктом для всіх наступних. Тобто всі речення фрагменту розкривають одну тему, основи якої закладені у першому реченні тексту.

Логіко-лінгвістичні моделі речень природної мови, з'єднані за таким принципом, будуть пов'язані операцією кон'юнкції і матимуть вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x_1^{(1)} \& \dots \& x_n^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(x_1^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(x_i^{(1)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$\dots \dots \dots$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(x_n^{(1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}).$$

Абстрактна модель №5. У п'ятій моделі суб'єктами наступних речень можуть бути об'єкти, предмети та суб'єкти першого речення. У такому фрагменті передбачається відновлення відсутніх у тексті змістовних елементів шляхом їх заміни структурними компонентами логіко-лінгвістичних моделей першого речення тексту, що розглядається.

Логіко-лінгвістичні моделі речень природної мови, з'єднані за таким принципом, будуть пов'язані операцією кон'юнкції і матимуть вигляд:

$$L(S^{(1)}) = p^{(1)}(x^{(1)}, g^{(1)}, y^{(1)}, q^{(1)}, z^{(1)}, r^{(1)}, h^{(1)}) \&$$

$$L(S^{(2)}) = p^{(2)}(y^{(1)}, g^{(2)}, y^{(2)}, q^{(2)}, z^{(2)}, r^{(2)}, h^{(2)}) \&$$

$$L(S^{(i)}) = p^{(i)}(z^{(i)}, g^{(i)}, y^{(i)}, q^{(i)}, z^{(i)}, r^{(i)}, h^{(i)}) \&$$

$$L(S^{(n)}) = p^{(n)}(x^{(1)}, g^{(n)}, y^{(n)}, q^{(n)}, z^{(n)}, r^{(n)}, h^{(n)}).$$

Отже, послідовність розгортання змісту текстового фрагменту можна визначити за компонентами логіко-лінгвістичних моделей, зокрема, за зв'язками між їх суб'єктами, об'єктами та предметами відношень.

Обговорення результатів

Нехай розглядається фрагмент тексту: "...Відзначена закономірність побудови ланцюжків є регулярною, що дозволяє сформувати її аксіоматично у вигляді трьох постулатів. Перший постулат є цілком очевидним: кожне українське дієслово реалізується в мові лексемою. Другий постулат: кожна дієслівна лексема з визначеною і зафіксованою лексичною семантикою та конкретним значенням виду може реалізовуватися дієсловами. Третій постулат: кожна дієслівна лексема з конкретним значенням виду і зафіксованою лексичною семантикою може реалізовуватися дієсловами, які мають не більше чотирьох фонетичних варіантів..." [10]. Необхідно визначити його тематичну направленість.

Для кожного речення заданого текстового фрагменту будуватиметься логіко-лінгвістична модель, в результаті чого отримується множина логічних формул, які формально описують речення природної мови:

$L(S^{(1)}) = \epsilon$ & регулярною (закономірність, відзначена, побудови, 0, ланцюжків, 0) → дозволяє & сформувати (це, 0, закономірність, відзначену, вигляді & постулатів, трьох, аксіоматично).

$L(S^{(2)}) = \epsilon$ & очевидним (постулат, перший, 0, 0, 0, 0, цілком) → [реалізується (дієслово, кожне, лексемою, 0, 0, 0, мові)] & (реалізується (дієслово, українське, лексемою, 0, 0, 0, мові)].

$L(S^{(3)}) =$ Другий (постулат, 0, 0, 0, 0, 0, 0) → [(може & реалізовуватися (лексема, кожна, семантикою, визначеною, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, семантикою, визначеною, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, кожна, семантикою, зафіксованою, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, семантикою, зафіксованою, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, кожна, семантикою, лексичною, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, семантикою, лексичною, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, кожна, значенням & виду, конкретним, дієсловами, 0, 0)) &

(може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, значенням & виду, конкретним, дієсловами, 0, 0))].

$L(S^{(4)}) =$ Третій (постулат, 0, 0, 0, 0, 0, 0) → [(може & реалізовуватися (лексема, кожна, значенням & виду, конкретним, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, значенням & виду, конкретним, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, кожна, семантикою, зафіксованою, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, семантикою, зафіксованою, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, кожна, семантикою, лексичною, дієсловами, 0, 0)) & (може & реалізовуватися (лексема, дієслівна, семантикою, лексичною, дієсловами, 0, 0))] → [(мають (дієслова, 0, варіантів, чотирьох, 0, 0, не & більше)) & (мають (дієслова, 0, варіантів, чотирьох, 0, 0, не & більше)) & (мають (дієслова, 0, варіантів, фонетичних, 0, 0, не & більше))].

Предмет відношень та його характеристика з першого речення фрагменту тексту "три постулати" виступають суб'єктом відношень та відношенням безпосереднього для наступних речень фрагменту: "перший постулат", "другий постулат", "третій постулат". Тому для даного фрагменту характерна четверта абстрактна модель, що відповідає тематичній прогресії з розщепленою ремою (новою інформацією по тексту). Відновлення компонентів логіко-лінгвістичних моделей, тобто відтворення відсутніх слів у реченнях природної мови, але присутніх у тексті змістовно, відбувається на основі використання принципів синтезу логіко-лінгвістичних моделей [11].

Висновки

У статті описано формальний апарат у вигляді логіко-лінгвістичних моделей представлення знань речень природної мови, що являється підґрунтям для виявлення логічних зв'язків між частинами текстів [12]. Текст представляється у вигляді множини логіко-лінгвістичних моделей, логічні операції та структурні компоненти яких вказують на типи логічних зв'язків.

Дослідження можливих способів побудови текстів довільної тематики дало змогу сформувати абстрактні моделі побудови логічних зв'язків у текстових фрагментах. Результатом побудови таких абстрактних моделей є багатогранники, що в подальшому використовуються для визначення тематики текстів.

Список літератури

- 1 Zhang, Y. Discriminative syntax-based word ordering for text generation / Y. Zhang // *Computational linguistics*. – 2015. – Vol. 41, №3. – P. 503-538. – doi:10.1162/COLI_a_00229.

- 2 **Evans, V.** Lexical concepts, cognitive models and meaning-construction / **V. Evans** // *Journal of Cognitive semiotics*. – 2006. – P. 73-107. – doi:10.1515/COG.2006.016.
- 3 **Gries, S. Th.** Corpus-based methods and cognitive semantics: the many meanings of to run / **S. Th. Gries** // *Corpora in cognitive linguistics: corpus-based approaches to syntax and lexis*. – 2006. – P. 57-99.
- 4 **Jiawei, H.** Data Mining: Concepts and Techniques / **H. Jiawei, K. Micheline** // *Morgan Kaufmann Publishers*. – 2000. – 28 p.
- 5 **Jurafsky, D.** Natural Language Processing / **D. Jurafsky, C. Manning**. – Stanford University. – 2012. – [Web]: <https://www.coursera.org/course/nlp/> – 15.05.2014.
- 6 **Широков, В. А.** Корпусна лінгвістика / **В. А. Широков, О. В. Бугаков, Т. О. Грязнухіна** та ін. – К.: Довіра, 2005. – 471 с.
- 7 **Лайонз, Дж.** Лингвистическая семантика. Монография / **Дж. Лайонз**. – М.: Языки славянской культуры. – 2003. – 400 с.
- 8 **Гальперин, И. Р.** Текст как объект лингвистического исследования. Изд. 5-тое, стереотипное / **И. Р. Гальперин**. – М: КомКнига. – 2007. – 144 с.
- 9 **Филиппов, К. А.** Лингвистика текста. Курс лекций / **К. А. Филиппов**. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета. – 2008. – 336 с.
- 10 **Широков, В. А.** Лінгвістичні та технологічні основи тлумачної лексикографії / **В. А. Широков, В. М. Білоноженко, О. В. Бугаков** та ін. – К.: Довіра. – 2010. – 295 с.
- 11 **Вавиленкова, А. И.** Основные принципы синтеза логико-лингвистических моделей / **А. И. Вавиленкова** // *Кибернетика и системный анализ*. – 2015. – Т. 51, № 5. – С. 176-185.
- 12 **Chang, C.** Practical linguistic steganography using contextual synonym substitution and a novel vertex coding method / **C. Chang, S. Clark** // *Computational linguistics*. – 2014. – Vol. 40, №2. – P. 403-448. – doi:10.1162/COLI_a_00176.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Zhang, Y.** Discriminative syntax-based word ordering for text generation. *Computational linguistics*, 2015, **41(3)**, 503-538, doi:10.1162/COLI_a_00229.
- 2 **Evans, V.** Lexical concepts, cognitive models and meaning-construction. *Journal of Cognitive semiotics*, 2006, 73-107, doi:10.1515/COG.2006.016.
- 3 **Gries, S. Th.** Corpus-based methods and cognitive semantics: the many meanings of to run. *Corpora in cognitive linguistics: corpus-based approaches to syntax and lexis*, 2006, 57-99.
- 4 **Jiawei, H.** Data Mining: Concepts and Techniques, *Morgan Kaufmann Publishers*, 2000, 28 p.
- 5 **Jurafsky, D., Manning C.** Natural Language Processing, Stanford University, 2012. – [Web]: <https://www.coursera.org/course/nlp/> – 15.05.2014.
- 6 **Shirokov, V. A., Bugakov, O. V., Grjaznyxina, T. O.** Korpusna lingvistika, [Corpus linguistics], Kiev: *Dovira*, 471 p.
- 7 **Lyons, J.** Lingvisticheskaya semantika. Monografiya, [Linguistic semantics. Monograph], Moscow: *Yaziki slavyanskoj kylyri*, 2003, 400 p.
- 8 **Galperin, I. R.** Tekst kak ob"ekt lingvisticheskogo issledovaniya. [Text as an object of linguistic research], Moscow: *Komkniga Publ*, 2007, 144 p.
- 9 **Phillipov, K. A.** Lingvistika teksta, Sankt-Peterburg: *St. Petersburg university Publ.*, 2008, 336 p.
- 10 **Shirokov, V. A., Bilonozhenko, V. M., Bugakov, O. V.** Lingvistika teksta. Kurs lektсий. [Linguistic and technological bases of interpretative lexicography], Kiev, *Dovira Publ.*: 2010, 295 p.
- 11 **Vavilenkova, A. I.** Osnovnye printsipy sinteza logiko-lingvisticheskikh modeley [Basic Principles of the Synthesis of Logical-Linguistic Models], *Cybernetics and Systems Analysis*, 2015, **51(5)**, 826-834.
- 12 **Chang, C., Clark, S.** Practical linguistic steganography using contextual synonym substitution and a novel vertex coding method, *Computational linguistics*, 2014, **40(2)**, 403-448, doi:10.1162/COLI_a_00176.

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: a_vavilenkova@mail.ua.

Anastasia Vavilenkova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Computerized Control Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine; e-mail: a_vavilenkova@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вавиленкова, А. І. Способи виявлення логічних зв'язків між частинами текстових документів / **А. І. Вавиленкова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 101-105. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14.

Please cite this article as:

Vavilenkova, A. Methods of identifying logical connections between parts of text documents. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 101-105, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вавиленкова, А. И. Способы обнаружения логических связей между частями текстовых документов / **А. И. Вавиленкова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 101-105. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.14.

АННОТАЦІЯ Целью статьи является создание формального описания способов обнаружения логических связей между частями текстов. Одним из способов лингвистического анализа текстовой информации есть логико-лингвистические модели. Произвольный текст можно представить в виде массива логико-лингвистических моделей естественного языка, логические операции и структурные компоненты которых указывают на типы логических связей. Предлагается использовать для отображения структуры текста формальное описание пяти абстрактных моделей, что в будущем дает возможность определить тематику текста

Ключові слова: логико-лингвистические модели, естественный язык, логические связи, текстовый документ, анализ.

Надійшла (received) 21.03.2016

УДК 004.75

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.15

ВИБІР ПРОТОКОЛУ СЕРІАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМУНІКАЦІЙНОГО МОДУЛЯ SCADA-СИСТЕМ

Ю. С. ГРУДЗИНСЬКИЙ*, Р. В. МАРКОВ

Кафедра АТЕП, НТУУ «КПІ», Київ, УКРАЇНА

*email: jug@sonettele.com

АНОТАЦІЯ В даній статті розглянуто сучасні протоколи серіалізації даних. Зокрема розглянуто протоколи XML, JSON, упаковання в бінарний вигляд, Protobuf та представлення даних у вигляді рядків. Проведено порівняння даних способів серіалізації даних для подальшого використання в розробці програмного забезпечення комунікаційного модуля SCADA-систем. Описано основні переваги та недоліки вище вказаних протоколів серіалізації. Зроблено висновки по доцільності використання Protobuf.

Ключові слова: протокол, XML, JSON, Protobuf, серіалізація.

PROTOCOL SELECTION FOR SERIALIZATION SOFTWARE DEVELOPMENT COMMUNICATION MODULE SCADA-SYSTEMS

Y. GRUDZYNSKYI*, R. MARKOV

Department АТЕР, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine

*email: jug@sonettele.com

ABSTRACT The main purpose of this article is a selection protocol serialization data to develop software communication module SCADA - systems. For this purpose, considered serialization protocols that have become popular to date. These protocols are XML, JSON, Protobuf, packaging type and a binary representation of data in rows. In the present article is to compare them, prompting the main advantages and disadvantages.

Particularly simple and very popular way - is to present all data in rows. The advantage of this approach is that the data are those that can be read by a man, and the implementation is simple and requires no special knowledge. The main disadvantage of this approach is that the structures represent a string suitable only for very simple data sets. Also have to write a lot of code to encode and decode, and speed of execution is poor. Another popular method - a record of data in XML. The data in this case are clearer than in the case of simple ASCII strings, and flexibility are on top. But as is the case with the previous method, read and write data in XML-format imposes great limitations on performance. Today's data serialization protocol is protocol as JSON. This is an easy way to store and transfer of structured data, based on the text. With a simple syntax becomes possible to easily store as simple numbers and strings and arrays, objects, using nothing but a text. JSON compact compared to XML, clear and easy for people to read the computer. It can easily be converted into software format.

The disadvantage of the above described protocol is that all facilities provided are for low-level tools. Also of great importance is the size of the original package, integrity and security of data when dealing with protocols listed above can not be guaranteed because the data transmission based only on text transformations. All these shortcomings methods designed to eliminate Protobuf by Google.

Keywords: protocol, XML, JSON, Protobuf, serialization.

Введення

Комунікаційні модулі сучасної SCADA-системи виконують багато роботи, пов'язаної з обміном інформації між контролерами промислової мережі та самою системою. Зазвичай, ці дані необхідно зберігати в самій системі, а також треба забезпечити ефективний, надійний та швидкий обмін ними між іншими елементами SCADA-системи. Часто в самій програмі ми працюємо з цими даними зовсім в іншому вигляді і доводиться писати багато коду, щоб зберегти/відновити стан об'єктів діючої системи. Для серіалізації даних обміну використовується декілька протоколів.

Серіалізація - це процес переведення будь-якої структури даних в послідовність бітів. Зворотньою до операції серіалізації є операція

десеріалізації (структуризації) - відновлення початкового стану структури даних з бітової послідовності. Ця послідовність може бути як бінарним представленням цих даних, так і текстовим. У більшості випадків серіалізація потрібна для пересилання будь-яких повідомлень по мережі.

Мета роботи

Основна мета - це вибір протоколу серіалізації даних для розробки програмного забезпечення комунікаційного модуля SCADA - систем, що дозволить здійснювати швидкий, надійний та паралельний обмін даними.

Виклад основного матеріалу

Коли перед програмістом постає завдання серіалізації даних, наприклад для їх подальшої передачі по мережі, у нього є кілька шляхів.

Найпростіший і досить популярний спосіб - це представити всі дані у вигляді рядків. У цьому випадку на виході ми отримаємо потік ASCII-символів, який потім буде передано по мережі або записано у файл.

Перевагою цього підходу є те, що дані залишаються такими, що можуть бути прочитані людиною, а сама реалізація проста і не вимагає спеціальних знань.

Основним недоліком даного підходу є те, що представлення структур у вигляді рядка підійде тільки для дуже простих наборів даних. До того ж доведеться писати досить багато коду для кодування і декодування, а швидкість його виконання буде бажати кращого.

Інший популярний метод - це запис даних в XML. XML-документ являє собою звичайний текстовий файл, в якому за допомогою спеціальних маркерів створюються елементи даних, послідовність і вкладеність яких визначає структуру документа і його зміст. Основною перевагою XML документів є те, що при відносно простому способі створення та обробки, вони дозволяють створювати структуровану інформацію.

Різноманітних бібліотек, що займаються парсингом XML-файлів, можна нарахувати безліч, що спрощує процес написання механізмів серіалізації. Дані в цьому випадку представлені наочніше, ніж у випадку простих ASCII рядків, та й гнучкість тут на висоті. Багато популярних протоколів використовують цю мову розмітки в якості своєї основи, так як вона розширювана і дозволяє не сильно замислюватися про зворотну сумісність при оновленні структури даних. Але, як і у випадку з попереднім способом, читання і запис даних в XML-формат накладає великі обмеження на продуктивність. Навігація по дереву вимагає високої потужності процесора, та й код, все-таки, теж доведеться трохи дописати, щоб все працювало так, як задумано. Ще один мінус, який необхідно врахувати - це розмір одержуваних даних. При досить великих обсягах інформації або поганих мережевих з'єднаннях використовувати XML не надто доцільно.

Сучасним протоколом серіалізації даних на сьогодні також являється протокол JSON. JavaScript Object Notation - простий формат обміну даними, зручний для читання і написання як людиною, так і комп'ютером. Він заснований на підмножині мови програмування JavaScript, визначеної в стандарті ECMA-262 3rd Edition - December 1999. JSON - текстовий формат, повністю незалежний від мови реалізації, але він використовує угоди, знайомі програмістам С-

подібних мов, таких як С, С ++, С # , Java, JavaScript, Perl, Python і багатьох інших. За допомогою простого синтаксису стає можливим легко зберігати як прості числа і рядки, так і масиви, об'єкти, використовуючи при цьому не що інше як текст. Так само можна пов'язувати об'єкти і масиви, що дозволяє створювати складні структури даних.

JSON має ряд переваг:

- компактніший ніж XML;
- зрозумілий для людей і легко зчитується комп'ютером;
- його легко можна перетворити в програмні формати: числові значення, рядки, булевий формат, масиви і асоціативні масиви.
- майже всі програмні мови мають функції, що дозволяють зчитувати і створювати json формат даних.

JSON складається із таких основних частин:

- Колекція пар ключ/значення. У різних мовах, ця концепція реалізована як об'єкт, запис, структура, словник, хеш, іменованій список або асоціативний масив.
- Упорядкований список значень. У більшості мов це реалізовано як масив, вектор, список або послідовність.

Це універсальні структури даних. Майже всі сучасні мови програмування підтримують їх в будь-якій формі. Логічно припустити, що формат даних, незалежний від мови програмування, повинен бути заснований на цих структурах.

Основним недоліком вище розглянутих протоколів є те, що всі засоби, що надаються для роботи, наприклад з JSON чи XML, є низькорівневими інструментами. Окрім того кінцевий розмір серіалізованих даних хотілося б зменшити, оскільки робота комунікаційного модуля SCADA-системи пов'язана з великою інформаційною завантаженістю мережі. Велике значення також має цілісність та захищеність даних, що при роботі із вище наведеними протоколами не може бути гарантована, оскільки передача даних основана лише на текстових перетвореннях.

Останній метод, який набув широкого поширення - це упаковка в бінарний вигляд. В цьому випадку ми практично повністю втрачаємо читабельність серіалізованих даних, але зате значно виграємо в швидкості їх парсинга і вихідному обсязі. Все це звичайно добре, але в разі байтового подання інформації ми отримуємо багато проблем з сумісністю при зміні структур даних в програмі, а також витрачаємо багато зусиль на підтримку коду упаковки і розпаковування в актуальному стані.

Цей недолік та всі недоліки вищеперахованих методів покликаній усунути протокол Protobuf від Google . Protocol Buffers - це спеціальний метод кодування структур даних, який дозволяє швидко і без проблем серіалізувати все що завгодно. Protocol Buffers має офіційну підтримку від Google для таких мов, як C ++, Java і Python. Ця підтримка виражається в наявності компілятора для спеціальної мови, що описує структури даних. Структура даних визначається заголовними файлами *.proto. Компілятор генерує з них об'єкти на різних мовах програмування, що забезпечує властивість кросплатформенності.

Такий підхід, з одного боку, дозволяє замінити будь-який компонент системи на його реалізацію на іншій мові, а, з іншого, дозволяє зручно підтримувати різні версії об'єктів, додавати нові поля і змінювати існуючі. Google розробив Protobuf для використання в своїх внутрішніх службах. Це бінарний формат кодування, який дозволяє задати схему для даних, що серіалізуються, з використанням спеціальних специфікацій.

Protobuf дозволяє описувати прості структури даних на спеціальній мові, яка потім компілюється в класи, що представляють ці структури. Разом з класами йде оптимізований код їх серіалізації в компактний формат представлення. А найкраще те, що доступ до даних максимально спрощено, оскільки для доступу до кожного поля у класі є відповідні методи "get" і "set", а для серіалізації об'єкта в масив байтів або потік введення/виведення потрібно зробити всього один виклик функції.

Protocol Buffers дозволяє перевести дані і об'єкти в програмі в бінарний вид і безпечно переслати їх по мережі або зберегти у файл для подальшого використання. Основною перевагою Protocol Buffers є простота використання. Досить зробити метаопис об'єкта, після чого виходить готовий код об'єкта і його серіалізація. Користувачеві потрібно просто використовувати отриманий код. Стандартні засоби Protocol Buffers дають можливість не тільки виконувати плоску (послідовну) серіалізацію, а й серіалізацію в потік, що дозволяє відразу вивести дані в файл, мережу або кудись ще і дозволяє підтримувати нормальні C++ потоки типу std::ostream і std::istream.

Почати роботу з протоколом Protobuf дуже просто. Спершу слід описати дані в proto-файлі. Розглянемо роботу із даним протоколом на прикладі програми що працює з списком людей і номерами їх кредитних карт. Мовою protobuf необхідні структури даних будуть виглядати приблизно так:

```
package CardsApp;

message CardHolder {
```

```
    required string firstName = 1;
    required string lastName = 2;
    required int32 id = 3;

    enum CardType {
        VISA = 0;
        MASTERCARD = 1;
        AMERICANEXPRESS = 2;
    }

    message CreditCard {
        required string cardNumber = 1;
        optional CardType type = 2 [default = VISA];
    }

    repeated CreditCard card = 4;
}

message CardHoldersList {
    repeated CardHolder person = 1;
}
```

На перший погляд код дуже схожий на програму написану на C++. І дійсно, синтаксис дуже схожий. На початку файлу знаходиться рядок з ім'ям пакета. Він визначає зону видимості даних і служить для запобігання конфлікту імен. Далі йде блок з повідомленнями, які починаються з ключового слова message. Ці конструкції є аналогами структур в C ++. Поля повідомлення підтримують такі типи даних, як bool, string, int32 і так далі. Наприклад, поле firstName є строковою змінною. На початку оголошення цієї змінної знаходиться ключове слово required. З назви неважко здогадатися, що це поле повинно бути завжди ініціалізоване. Всього таких специфікаторів може бути три: required, optional і repeated. Optional говорить protobuf-компілятору, що поле може бути не ініціалізоване, а repeated повідомляє про можливість неодноразового повторення змінної, описаної за допомогою цього специфікатор в структурі даних. Крім того, кожен елемент має так звані теги.

У прикладі видно, що, крім повідомлень, ми можемо визначити перерахування, а самі messages можуть бути вкладені одна в другу. Все це обіцяє нам високу гнучкість і легкість при роботі з кодом.

Після правильного опису використовуваних нами даних надаємо наш протофайл спеціальному компілятору. Оскільки Google офіційно підтримує цілих три мови програмування, то компілятору треба знати, під яку мову ми генеруємо код. Якщо наш файл називається cardholders.proto, то для успішного завершення операції командний рядок буде виглядати приблизно так:

```
protoc -I=$SRC_DIR --cpp_out=$DST_DIR
$SRC_DIR/cardholders.proto
```

Тут варто звернути увагу на параметр `-cpp out`, саме він визначає, що ми генеруємо код для C++.

Кожен клас `Protocol Buffer` має функції серіалізації в бінарне представлення і парсинга цього подання.

```
bool SerializeToString(string* output) const;  
bool ParseFromString(const string& data);  
bool SerializeToOstream(ostream* output) const;  
bool ParseFromIstream(istream* input);
```

Тут слід зауважити, що `serialize`-методи використовують STL-рядок лише в якості контейнера для бінарних даних. Не варто сподіватися, що, заглянувши всередину `string`-змінної, можна буде виявити хоч який-небудь текст, що читається.

Використання отриманих класів на практиці є дуже простим. Щоб переконатися в цьому, досить поглянути на код нижче.

```
int main(int argc, char* argv[]) {  
    GOOGLE_PROTOBUF_VERIFY_VERSION;  
    CardsApp::CardHoldersList card_holders;  
    AddToCardHolders(card_holders.add_person());  
  
    fstream output(argv[1], ios::out | ios::trunc | ios::binary);  
    if (!address_book.SerializeToOstream(&output)) {  
        cerr << "Failed to write file." << endl;  
        return -1;  
    }  
  
    fstream input(argv[1], ios::in | ios::binary);  
    if (!input) {  
        cout << argv[1] << ": File not found. Creating a new  
file." << endl;  
    }  
    else if (!card_holders.ParseFromIstream(&input)) {  
        cerr << "Failed to parse file." << endl;  
        return -1;  
    }  
  
    ListCardHolders(card_holders);  
    google::protobuf::ShutdownProtobufLibrary();  
    return 0;  
}
```

Перше, що ми бачимо в `main`-функції, - це макрос перевірки версії протобафа - `GOOGLE_PROTOBUF_VERIFY_VERSION`. Далі ми оголошуємо змінну `card_holders`, яка буде містити всі записи про власників карт. На поточний момент там порожньо, і ми додаємо туди один запис викликом функції `AddToCardHolders`, код якої розглянемо трохи нижче. Для збереження всього це в файлі ми відкриваємо файловий потік і викликаємо `SerializeToOstream`.

Щоб переконатися в тому, що все пройшло нормально, прочитаємо серіалізоване повідомлення

зі шойно створеного протобафом файлу. Для цього створимо ще один потік з атрибутами читання і викличемо метод `ParseFromIstream`. Після цього виведемо на екран прочитане за допомогою написаної нами функції `ListCardHolders`. Ну а в кінці не забуваємо викликати `google::protobuf::ShutdownProtobufLibrary ()` для запобігання витоку пам'яті.

```
void ListCardHolders(const  
CardsApp::CardHoldersList& card_holders) {  
    for (int i = 0; i < card_holders.person_size(); i++) {  
        const CardsApp::CardHolder& person =  
            card_holders.person(i);  
        cout << "Person ID: " << person.id() << endl;  
        cout << "First Name: " << person.firstName() <<  
            endl;  
        cout << "Last Name: " << person.lastName() <<  
            endl;  
    }  
}  
  
void AddToCardHolders(const CardsApp::CardHolder&  
card_holder) {  
    cout << "Enter person ID number: ";  
    int id;  
    cin >> id;  
    card_holder->set_id(id);  
    cin.ignore(256, '\n');  
  
    cout << "Enter first name: ";  
    getline(cin, *card_holder->mutable_firstName());  
  
    cout << "Enter last name: ";  
    getline(cin, *card_holder->mutable_lastName());  
}
```

Ну і наостанок поглянемо на код функцій `ListCardHolders` і `AddToCardHolders`. Доступ до елементів повідомлення здійснюється за допомогою `GET`-методів, імена яких збігаються з іменами самих елементів. Запис значень проводиться за допомогою `set`-методів.

Висновки

Із описаних вище протоколів серіалізації даних, можна зробити висновок, що для того щоб забезпечити ефективну роботу комунікаційного модуля SCADA системи (тим самим забезпечивши швидку, паралельну і надійну передачу даних), доцільно і обґрунтовано буде використовувати при розробці програмного забезпечення протокол `Protobuf`. Цей висновок підтверджено при створенні прототипу комунікаційного модуля нової вітчизняної SCADA-системи.

Список літератури

1. PROTOBUF VS. BOOST::SERIALIZATION [Електронний ресурс] // журнал "ХАКЕР". – 2013. – Режим доступу до ресурсу:

- <https://xakep.ru/2013/10/31/protobuf-vs-boost-serialization/>.
2. **Еллоїт Р.** XML. Справочник / **Р. Еллоїт, С. Мінс.** – М.: Символ-Плюс. – 2001. – 576 с.
 3. JSON и XML. Что лучше? [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <https://habrahabr.ru/post/31225/>.
 4. 5 Reasons to Use Protocol Buffers Instead of JSON For Your Next Service [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://blog.codeclimate.com/blog/2014/06/05/choose-protocol-buffers/>.
 5. Если вы еще используете JSON, то Google protobuf идет к вам! [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://knzsoft.blogspot.com/2012/11/protobuf.html>.
 6. Сопоставление JSON и XML [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb924435\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb924435(v=vs.110).aspx).
 7. Введение в JSON [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: <http://json.org/json-ru.html>.
 8. Как сериализовать и десериализовать данные JSON [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb412179\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb412179(v=vs.110).aspx).
 9. Json или «Туда и Обратно» [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://habrahabr.ru/company/naumen/blog/228279/>.
 10. Protocol Buffers [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://developers.google.com/protocol-buffers/>.
 11. ProtoBuf.js vs JSON [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://github.com/dcodeIO/protobuf.js/wiki/ProtoBuf.js-vs-JSON>.
 12. COMPARING PROTOBUF, JSON, BSON, XML WITH .NET FOR FILE STREAMS [Электронный ресурс] // 2014 – Режим доступа до ресурсу: <http://damienbod.com/2014/01/09/comparing-protobuf-json-bson-xml-with-net-for-file-streams/>.
 13. Protocol Buffer Basics: C++ [Электронный ресурс] // 2016 – Режим доступа до ресурсу: <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/cpptutorial#why-use-protocol-buffers>.
 14. Google Protocol Buffers in action (C++) [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://forums.4fips.com/viewtopic.php?f=3&t=807>.

Bibliography (transliterated)

- 1 PROTOBUF VS. BOOST: SERIALIZATION [Web] // "hacker " magazine ["Hacker" magazine], 2013, <https://xakep.ru/2013/10/31/protobuf-vs-boost-serialization/>.
- 2 **Elloit R., Means, S.** XML. Spravochnik. [Directory]. Moskow: Symbol - Plus, 2001, 576 p.
- 3 JSON i XML. Chto luchshe? [JSON and XML. What's better?] [Web], 2007, <https://habrahabr.ru/post/31225/>.
- 4 Reasons to Use Protocol Buffers Instead of JSON For Your Next Service [Web], 2014 <http://blog.codeclimate.com/blog/2014/06/05/choose-protocol-buffers/>.
- 5 Esli vy eshche ispol'zujete JSON, to Google protobuf idet k vam! [If you are still using JSON, then Google protobuf goes to you!] [Web], 2012, <http://knzsoft.blogspot.com/2012/11/protobuf.html>.
- 6 Sopostavlenie JSON i XML [Comparison of JSON and XML] [Web], 2014 [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb924435\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb924435(v=vs.110).aspx).
- 7 Vvedenie v JSON [Introduction to JSON] [Web], 2010, <http://json.org/json-ru.html>.
- 8 Kak serializovat' i deserializovat' dannye JSON [How to serialize and deserialize data JSON] [Web], 2012, [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb412179\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bb412179(v=vs.110).aspx).
- 9 Json ili «Tuda i Obratno» [Json or "There and Back Again"] [Web], 2014, <https://habrahabr.ru/company/naumen/blog/228279/>.
- 10 Protocol Buffers [Web], 2016, <https://developers.google.com/protocol-buffers/>.
- 11 ProtoBuf.js vs JSON [Web], 2015 <https://github.com/dcodeIO/protobuf.js/wiki/ProtoBuf.js-vs-JSON>.
- 12 COMPARING PROTOBUF, JSON, BSON, XML WITH .NET FOR FILE STREAMS [Web], 2015, <http://damienbod.com/2014/01/09/comparing-protobuf-json-bson-xml-with-net-for-file-streams/>.
- 13 Protocol Buffer Basics: C++ [Web], 2016, <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/cpptutorial#why-use-protocol-buffers>.
- 14 Google Protocol Buffers in action (C++) [Web], 2012, <http://forums.4fips.com/viewtopic.php?f=3&t=807>.

Відомості про авторів (About authors)

Грудзинський Юліан Євгенович – старший викладач, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів теплоенергетичного факультету; м. Київ, Україна; e-mail: jug@sonettele.com.

Grudzynskyy Yulian Yevgenovych – Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", a senior lecturer in the automation processes of heat and power cogeneration faculty; Kyiv, Ukraine; mail: jug@sonettele.com.

Марков Роман Валерійович – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», група ТА-41м, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів теплоенергетичного факультету; м. Київ, Україна; e-mail: markovovchok12@ukr.net.

Markov Roman Valeriyovich – student National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", group TA-41m in the automation processes of heat and power cogeneration faculty; Kyiv, Ukraine; mail: markovovchok12@ukr.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Грудзинський, Ю. С. Вибір протоколу серіалізації для розробки програмного забезпечення комунікаційного модуля scada-систем / **Ю. С. Грудзинський, Р. В. Марков** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 106-111. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.15.

Please cite this article as:

Grudzynskyy, Y., Markov, R. Protocol selection for serialization software development communication module scada-systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 106-111, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.15.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Грудзинский, Ю. Е. Выбор протокола сериализации для разработки программного обеспечения коммуникационного модуля scada-систем / **Ю. Е. Грудзинский, Р. В. Марков** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 106-111. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.15.

АННОТАЦИЯ В данной статье рассмотрены современные протоколы сериализации данных. В частности рассмотрены протоколы XML, JSON, упаковка в бинарный вид, Protobuf и представление данных в виде строк. Проведено сравнение данных способов сериализации данных для дальнейшего использования в разработке программного обеспечения коммуникационного модуля SCADA-систем. Описаны основные преимущества и недостатки вышеуказанных протоколов сериализации. Сделаны выводы по целесообразности использования Protobuf.

Ключевые слова: протокол, XML, JSON, Protobuf, сериализация.

Надійшла (received) 08.03.2016

УДК 004.942+574.51

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.16

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТУЧНИХ ВОДОЙМИЩ

Д. Д. ДУБОВИК¹, Т. М. ДУБОВИК^{2*}

¹ Інститут технічної механіки і державне космічне агентство НАН України, Дніпропетровськ, УКРАЇНА

² Кафедра Спеціалізованих комп'ютерних систем, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпропетровськ, УКРАЇНА

*email: tanya-dubovik@rambler.ru

АНОТАЦІЯ Аналіз стану великих штучних водойм є важливим для загальної оцінки стану водойм та прилеглої території. Використання зональних характеристик, інформаційних технологій, баз даних, дозволить відображати реальний стан водойм. У зв'язку із цим запропонована спеціальна система координат (зональна), що, опосередковано, пов'язана з поточними значеннями обсягів води в позначеній зоні й з поточними контурами берегів.

Ключові слова: штучне водоймище, зональна система координат, характеристики зони, інформаційні технології, бази даних, географічні координати, алгоритм.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF ZONAL CHARACTERISTICS OF ARTIFICIAL RESERVOIRS

D. DUBOVYK¹, T. DUBOVYK^{2*}

¹ Institute of engineering mechanics and state space Agency of NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, UKRAINE

² Department of "Spetsyalizovanih of computer systems", Ukrainian state chemical technology university, Dnepropetrovsk, UKRAINE

*email: tanya-dubovik@rambler.ru

ABSTRACT Analysis of the status of large artificial reservoirs is important for an overall assessment of status of water bodies and surrounding areas. The use of area characteristics, information technology, databases this will allow to reflect the real state of the water. For this purpose, different reference system, usually associated with geographic coordinates SWISS and its elements. A special system of coordinates (zonal), which, indirectly, is related to current values of water volumes in the designated area and with the current contours of the coast. The number of zones does not depend on changes of water volume and shapes of SWISS banks in the course of its operation, and the volume of each of the selected spatial zones will be a function of the water level in the cooling pool. Thus, it is possible to construct the set of States of SWISS, characterizing its content and the contour of the shoreline, as a function of the deviation from the NPC, or the absolute value of the current supply level. Such approach allows to preserve the structure of the zonal description of SWISS regardless of the current values of the main morpho-metric characteristics and to describe its state the set of local spatial areas.

Keywords: artificial reservoir, zone system of coordinates, characteristics of a zone, information technologies, databases, geographical coordinates, algorithm.

Вступ

При аналізі великих штучних водоймищ, далі ШВ, необхідним елементом опису їхнього стану є прив'язка екологічної інформації до певних ділянок (зон) водного простору. Для цієї мети використовуються різні системи відліку, як правило, пов'язані з географічними координатами ШВ і його елементів. Особливістю великих ШВ є помітно виражена динаміка його морфо-метричних характеристик, особливо таких, як миттєвий обсяг ШВ, і контури берегової лінії. Крім того, для великих ШВ характерним є значна неоднорідність екологічних показників як функції його просторових координат. Це ускладнює прив'язку екологічної інформації до різних зон водойми, у силу їхньої значної мінливості, пов'язаної зі змінами об'єму води в процесі експлуатації ШВ.

Постановка задачі

У зв'язку із цим запропонована спеціальна система координат (зональна), що, опосередковано, пов'язана з поточними значеннями обсягів води в позначеній зоні й з поточними контурами берегів. При цьому число виділених зон не залежить від змін обсягу води й контурів берегів ШВ у процесі його експлуатації, а обсяги кожної з виділених просторових зон стануть функцією рівня води у ШВ. Ці обсяги і їхні геометричні характеристики функціонально залежать від коливань підпірного рівня щодо його номінального стану, що відповідає нормальному підпірному рівню (НПР) ШВ. Таким чином, можна побудувати безліч станів ШВ, що характеризують його наповнення й контур берегової лінії, як функцію відхилення

від НІР, або поточного абсолютного значення підпірного рівня. Такий підхід дозволяє зберегти структуру зонального опису ШВ поза залежності від поточних значень його основних морфо-метричних характеристик й описати його стан набором локальних просторових зон. Частиною кожної з локальних зон є й деякий обсяг наїлка, що у загальному випадку є функцією часу й характеризує процеси замулення водойми. Таке структурування дозволить проводити локальний екологічний аналіз, на його снуванні здійснювати агрегування локальних зон водойми, визначаючи при цьому інтегральні зони однорідного екологічного стану. Запропонований формалізм дозволяє структурувати необхідну інформацію при створенні інформаційної моделі екологічного стану ШВ.

Особливості районування ШВ

Знання про складний об'єкт можна одержати, вивчаючи властивості його елементів. Будь-яку складну систему можна розкласти на прості системи (підсистеми). Стосовно до водоймищ зручніше за все це зробити на основі районування. Останнє трактується як «метод членування досліджуваної території на такі таксони, які відповідали б двом критеріям – критерію специфіки виділюваних територіальних комірок і критерію взаємозв'язку їхніх елементів, що насичують» [1, 2].

Досвід багаторічного вивчення водоймищ [3 - 5] показує, що вплив природних факторів і діяльності людини на характер й інтенсивність всіх внутрішньо-водоймових процесів, а також своєрідна взаємодія водойми з навколишнім середовищем спричиняються особливості його морфометрії й морфології. З урахуванням досвіду районування великих водоймищ можна виділити наступну систему таксономічних одиниць: плесо, гідрологічний район, гідрографічна ділянка. Усередині кожної одиниці можуть бути встановлені глибоководна й мілководна зони, лінійно витягнуті уздовж береги, що визначають перенос речовини й енергії. Необхідність їхнього виділення сумнівів не викликає, тому що обумовлено різними процесами. До своєрідності мілководної зони ставиться її положення, що визначає функції розмежування й зв'язку між цими середовищами: постійний контакт прибережних вод із дном й атмосферою, що забезпечує безперервний обмін теплом і речовиною між водою, ґрунтом і повітрям, освітленість, що досягає дна й достатня для росту донної рослинності; заростання дна мілководь різними фітоценозами.

Для мілководий характерний уповільнений водообмін, що сприяє інтенсивному протіканню тут біологічних і біохімічних процесів. Особливості формування компонентів мілководь залежать від їх морфологічних і морфометричних характеристик, літології, місця положення в плані. Цієї ж характеристики в остаточному підсумку визначають тут й особливості динаміки водних мас (Двинських С.А., Носків В.М., 2008). Сказане знаходить висвітлення й у класифікації водоймищ, проведених за іншими показниками [5].

Обидві зони мають вертикальну й горизонтальну структуру. Вертикальна характеризується специфічною сукупністю елементів, що утворюють систему, а горизонтальна – особливістю розташування й взаємодії окремих частин. Перша в основному перетерплює зміни в часі, друга – у просторі. Вертикальна (ярусна) структура водоймища включає породи дна, донні відкладення водну масу, рослинний і тваринний мир, приводний шар атмосфери. По термінології фізико-географічного районування вертикальна структура глибоководної частини водойми є «неповним» комплексом, тому що взаємодія трьох основних компонентів географічної оболонки (атмосфери, гідросфери й літосфери) частково проявляється в прикордонних областях (у дна й у поверхні водного дзеркала), а повною мірою – лише в мілководній зоні. Отже, глибоководна зона неповний географічний комплекс, а мілководна зона – повний.

Горизонтальне (просторове) будова водоймища – це сполучення вхідних у його склад частин більше низького таксономічного рівня й ландшафтних елементів. Стійко повторюваним, обумовленим генезисом або обміном речовиною й енергією сполучення більше дрібних одиниць називають «морфологією ландшафту» або «морфологічною структурою» [5]. Отже, вивчивши морфологічну структуру водоймища, можна одержати подання про його горизонтальну будову, що служить підставою для морфо-метричного районування. Тимчасові масштаби зміни елементів вертикальної й горизонтальної будови значно відрізняються друг від друга. Якщо елементи вертикальної будови можуть змінювати свої характеристики не тільки по сезонах року, але й усередині доби (так температурний і кисневий режими водної маси мають добовий хід), то елементи горизонтального будови більше стійкі: морфологія може зберігатися незмінною протягом декількох років, а морфометрія більше мінлива й в основному визначається урівнемним режимом водойми. Але, незважаючи на тимчасову різницю в динаміку вертикальної й горизонтальної будови, вони взаємозалежні.

Морфологія, визначаючи обсяги водних мас і гідродинамічні процеси (плину, хвилювання) впливає на термічну стратифікацію, вертикальний водообмін, насичення водних мас киснем і т.д. У той же час зміна вертикальної будови системи (товщина водної маси, шар донних відкладень) позначається на морфометрії, але все-таки провідна роль належить більше стійкій горизонтальній будові, що і повинне бути основним при проведенні районування водоймищ. Районування за іншими показниками повинні укладатися в рамки основного.

Таким чином, структура водоймища виражається в характері внутрішніх взаємозв'язків компонентів його вертикальної й горизонтальної будови, що характеризуються зміною як у часі, так й у просторі. Горизонтальна будова лежить в основі виділення районів, однотипних по морфології й морфометрії, а вертикальне – у виділенні зон, що відрізняються по характері взаємодії між компонентами. Якщо в першому випадку кількість районів буде залежати від складності рельєфу улоговини водоймища, то в другому в першу чергу виділяються глибоководна й мілководна зони (залежно від глибини), які можуть бути підрозділені на більше дрібні частини, що залежить від розв'язуваного завдання. Завдяки тісному зв'язку між горизонтальною й вертикальною будовою усередині кожного району можна виділити зони, а усередині зон – підзони. Водоймище як систему можна представити й складається з підсистем – зон або районів. Отже, ієрархічний опис водоймища може вестися декількома шляхами: горизонтальної будови, вертикальної будови й комплексне. Вибір виду опису залежить від поставленої проблеми.

Просторова неоднорідність температурного поля показує, що теплообмінні процеси в різних частинах водоймищ протікають неоднаково й мають свої особливості. За допомогою морфометрії здійснюється вплив основних факторів на процеси теплообміну, які в остаточному підсумку формують температурний режим водоймища.

У зв'язку із цим при вивченні термічного режиму водоймищ запропонована морфо метрична схема районування Ю. М. Матарзіна й І. К. Мацкевича [1, 13], що ставиться до комплексних схем.

В основу розподілу складного в морфологічному відношенні водойми покладений комплекс морфолого-морфометричних показників, відповідно до яких по довжині водойми виділяються головний і великі крайові плеси, гідрографічні райони й ділянки, а в їхній межах морфо динамічні глибоководна, мілководна й прибережна зони.

Основний таксономічною одиницею по довжині водоймища є гідрографічний район, а по ширині – морфо динамічна зона. Тому що інтенсивність теплообмінних процесів у мілководній і глибоководній зонах в усі періоди термічного циклу неоднакова (у період весняно-літнього нагрівання температура водної маси глибоководної зони відстає від температури мілководної, у період охолодження спостерігається зворотна картина), де глибоководну морфо метричну зону можна характеризувати як тепло інертною, а мілководну – як тепло активну зону гідрографічного району [6, 7, 8].

Для кількісної характеристики ролі морфометричного фактора у формуванні терміки окремих районів водоймища використовують морфо метричний коефіцієнт, що виражає відношення обсягу тепло активної мілководної зони району до обсягу тепло інертної глибоководної зони:

$$K_m = W_m / W_T; \quad (1)$$

Величина морфо метричного коефіцієнта побічно вказує на інтенсивність теплообмінних процесів у гідро

графічному районі: чим більше його величина, тим інтенсивніше йдуть як процеси нагрівання, так й охолодження. У різні періоди термічного циклу залежність між

Рівняння теплового балансу має такий вигляд:

$$\pm B \pm Q_r - LE \pm P + Q_{пр} - Q_{ст} = \pm \Delta\theta \pm \delta; \quad (2)$$

тут B – радіаційний баланс, Q_r – теплообмін із ґрунтами дна; LE – втрати тепла на випар; P – турбулентний теплообмін з атмосферою; $Q_{пр}$, $Q_{ст}$ – тепловий приплив і стік; $\Delta\theta$ – зміна теплозапасу водної маси; δ – нев'язання теплового балансу.

Крім величини витрат тепла на випар, що завжди негативна, всі інші складового балансу можуть бути як позитивними (тепловий потік спрямований до води), так і негативними (тепловий потік спрямований від води). Всі величини виражені в МДж/м² мес. Радіаційна складова теплового балансу, тобто радіаційний баланс, розраховувалася по рівнянню:

$$B = R(1 - A) - E_{эф}; \quad (3)$$

де B – величина радіаційного балансу; R – сумарна сонячна радіація; A – альbedo водної поверхні (у частках від одиниці); $E_{эф}$ – ефективне випромінювання водної поверхні.

Локальні зональні характеристики

Введемо в розгляд зональну систему координат, що дозволить зберегти число зон з постійними в їхньому просторі екологічними характеристиками заданого складу поза залежністю від рівня заповнення водоймища. Для цієї мети також уведемо в розгляд лінію рівно віддалених контурів берегів (ЛРКБ). Ця лінія лежить у горизонтальній площині поверхні водойми (ГППВ) таким чином, що в кожній її крапці відстані від берегової лінії лівого й правого берегів є однаковими. Відстань визначається по лінії, паралельній хорді верхньої греблі на рівні НПР (рис. 1). Якщо русло має крутий поворот лінія розтину розвертається на відповідний кут.

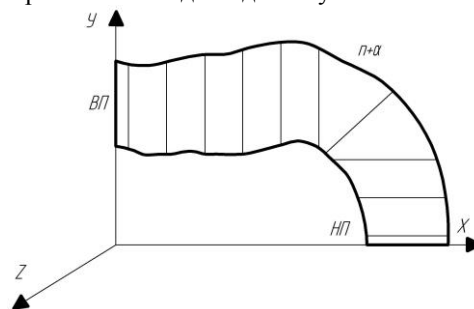


Рис. 1 – Розміщення поперечних перерізів водойми по його довжині

Донну лінію рівно-віддалених контурів берегів (ДЛРКБ) визначимо як проекцію ЛРКБ на дно штучної водойми. Зональна система координат формується двома наборами ліній: поздовжніх ліній, рівновіддалених від контурів берегів (ЛРКБ), і поперечні ліній, перпендикулярних дотичним до ЛРКБ або до ліній перегину в крапці розтину. Ця система координат також характеризується кількістю відліків поздовжніх і поперечних ліній, тобто розмірами виділюваних геометричних елементом, назовемо їх квазічотирикутниками. Контур берегової лінії визначається лінією перетинання в горизонтальній площині водної поверхні з береговою поверхнею й греблями, крім зон упадання у водойму струмків, рік і штучних каналів. У цих локальних зонах контур берегової лінії замикається прямою, що з'єднує дві крайні крапки водної горизонталі з береговою поверхнею (рис. 2). Якщо ці крапки однозначно не визначені, вони визначаються директивно.

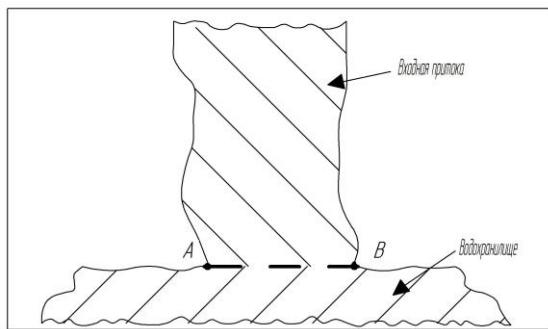


Рис. 2 – Контур берегової лінії

Якщо не зазначене інше, площина горизонтальної поверхні води вважаємо паралельною площини місцевого обрію [9, 10, 11]

Доповнюючи систему поверхнями, що проходять через поздовжні й поперечні лінії, і спрямованими по місцевій вертикалі до перетинання з поверхнею дна, одержимо квазіпаралелепіеди - просторові комірки, які будуть характеризуватися відповідними просторовими координатами, а також набором характеристик екологічного стану вмісту цих комірок.

Уведемо додаткову морфометричну характеристику водойми – донну лінію стоку (ДЛС) (рис.3). Визначимо її в такий спосіб, ДЛС це безперервна лінія, що з'єднує крапки максимальних глибин водойми, характеризується двома проекціями:

- на горизонтальній площині поверхні водойми;
- на вертикальну поверхню, перпендикулярну горизонтальній площині й минаючу через ДЛС.

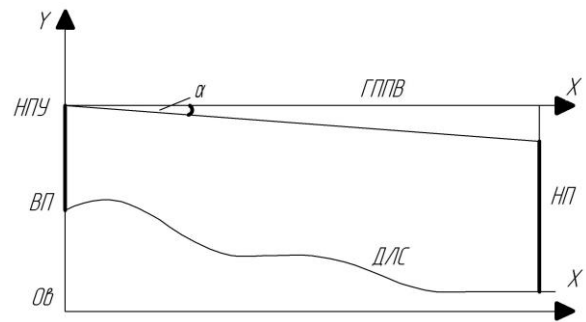


Рис. 3 – Проекція донної лінії стоку на вертикальну поверхню

Уведемо праву просторову прямокутну систему координат OXYZ (рис. 4). Вісь X спрямована за течією, перпендикулярно вертикальній площині, що проходить через хорду греблі верхнього б'єфа в горизонтальній площині, що проходить через лінію НПР. Початок координат вибирається на лінії, що проходить через лінію НПР таким чином, щоб вісь X була перпендикулярна хорді греблі на рівні НПР й збігалася з місцевою горизонталлю. Вісь Y збігається із НПР, вісь Z доповнює систему до правої.

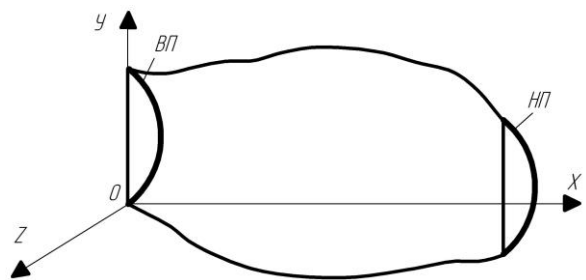


Рис. 4 – Прямокутна система координат

Уведемо в розгляд поняття умовної верхньої греблі. Якщо відстань від верхньої греблі є таким, що нижня гребля мало впливає на зміну контуру берега у верхній частині водоймища, будемо використати поняття умовної верхньої греблі (УВГ). У якості УВГ будемо розглядати директивно призначений розтин ріки у верхній частині штучної водойми, паралельне хорді нижньої греблі (рис. 5). Аналогічно поперечний переріз штучної водойми (ПСИВ) визначається як розтин водойми вертикальною площиною паралельній хорді греблі верхнього б'єфа.

Д крапка перетину донною лінією Забрати надпиту ЛРКБ і ДЛРКБ

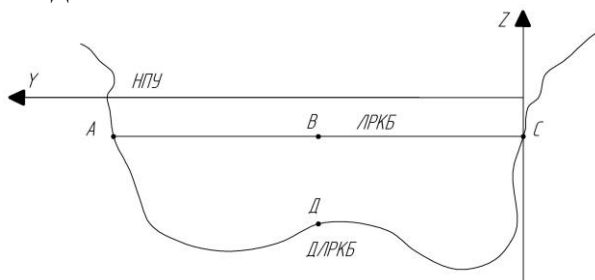


Рис. 5 – Профіль розтину

Поздовжній перетин ШВ визначається як розтин водойми вертикальною поверхнею, що проходить через ЛРКБ по місцевій вертикалі. Сімейство рівновіддалених ліній (СРЛ) СРЛ визначається відліками (рис. 6), які визначають кількість ліній сімейства. Будемо розрізняти СРЛ лівого й правого берегів. Сімейства цих ліній будуються відповідно до наступного алгоритму [12].

1. Наноситься сітка поперечних перерізів певним вище способом. Параметром, що задає, є кількість відліків поперечних перерізів M .

2. Визначається положення центральної рівновіддаленої лінії. Розтин, певний вертикальною поверхнею, що проходить через центральну рівновіддалену лінію, називається генеральним поздовжнім перетином.

3. Позначаються РЛНЛ, РЛНП, відповідно, рівновіддалені лінії щодо центральної ЛРКБ і лівого (правого) берегів, відповідно.

4. Задається число відліків внутрішніх поздовжніх перетинів щодо лівого й правого берегів N .

5. Привласнюються номери лініям ЛРКБ лівого й правого берегів від 1 до N . Формуються набори ліній РЛНЛ, РЛНП.

6. Формується система координатних ліній зональної системи координат, що складає з M поперечних й $2N+3$ поздовжніх координатних ліній.

7. Через поздовжні й поперечні лінії проводяться вертикальні поверхні.

8. Перетинаннями поверхні води, поверхні дна, вертикальних поздовжніх і поперечних поверхонь вирізують квазіпаралелепіеди (КПП), що містять у собі зональний обсяг води.

9. Визначаються координати вершин КПП у прямокутній системі координат.

10. КПП привласнюються абсолютні номери. Нумерація здійснюється уздовж поперечних перерізів, починаючи від правого берега в греблі верхнього б'єфа й продовжуючи по розтинах за течією.

11. КПП привласнюються номери із двійковим індексом, перший ставиться до номера поздовжнього перетину, другий індекс ставиться до номера поперечного розтину. Розтини нумеруються від правого берега в греблі верхнього б'єфа.

12. Координати зон визначаються в прямокутній системі координат.

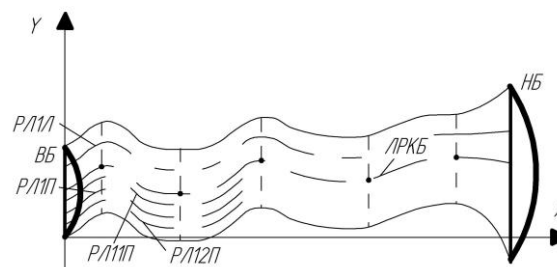


Рис. 6 – Сімейство рівновіддалених ліній

Таким чином, кількість зон водойми визначається заданими значеннями поперечних і поздовжніх відліків, число яких визначається на основі феноменологічного аналізу або з досвіду моделювання структури водойми, а також з обліком його абсолютних розмірів [14, 15].

Використання сітки, утвореної поперечними й поздовжніми перетинами, дозволить забезпечити прив'язку екологічних параметрів водойми до його геометричних характеристик, зміна яких буде пов'язане з відхиленням рівня водойми від НПУ. Таким чином, кожному значенню рівня води однозначно будуть відповідати геометричні й об'ємні параметри локальних зон, певних обсягами КПП. Проекції сітки на дно водойма за допомогою вертикальних поверхонь відбивають координатну структуру на дні водойми.

Висновки

Запропонована зональна система координат, права просторова прямокутна система координат, сімейство рівновіддалених ліній, що дозволяє опосередковано пов'язувати поточні значення обсягів води в позначеній зоні з поточними контурами берегів. При цьому число виділених зон не залежить від змін обсягу води й контурів берегів ШВ у процесі його експлуатації, а обсяги кожної з виділених просторових зон стануть функцією рівня води у ШВ. Дане ново-придбання дозволяє побудувати безліч станів ШВ, що характеризує його наповнення й контур берегової лінії, як функцію відхилення від НПУ, або поточного абсолютного значення підпірного рівня. Такий підхід дозволяє зберегти структуру зонального опису ШВ поза залежності від поточних значень його основних морфо-метричних характеристик й описати його стан набором локальних просторових зон.

Список літератури

1. Матарзин, Ю. М. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ / Ю. М. Матарзин, И. К. Мацкевич // Вопросы формирования водохранилищ и их морфометрия. Пермь: Изд-во Перм. ун-та. – 1970. – 92 с.

2. Матарзин, Ю. М. Гидрологические процессы в водохранилищах / Ю. М. Матарзин, Б. Б. Богословский, И. К. Мацкевич // Пермь: Изд-во ПТУ. – 1977. – 87 с.
3. Браславский, А. П. Расчет ветровых волн. – "Труды ГГИ", 1952. – вып. 35(89). – С. 94 - 158.
4. Браславский, А. П. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов / А. П. Браславский / Л.: Гидрометеиздат. – 1969. – 92 с.
5. Браславский, А. П. Расчет минерализации воды в водохранилищах / А. П. Браславский // *Гидрохимические материалы*. – 1961. – Т. 32.
6. Welch E. B. Lake restoration by dilution: Moses Lake, Washington / E. B. Welch, C. R. Patmont // *Water Research*. – 1980. – Vol. 14. – P. 1317 - 1325, doi:10.1016/0043-1354(80)90192-X.
7. Nurnberg, G. K. Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria / G. K. Nurnberg, H. Shaw // *Hydrobiologia*. – 1998. – Vol.382. №1-3. – P. 97-112.
8. Cill, M. A. Sidamentation and useful life of reservoirs / Mohamad Akram Gill // *Journal of Hydrology*. – 1979. – V. 44, II 1-2. – P. 89 - 95. – doi:10.1016/0022-1694(79)90148-3.
9. Jensen, J. P. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes / J. P. Jensen, E. Jeppesen, K. Olrik, P. Kristensen // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1994. – Vol. 51, No. 8. – P. 1692 - 1699. – doi:10.1139/f94-170.
10. Reynolds, C. S. The ecology of freshwater phytoplankton / C. S. Reynolds // *Cambridge: University press*. – 1984. – 436 p.
11. Reynolds, C. S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? / C. S. Reynolds // *Hydrobiologia*. – 1998. – Vol. 369/370. – P. 11-26. doi:10.1023/A:1017062213207.
12. Novak, P. Experimental and theoretical investigation of the stability of prisms on the bottom of a flume. – In: Proc. Second Conf. Internat. Assoc. for Hydr. Research, Stockholm, Sweden, 1948. – P. 77-91.
13. Матарзин, Ю. М. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ / Ю. М. Матарзин, И. К. Мацкевич // Вопросы формирования водохранилищ и их морфометрия. Пермь: Изд-во перм. ун-та. – 1970. – 92 с.
14. Дубовик, Д. Д. Об оценке стойкости русла р.Днепр в системе водохранилищ / Д. Д. Дубовик // Международная междисциплинарная конференция молодых ученых «Шевченковская весна»: тезисы докладов. – Киев. – 2015. – 73 с.
15. Дубовик, Д. Д. Расчёт заиливания каскада Днепровского водохранилища с помощью ГИС технологии (на примере устья р. Орель) / Д. Д. Дубовик // *Актуальные вопросы ядерно-химических технологий: тезисы докладов. Севастополь*. – 2013. – 106 с.
3. Braslavsky, A. P. Raschet vetrovykh voln [Calculation of wind waves], *Proceedings of the state hydrological Institute*, 1952, **35(89)**, 94-158.
4. Braslavsky, A. P. Ukazaniya po raschetu ispareniya s poverkhnosti vodoemov [Guidance for the calculation of evaporation from water surfaces]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969, 92 p.
5. Braslavsky, A. P. Raschet mineralizatsii vody v vodokhranilishchakh [Calculation of mineralization of water in the reservoirs]. *Gidrokhimicheskie materialy [Hydrochemical materials]*, 1961, **32**.
6. Welch, E. B., Patmont, C. R. Lake restoration by dilution: Moses Lake, Washington. *Water Research*, 1980, **14**, 1317-1325, doi:10.1016/0043-1354(80)90192-X.
7. Nurnberg G. K., Shaw H. Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria. *Hydrobiologia*, 1998. **382(13)**, 97-112.
8. Cill, M. A. Sidamentation and useful life of reservoirs. *Journal of Hydrology*, 1979, **44(II 1-2)**, 89-95, doi:10.1016/0022-1694(79)90148-3.
9. Jensen J.P., Jeppesen E., Olrik K., Kristensen P. Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, **51**, 1692-1699, doi:10.1139/f94-170.
10. Reynolds, C. S. The ecology of freshwater phytoplankton. *Cambridge: University press*. 1984, 436 p.
11. Reynolds, C. S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia*, 1998, **369/370**, 11-26, doi:10.1023/A:1017062213207.
12. Novak, P. Experimental and theoretical investigation of the stability of prisms on the bottom of a flume. – In: Proc. Second Conf. Internat. Assoc. for Hydr. Research, Stockholm, Sweden, 1948, 77-91.
13. Matarzin, Y. M., Matskevich, I. K. Voprosy morfometrii i rayonirovaniya vodokhranilishch [Issues of morphometry and zonation of reservoirs] *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh morfometriya. Perm': Izd-vo perm. un-ta [Problems of formation of reservoirs and their morphometry. Perm : Publishing house Perm.University]*, 1970, 92 p.
14. Dubovik D. D. Ob otsenke stoykosti rusla r.Dnepr v sisteme vodokhranilishch [On the evaluation of the resistance of the channel of the Dnipro river system reservoirs] *Mezhdunarodnaya mezhdistsiplinarnaya konferentsiya molodykh uchenykh «Shevchenkovskaya vesna»: tezisy dokladov [International interdisciplinary conference of young scientists "Shevchenko spring": theses of reports]*. Kyiv, 2015, 73 p.
15. Dubovik, D. D. Raschet zailivaniya kaskada Dneprovskogo vodokhranilishcha s pomoshch'yu GIS tekhnologii (na primere ust'ya r. Orel') [Calculation of siltation of the cascade of Dnieper reservoirs using GIS technology (for example the mouth of the river Orel)] *Aktual'nye voprosy yaderno-khimicheskikh tekhnologiy: tezisy dokladov [Actual problems of nuclear-chemical technologies: theses of reports]*. Sevastopol, 2013, 106 p.

Bibliography (transliterated)

1. Matarzin, Y. M. Voprosy morfometrii i rayonirovaniya vodokhranilishch [Issues of morphometry and zonation of reservoirs] / Maturin Y. M., Matskevich I. K. // *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh morfometriya. Perm': Izdatel'stvo Permskogo universiteta. [Problems of formation of reservoirs and their morphometry. Perm : Publishing house Perm.University]*, 1970, 92 p.
2. Matarzin, Y. M. Bogoslovsky, B. B., Matskevich, I. K. Gidrologicheskie protsessy v vodokhranilishchakh [Hydrological processes in the reservoirs]. *Perm': Izdatel'stvo PTU. [Perm: Publishing house of the technical training College]*, 1977, 87 p.

Відомості про авторів / About the Authors

Дубовик Денис Дмитрович – аспірант, Інститут технічної механіки і державне космічне агентство НАН України, Дніпропетровськ, Україна, тел.: 0679563038, e-mail: denic3d@gmail.com.

Dubovyk Denis – post-graduated student. Institute of engineering mechanics and state space Agency of NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel.: 0679563038, e-mail: denic3d@gmail.com.

Дубовик Тетяна Миколаївна – старший викладач, Кафедра «Спеціалізованих комп'ютерних систем», Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна-8, Дніпропетровськ, Україна. моб.тел. 0677488401; e-mail: Tanya-dubovik@rambler.ru

Dubovyk Tatiana Nikolaevna – Ukrainian state chemical technology university, Senior Lecturer department of "Spetsyalyzovanih of computer systems", Gagarin st., 8, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; mob. tel. 0677488401; e-mail: Tanya-dubovik@rambler.ru

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Дубовик, Д. Д. Розробка алгоритму зональних характеристик штучних водоймищ / **Д. Д. Дубовик, Т. М. Дубовик** // Вісник НПУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – №12 (1184). – С. 112-118. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.16.

Pleas cite this article as:

Dubovyk, D., Dubovyk, T. Development of an algorithm of zonal characteristics of artificial reservoirs. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2016, **12**(1184), 112-118, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.16.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Дубовик, Д. Д. Разработка алгоритма зональных характеристик искусственных водохранилищ / **Д. Д. Дубовик, Т. М. Дубовик** // Вестник НПУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 112-118. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.16.

АННОТАЦІЯ Аналіз стану великих штучних водойм є важливим для загальної оцінки стану водойм і прилеглої території. Використання зональних характеристик, інформаційних технологій, баз даних, дозволить відображати реальний стан водойм. В зв'язі з цим запропонована спеціальна система координат (зональна), що, косвенно, пов'язана з поточними значеннями об'ємів води в позначеній зоні і з поточними контурами берегів.

Ключевые слова: штучний водойм, зональна система координат, характеристики зони, інформаційні технології, бази даних, географічні координати.

Надійшла (received) 21.03.2016

УДК 004.5 : 004.92 : 623.438 : 528.4

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.17

МЕТОД СОВМЕЩЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

П. А. КАЧАНОВ, А. А. ЗУЕВ, К. Н. ЯЦЕНКО*

Кафедра автоматизации и управления в технических системах, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

*email: knyatsenko@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье проведена общая оценка необходимости синтеза реалистичных ландшафтов местности для тренажерных комплексов (ТК) с целью улучшения процесса обучения экипажей военной техники, повышения качества взаимодействия между оператором и ТК. Выделены аспекты, которые говорят о целесообразности проведения обучения на синтезированном ландшафте заданной области. Разработан алгоритм и согласно ему реализована программа для обработки данных цифровой модели местности, результатом которой является карта высот SRTM в проекции Меркатора (эллиптической или Web). На практических примерах показано совпадение наложенного изображения снимка земной поверхности с преобразованной картой высот, что подтверждает корректность описанного метода и его реализации.

Ключевые слова: геопроостранственные данные, карта высот, проекция Меркатора

METHOD OF OVERLAPPING GEOSPATIAL DATA

P. KACHANOV, A. ZUEV, K. YATSENKO*

Department of automation and control in technical systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT In article the general assessment of need of synthesis of realistic landscapes of terrain for the training complexes (TC) for the purpose of improving of training activity of crews of military equipment, improvement of quality of interaction between the operator and TC is carried out. Aspects which speak about feasibility of carrying out training at the synthesized landscape of the given area are mentioned. The basic data containing geospatial information and methods of operation with them are analyzed. For processing of geospatial data the GDAL/OGR library was used. The area of restriction is set in the KML format. The cartographical projections applied to display of geospatial data are described. The used digital model of terrain (Digital Elevation Model (DEM)) is result of carrying out radar topographical filming (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) the most part of the territory of the globe. The data SRTM are organized in the form of the individual rasterized cells, or tile. For training of staff unit, the terrain section suffices usually less than what provides one tile to a surface of SRTM data. The algorithm is developed and according to it the program for data handling of digital model of terrain of which the heightmap of SRTM in Merkator projection is result is realized. For expert monitoring of coincidence, in the raster editor the heightmap is superimposed on the image of a surface. On practical examples coincidence of the imposed image of a picture of an earth surface to the transformed heightmap is shown that confirms a correctness of the described method and its implementation.

Keywords: geospatial data, heightmap, Merkator projection

Введение

Военные операции вовлекают чувственное восприятие человека (human cognition) на каждом уровне, от принятия жизненно важных решений на линии фронта, к принятию логистических и тактических решений для личного состава в тылу. Важным фактором является эффективность поведения, как отдельного солдата, так и подразделения, в опасных и экстремальных условиях, когда когнитивные процессы протекают под большой нагрузкой. Одной из основных задач тренажерных комплексов (ТК) военной техники, помимо получения навыков управления боевой машиной, является предоставление возможности отработки боевых задач на определенной территории с заданным ландшафтом местности и погодно-климатическими условиями. То, насколько восприятие человеком окружающего пространства изменяется во время боя, можно

проследить в статье Курта Левина «Военный ландшафт» (Kriegslandschaft), которая была издана в Берлине в «Журнале прикладной психологии» [1]. В своей психологической работе он проанализировал и описал собственные впечатления от боя во время Первой мировой войны. Он отмечает, что восприятие окружающего пространства искажается под влиянием структуры актуальных и предполагаемых действий. Феномен изменения характеристик ландшафта в зависимости от боевой обстановки, а так же искажающее влияние ощущения опасности приводит к переструктурированию воспринимаемого пространства.

Во время проведения учений на ТК военной техники на синтезированном ландшафте характерном для определенного региона, оператор имеет возможность отработать навыки управления машиной обусловленные обстановкой. Кроме этого, во время неоднократного прохождения плана учений, следует

учитывать и такой психический феномен, как «когнитивные карты». Это понятие, введено Эдвардом Толменом [2, с. 63–82], который обнаружил, что в «процессе научения... образуется нечто, подобное карте поля окружающей обстановки» и определил, что «эта примерная карта... окончательно определяет, какие именно ответные реакции, если вообще они имеются, будут, в конечном счете, осуществляться» [2, с. 66-67.]. То есть, что и как именно будет делать оператор боевой машины, зависит от сложившихся в ходе обучения представлений об окружающей обстановке. В книге Ульрика Найссера [3] говорится о том, что когнитивные карты можно рассматривать как «ориентировочные схемы», что «аналогично другим схемам, они принимают информацию и направляют действие». Так же этот феномен рассматривался в более широком смысле в ряде работ по математике и информатике. Под когнитивными картами понимают способ описания опыта, совмещающий хранение информации об объекте, о способе действия и отношения к нему [4].

Таким образом, использование в ТК синтезированного участка ландшафта местности на котором предположительно будут идти боевые действия, позволит смягчить нагрузку на оператора во время боя, что позволит быстрее и эффективнее принимать решения.

Цель работы

В работе рассмотрена автоматизация процесса получения карт высот ландшафта местности в заданном регионе планеты и представление их описания в виде, удобном для синтеза ландшафта и его последующего отображения системой визуализации (СВ) ТК.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- Проанализировать исходные данные, содержащие геопространственную информацию и методы работы с ними;
- Описать картографические проекции, применяемые для отображения геопространственных данных;
- Предложить и реализовать метод получения карт высот ландшафта местности в заданном регионе планеты;
- Практически подтвердить правильность преобразований.

Изложение основного материала

Используемая цифровая модель местности (Digital Elevation Model (DEM)) является результатом проведения радарной топографической съемки (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) большей части территории земного шара, которая была проведена в 2000 году Национальным управлением по

воздухоплаванию и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration (NASA)) в сотрудничестве с Национальным агентством геопространственной разведки (National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)), агентствами Италии и Германии [5, 6].

Данные SRTM организованы в виде индивидуальных растеризированных ячеек, или тайлов (элементов мозаичного изображения), каждая покрывающая область 1x1 градус широты и долготы. Расстояние между двумя точками составляет 1, 3 или 30 угловых секунд для SRTM1, SRTM3 и SRTM30 соответственно. Поскольку одна угловая секунда на экваторе соответствует приблизительно 30 метрам в горизонтальном направлении, SRTM1 и SRTM3 часто называют данными для «30 метров» или «90 метров».

Данные SRTM были обработаны и представлены для каждого континента в отдельной директории на сервере. Имена каждого тайла обозначают широту и долготу левого нижнего угла тайла. Данные каждого DEM файла представлены в формате .HGT и являются простым 16 битным растром (без заголовка), значение пиксела является высотой над уровнем моря в данной точке, оно может принимать значение -32768, что соответствует значению no data (нет данных). Референц-эллипсоид данных - WGS84. На сегодня доступны SRTM данные в формате GeoTIFF [7], который представляет растровые данные в формате TIFF совместно с метаданными о географической привязке (геореференцированный растр).

Для обучения личного состава подразделения, обычно достаточно участка местности меньше того, что предоставляет один тайл поверхности SRTM данных. Таким образом, возникает задача получить фрагмент поверхности местности по определенным координатам, для которой необходимо получить проекцию Меркатора. В современной картографии нашли широкое применение два вида проекций Меркатора: Web Mercator и эллиптический Меркатор [8]. Web Mercator представляет собой картографическую проекцию, зачастую используемую для визуализации данных в интернет приложениях и основан на предположении о сферической форме Земли. В отличие от нее, эллиптическая модель более точно отображает действительную форму Земли и используется для определения точного положения, азимута и расстояния. Ниже приведены формулы, описывающие эллиптический Меркатор:

$$x = a \cdot \lambda \quad (1)$$

$$y = a \cdot \ln \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left(\frac{1 - e \cdot \sin \phi}{1 + e \cdot \sin \phi} \right)^{\frac{e}{2}} \right] = \quad (2)$$

$$= a \cdot \tanh^{-1}(\sin \phi) - a \cdot e \cdot \tanh^{-1}(e \cdot \sin \phi)$$

$$h = k = \frac{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi)}}{\cos \phi} \quad (3)$$

где λ = эллиптическая долгота в радианах, ϕ = эллиптическая широта в радианах, a = большая полуось эллипсоида [WGS84 = 6378137 м], e = эксцентриситет эллипсоида [WGS84 = $8,1819190842622 \times 10^{-2}$], h = коэффициент меридиана, k = коэффициент параллели.

Для того что бы выбрать необходимую область земной поверхности используется навигационная программа SAS.Planet. С ее помощью выделяется прямоугольная область и генерируется KML файл [9, 10, 11]. Так же, кроме этого, программа предоставляет возможность сохранения выбранной области изображения поверхности с необходимым увеличением в различных графических форматах.

Оверлеи земной поверхности позволяют "накрыть" рельеф местности определенным изображением. Расположение оверлея определяется с помощью тега <LatLonBox> в KML файле, в котором указываются крайние значения южной и северной широты, а также восточной и западной долготы. Кроме того, если ось изображения не направлена строго на север, задается значение поворота.

Для обработки геопространственных данных использовалась библиотека GDAL/OGR [12, 13], а основная программа реализована на языке Python. Сам процесс преобразования из одной системы в другую совмещен с изменением размера пикселя и проводится по следующему алгоритму:

- 1) Установить две системы пространственного отсчета.
- 2) Загрузить файл с исходными данными и получить информацию о виде проекции.
- 3) Вычислить границы нового преобразования путем проецирования прямоугольной области заданной координатами четырех точек в KML файле.
- 4) Вычислить число пикселей и расстояние между ними для новой проекции.
- 5) Создать в ОЗУ матрицу растровых данных.
- 6) Провести проецирование.

Обсуждение результатов

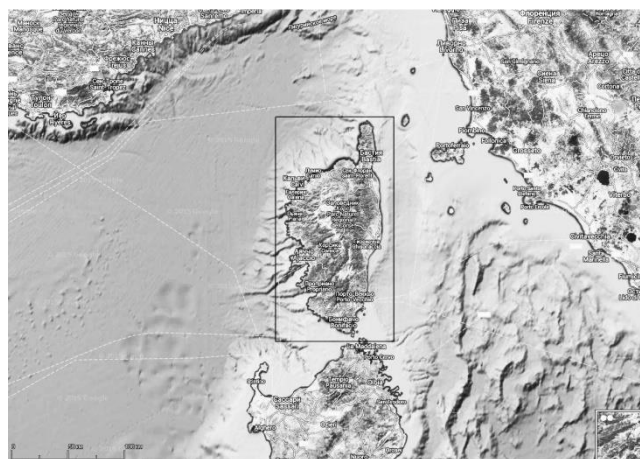
Для иллюстрации работы алгоритма, рассмотрим преобразование картографической проекции о. Корсика. Выбор островной территории позволит оценить изменения, которые происходят в результате проецирования, ориентируясь на береговую линию выбранной территории.

Исходные данные представлены на рис. 1. Эта же область представлена в программе SAS.Planet в проекции Web Меркатор. Различия между проекциями хорошо заметны на рис.1.

На рис. 2 отображены результаты работы программы, а так же двумерный рельеф



а)



б)

Рис. 1 – Исходные данные: а) Тайл SRTM данных; б) Исследуемая область из программы SAS.Planet

спроецированной местности (рис. 2, в), который получен с помощью программы QGIS на основе рис. 2, б.

Если рассматривать простейший вариант проекции Меркатора – проекцию сферы на цилиндр – то можно заметить, как сжата по горизонтали спроецированная область (рис. 2, б). По вертикали изменения незначительны, поскольку выбранная область незначительно удалена от экватора (чем ближе область располагается к полюсам, тем больше будут вертикальные искажения).

Для случая, когда интересующая область попадает на пересечение двух тайлов данных SRTM, в программе реализована возможность выбора всех частей для составления единого изображения. Перед проецированием проверяется соответствие данных из KML файла тем координатам, которые охватывают

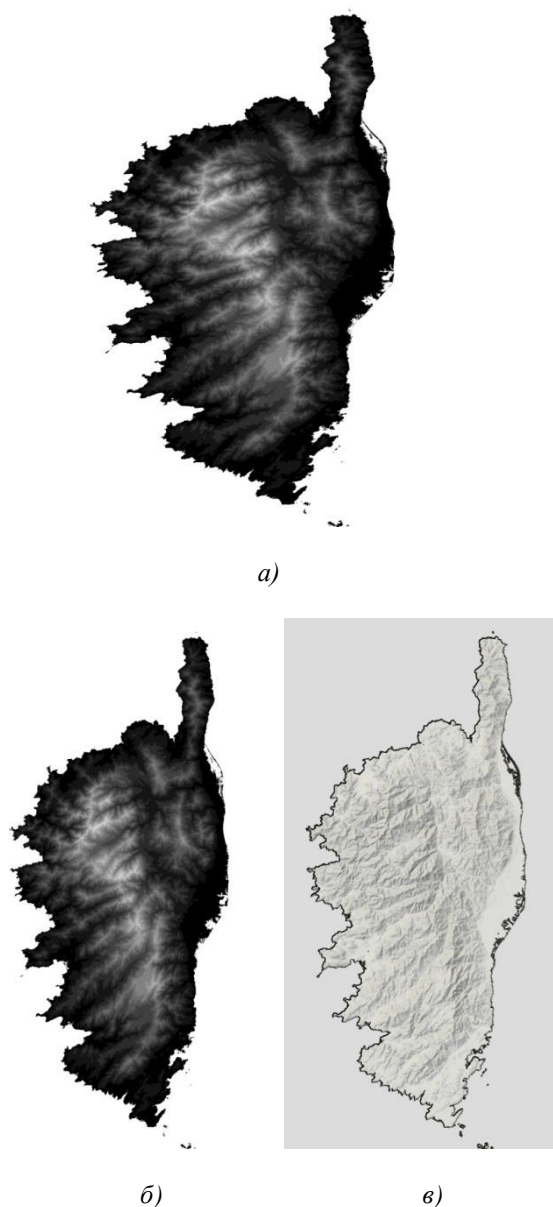


Рис.2 – Результаты работы программы:
а) исследуемая область; б) спроецированная область;
в) рельеф спроецированной области

поверхность входных данных. При отсутствии возможности использования сторонних программ, например SAS.Planet, KML файл можно редактировать как текстовый документ, изменяя теги, отвечающие за широту и долготу.

Реальное применение данной программы для ТК бронетанковой техники проведено на примере сектора Каргила - области военного конфликта между Индией и Пакистаном, получивший название Кашмирского конфликта. С помощью программы SAS.Planet получено изображение поверхности территории со спутника и сохранено в проекции эллиптического Меркатора (рис. 3, а). Кроме этого сгенерирован KML файл, содержащий координаты исследуемой местности. Из исходного тайла SRTM

данных для этого региона была вырезана соответствующая область ограниченная KML данными и сохранена в проекции эллиптического Меркатора (рис. 3, б).

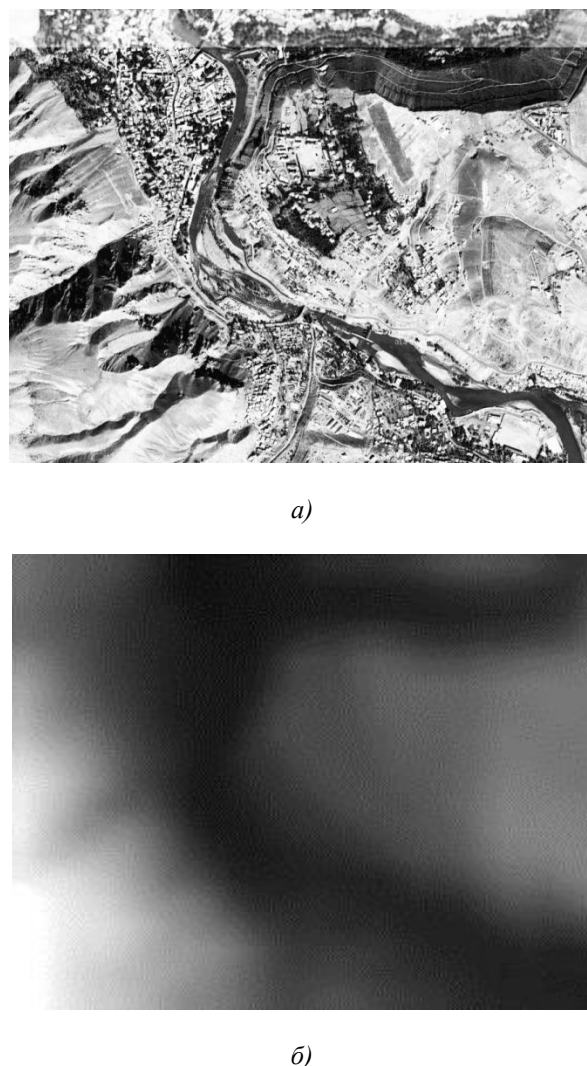


Рис.3 – Изображение: а) поверхность Земли со спутника; б) данные SRTM

На полученную карту высот наложены сохраненные ранее снимки поверхности, которые должны совпасть. Для экспертного контроля совпадения, в растровом редакторе, карта высот в режиме смешивания “Linear Light” накладывается на изображение поверхности (рис. 4). Темные и светлые области карты высот соответствуют меньшей и большей высоте местности над уровнем моря, соответственно. На результирующем изображении, более высокая контрастность характерна для низин (реки и побережье), а горным областям соответствует меньшая контрастность – они выглядят более блекло.

Кроме этого можно выделить так же ущелья с левого края изображения, которые на изображении проявляются среди блеклых горных областей. Такое соответствие подтверждает то, что оба изображения –

снимок поверхности со спутника и данные SRTM получены в одинаковых проекциях и имеют одинаковые координаты. Это позволяет точно определить характер местности для каждого участка

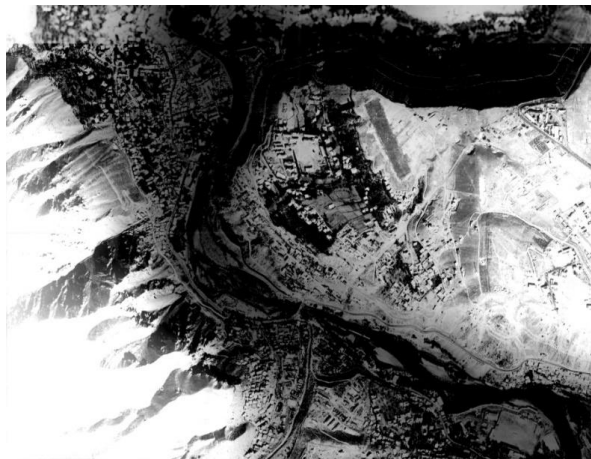


Рис. 4 – Результат наложения двух изображений

синтезируемого ландшафта, а так же использовать снимки поверхности в качестве основы для текстуры покрывающей ландшафт в СВ ТК.

Выводы

Проведена общая оценка необходимости синтеза реалистичных ландшафтов местности для ТК с целью улучшения процесса обучения экипажей военной техники, повышения качества взаимодействия между оператором и ТК. Выделены аспекты, которые говорят о целесообразности проведения обучения на синтезированном ландшафте заданной области. Разработан алгоритм и согласно ему реализована программа для обработки данных цифровой модели местности, результатом которой является карта высот SRTM в проекции Меркатора (эллиптической или Web). На практических примерах показано совпадение наложенного изображения снимка земной поверхности с преобразованной картой высот, что подтверждает корректность описанного метода и его реализации. На основании полученной карты, СВ ТК синтезирует поверхность ландшафта.

Список литературы

1. **Левин, К.** Динамическая психология: Избранные труды / **К. Левин.** – М.: Смысл. – 2001. – С. 87-92.
2. **Толмен, Э.** Когнитивные карты у крыс и у человека / **Э. Толмен** // *Хрестоматия по истории психологии.* – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1980. – С. 63-82.
3. **Найссер, У.** Познание и реальность / **У. Найссер.** – М: Прогресс. – 1981. – 232 с.
4. **Блинникова, И. В.** Когнитивные карты как функциональные единицы опыта / **И. В. Блинникова** // *Вестник Московского государственного*

лингвистического университета. Серия Психологические науки. – 2012. – Т.7 (640). – С. 25-38.

5. **Werner, M.** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Mission overview / **M. Werner** // *J. Telecom. (Frequenz).* – 2001. – Vol. 55. – P. 75-79. – doi:10.1515/FREQ.2001.55.3-4.75.
6. **Rodriguez, E.** An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639 / **E. Rodriguez, C. S. Morris, J. E. Belz, E. C. Chapin, J. M. Martin, W. Daffer, S. Hensley** // *Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.* – 2005. – 143 p.
7. **Qu, J. J.** Earth science satellite remote sensing: Data, computational processing, and tools / **J. J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R. E. Murphy, V. V. Salomonson** // Springer. – 2006. – Vol.2. – 354 p.
8. Implementation practice Web Mercator map projection. – National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Standardization document. Version 1.0.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/\(U\)%20NGA_SIG_0011_1.0_0_WEBMERC.pdf](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/(U)%20NGA_SIG_0011_1.0_0_WEBMERC.pdf).
9. **Wernecke, J.** The KML handbook: geographic visualization for the Web / **J. Wernecke** // *Addison Wesley.* – 2009. – 339 p.
10. **Ballagh, L. M.** Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges / **L. M. Ballagh, B. H. Raup, R. E. Duerr, S. J. S. Khalsa, C. Helm** // *Computers & Geosciences.* – 2011. – Vol. 37. – P. 57-64. – doi:10.1016/j.cageo.2010.05.004.
11. **Butler, D.** Virtual Globes: the web-wide world / **D. Butler** // *Nature.* – 2006. – Vol. 439. – P. 776-778. – doi:10.1038/439776a.
12. **Westra, E.** Python Geospatial Development / **E. Westra** // *Packt Publishing.* – 2010. – 508 p.
13. **Lawhead, J.** Learning Geospatial Analysis with Python / **J. Lawhead** // *Packt Publishing.* – 2013. – 364 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Levin, K.** Dinamicheskaja psihologija: Izbrannye Trudy [Dynamic Psychology: Selected Works]. Moskva, Smysl, 2001, 87-92.
2. **Tolmen, E.** Kognitivnye karty u krys i u cheloveka [Cognitive maps in rats and in humans]. *Hrestomatija po istorii psihologii [Readings on the history of psychology]*. Moskva, Izdatel'stvo Mosk. un-ta, 1980, 63-82.
3. **Najsser, U.** Poznanie i real'nost' [Cognition and Reality]. Moskva, Progress, 1981, 232 p.
4. **Blinnikova, I. V.** Kognitivnye karty kak funkcional'nye edinicy opyta [The cognitive map as a functional unit of the experience]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta. Serija Psihologicheskie nauki [Bulletin of Moscow State Linguistic University. A series of Psychological Science]*, 2012, 7(640), 25-38.
5. **Werner, M.** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Mission overview. *J. Telecom. (Frequenz)*, 2001, 55, 75-79.
6. **Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E., Chapin, E. C., Martin, J. M.** An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639. *Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California*, 2005, 143 p.
7. **Qu, J. J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R. E., Salomonson, V. V.** Earth science satellite remote sensing: Data, computational processing, and tools. *Springer*, 2006, 2, 354 p.
8. Implementation practice Web Mercator map projection. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA).

- Standardization document. Version 1.0.0 [Web] – Access: [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/\(U\)%20NGA_SIG_0011_1.0.0_WEBMERC.pdf](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/(U)%20NGA_SIG_0011_1.0.0_WEBMERC.pdf)
9. **Wernecke, J.** The KML handbook: geographic visualization for the Web. *Addison Wesley*, 2009, 339 p., doi:10.1016/j.cageo.2010.05.004.
10. **Ballagh, L. M., Raup, B. H.** Representing scientific data sets in KML: Methods and challenges. *Computers & Geosciences*, 2011, **37**, 57-64., doi:10.1016/j.cageo.2010.05.004.
11. **Butler, D.** Virtual Globes: the web-wide world. *Nature*, 2006, **439**, 776-778, doi:10.1038/439776a.
12. **Westra, E.** Python Geospatial Development. *Packt Publishing*, 2010, 508 p.
13. **Lawhead, J.** Learning Geospatial Analysis with Python. *Packt Publishing*, 2013, 364 p.

Сведения об авторах (About authors)

Качанов Петр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; e-mail: kpa@kpi.kharkov.ua

Kachanov Peter Alexeyevich – Doctor of technical sciences, Full Professor, head of the department "Automation and Control in Technical Systems", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; e-mail: kpa@kpi.kharkov.ua

Зуев Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах»; тел.: aaz12345@inbox.ru.

Zuev Andrey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of "Automation and Control in Technical Systems"; e-mail: aaz12345@inbox.ru.

Яценко Константин Николаевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант, ассистент кафедры «Автоматика и управление в технических системах»; e-mail: knyatsenko@gmail.com.

Yatsenko Konstantin Nikolaevich – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; e-mail: knyatsenko@gmail.com.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Качанов, П. А. Метод совмещения геопространственных данных / **П. А. Качанов, А. А. Зуев, К. Н. Яценко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.17.

Please cite this article as:

Kachanov, P., Zuev, A., Yatsenko, K. Method of overlapping geospatial data. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 119-124, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.17.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Качанов, П. О. Метод суміщення геопросторових даних / **П. О. Качанов, А. О. Зуєв, К. М. Яценко** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.17.

АНОТАЦІЯ У статті проведена загальна оцінка необхідності синтезу реалістичних ландшафтів місцевості для тренажерних комплексів (ТК) з метою поліпшення процесу навчання екіпажів військової техніки, підвищення якості взаємодії між оператором і ТК. Виділені аспекти, які говорять про доцільність проведення навчання на синтезованому ландшафті заданої області. Розроблений алгоритм і згідно з ним реалізована програма для обробки даних цифрової моделі місцевості, результатом якої є карта висот SRTM у проекції Меркатора (еліптичної або Web). На практичних прикладах показаний збіг накладеного зображення знімка земної поверхні з перетвореною картою висот, що підтверджує коректність описаного методу і його реалізацію.

Ключові слова: геопросторові дані, карта висот, проекція Меркатора.

Поступила (received) 12.03.2016

УДК 621.314 : 621.316.7

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18

РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ КОНТЕКСТНИХ ДАНИХ ПРИ КЕРУВАННІ АВТОНОМНИМИ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

А. Г. КИСЕЛЬОВА*, Г. Д. КИСЕЛЬОВ

Кафедра системного проектування, ННК «Інститут прикладного системного аналізу», НТУУ «КПІ» Київ, УКРАЇНА
*email: a.g.kyselova@gmail.com

АНОТАЦІЯ Для покращення якості прийняття рішень з керування автономними системами електроживленням створено і протестовано алгоритм регуляризації контекстних даних, що дозволило зменшити помилку прогнозу контекстних часових рядів з (5-6) % до (1,5-2) % та зменшити обсяг операцій при формуванні правил керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мережі. Контекстні дані формуються з часових рядів (ЧР), значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу.

Ключові слова: регуляризація, контекст, часові ряди, система електроживлення, помилка прогнозу.

REGULARIZATION OF CONTEXT DATA OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

A. KYSELOVA*, G. KYSELOV

The department of System Design, Educational Scientific Complex "IASA", National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT In this work we present a regularization of context data of autonomous power supply systems. The autonomous power supply systems is a context awareness framework that aims to provide a comprehensive solution to reason about the context from the level of sensor data to the high-level situation awareness (actuator or devices). The paper describes these challenges and presents data management solutions as a module of context data analysis for the energy control system. These solutions include sensor data acquisition and time series forecasting, ontology model and context prediction model for analytical query processing past and future context data. Context prediction requires the consideration of the preliminary time series processing consists in the detection of the series values anomalous values and series smoothing. The randomness of the commutation, though, leads to the disturbances in power consumption characteristics. Keeping a record of time points and the value of the disturbances complicates the forecasting process and can lead to erroneous results. Filtration or smoothing of context time series is the necessary preliminary prediction stage for obtaining trends. Thus, the first step of the module of context data analysis is the filtration and the second step is the prediction. There are three distinct groups of smoothing: Averaging Methods – moving average, weighted moving average; Exponential Smoothing Methods – simple, weighted, exponential, double; Kalman filter. And three group of prediction: Interpolation – linear, polynomial, spline; Extrapolation – linear, polynomial, French curve, conic; Linear prediction. If the prediction value falls outside the confidence range of prediction errors, the task of regularizing sample n of the prediction method is performed. By sample regularizing we understand sample value alteration up to the value which provides the transition of prediction value to the area of confidence range. The proposed approach of regularization (adaptation) of time series for forecasting method allows reducing forecasting error from 6-5% to 2-1.5%, as the test results showed.

Keywords: regularization, context, times series, power supply system, root-mean-square error.

Вступ

Забезпечення необхідного рівня якості електроживлення та ефективності транспортування електроенергії в мережах централізованого електропостачання здійснюється пристроями, що виконують функції моніторингу, керування та захисту мережі. На енергетичному рівні зазначені функції можливо розглядати як відносно незалежні, що спрощує проектування та експлуатацію систем електроживлення шляхом декомпозиції задач і децентралізації процесу керування мережею. В енергомережі з децентралізованим керуванням електротехнічне обладнання функціонує відносно незалежно, що знижує економічність роботи мережі в цілому. На певному етапі розвитку такий підхід був

виправданий, внаслідок великої вартості і малої ефективності системо утворюючого устаткування, яке дозволяє інтегрувати різні пристрої на інформаційному і силовому рівнях.

В зв'язку з необхідністю економії електроенергії не відновлюваних джерел, запаси яких поступово вичерпуються, все частіше використовуються відновлювані джерела енергії (ВДЕ), технічний потенціал яких в перспективі дозволяє мінімізувати використання електростанцій на вичерпаному паливі [1, 2]. Однак їх практичне використання має ряд особливостей, пов'язаних з нестабільним обсягом генерованої енергії і низькою питомою потужністю ВДВ, що вимагає модернізації інфраструктури існуючих мереж, спрямовану на забезпечення узгодженої роботи необмеженої

© А. Г. КИСЕЛЬОВА, Г. Д. КИСЕЛЬОВ, 2016

кількості різнотипних джерел енергії, які представляють собою розосереджену систему електроживлення, на спільне навантаження. Доречно об'єднати електротехнічне обладнання мережі електроживлення в єдину систему, що здійснюється на силовому рівні за допомогою перетворювачів електричної енергії і на інформаційному рівні - обробкою різнотипної даних, які використовуються для керування електроживленням і представляється у вигляді контексту.

Інтеграція різнотипних джерел електроенергії в єдину систему здійснюється на основі концепції активно-адаптивного керування SmartGrid [3].

На відміну від традиційних мереж електроживлення, в яких для керування перетворювачами електроенергії використовуються моногенні дані, такі як струм або напруга, процес керування електроживленням в SmartGrid ґрунтується на вимірюванні і обробці гетерогенних даних навколишнього середовища, наприклад, потужності сонячного випромінювання, швидкості вітру, температури, вологості, параметрів роботи електротехнічного устаткування. До останніх відносяться: просторовий розподіл джерел електроенергії та їх вихідну потужність, ємність засобів акумуляції, рівень втрат у системі електроживлення, потужність споживання навантажень. Для обробки великого обсягу гетерогенних даних створюється спільний контекст.

Ціль роботи

Покращити якість прийняття рішень з керування гетерогенними інфраструктурами автономних систем електроживлення за допомогою регуляризації контекстних даних.

Викладення основного матеріалу

Контекстні дані дозволяють описати можливі стани мережі електроживлення і окремих її пристроїв з використанням апарату дескриптивної логіки [4] у формі триплетів «параметр-атрибут-значення», наприклад «Приміщення: температура: = комфортна», «Генератори: потужність = достатня», «Навантаження: характер = індуктивно-активний». Основні типи та види контексту, які використовуються в інтелектуальних системах керування, описані в роботах [5, 6].

Використання контексту і дескриптивної логіки, підвищує якість керування системою електроживлення та дозволяє використовувати знання експертів для керування системою електроживлення у вигляді логічних правил [7]. Використання правил зменшує кількість параметрів, які використовуються для формування задавальних впливів для пристроїв системи електроживлення, і обсяг даних, які циркулюють в системі. Інтеграція в контекст даних, що надходить від різнотипних ВДЕ та навантажень,

дозволяє отримати модель поточного стану реальної системи електропостачання, на підставі якої системою керування може бути згенеровано раціональне керуюче рішення перетворювачами мережі електроживлення (рис. 1).

Контекст формується з часових рядів (ЧР) вимірних даних, значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу [8].

Контекст формується з часових рядів (ЧР) вимірних даних, значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу. За функціональним призначенням давачі можливо поділити на такі групи:

1) давачі, що асоційовані з людиною-користувачем і призначені для реєстрації подій, пов'язаних з місцезнаходженням (локацією) людини та її переміщенням, активною зоною електромережі, пріоритетами у використанні навантажень. До цієї групи відносяться давачі руху та положення людини, давачі, які фіксують час включення, частоту і інтервали часу роботи пристроїв;

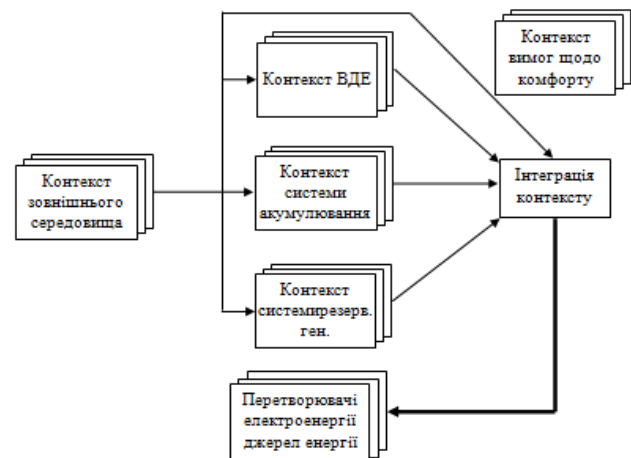


Рис. 1 – Види контексту для керування перетворювачами електроенергії

2) давачі енергоспоживання, що фіксують рівні споживання всієї системи електропостачання та окремих пристроїв в її складі;

3) давачі, які фіксують параметри навколишнього середовища, наприклад давачі температури, тиску, інтенсивності світла та шуму;

4) давачі безпеки, призначені для попередження надзвичайних ситуацій: давачі розбиття скла, давачі пожежі, давачі охоронної сигналізації;

5) давачі біомедичного стану, які контролюють фізіологічний стан людини за пульсом, тиском, рівнем цукру в крові, рівнем холестерину тощо.

До режимів роботи давачів системи електропостачання можна віднести наступні:

1) безперервний режим - постійна реєстрація подій із заданою фіксованою або змінною частотою;

2) режим ввімкнення за подією – реєстрація факту настання події;

3) Режим ввімкнення за запитом – формування сигналу про стан у відповідь на запит, що надходить від системи керування;

4) комбінований режим, що містить елементи трьох попередніх.

Відповідно до стандарту IEEE 1451 [9] події, реєстровані давачами, описуються у форматі повідомлень, які містять:

- 1) виміряні дані;
- 2) час події – контекст часу;
- 3) джерело контексту – тип давача (наприклад, магнітні давачі, давачі руху, димові давачі, давачі розбиття скла та ін.);
- 4) ID (Identifier) – ідентифікатор давача в системі;
- 5) ID повідомлення про факт настання події – ідентифікатор повідомлення, значення якого збільшується з появою нового повідомлення, що дає можливість перевірити, нове це повідомлення або

дублікат, а так само знаходити загублені повідомлення в системі.

Первинна форма даних, отримана від давачів різного типу, відрізняється за своїм форматом. Формування контексту з вимірних даних умовно можна розділити на задачі обробки цифрових сигналів; нормалізації даних та їх подальшої інтеграції, здійснюваних на підставі параметрів моделі обладнання системи електроживлення; формалізації інтегральних показників; приєднанням до них службової інформації: ID, час та локація, інформація для відновлення пошкоджених даних у вигляді циклічного надлишкового коду CRC.

Для уніфікації вимірних даних, яка необхідна для їх інтеграції і спільного використання в системі керування електроживленням, вони нормуються за граничними показниками. У табл. 1. наведено приклад уніфікації вимірних даних і протокол їх передавання.

Таблиця 1 – Приклад перетворення даних в контекст

Джерело контексту	Абсолютне значення, °C	Критичне мін. значення, °C	Критичне макс. значення, °C	Нормоване значення	Контекст
Давач температури	14	-30	+50	$\frac{14 + 30}{50 + 30} = 0,55$	Температура = недостатня
Протокол передавання даних					

Складність побудови прогнозової моделі вимірних даних, що надходять від гетерогенних джерел системи електроживлення, обумовлена тим, що при реєстрації інформаційних потоків, крім корисного сигналу, фіксуються і сторонні сигнали в вигляді збурень. У зв'язку з цим актуальним є видалення з корисного сигналу завад з використанням алгоритмів фільтрування вимірних даних.

Для формування контексту виміряні дані повинні пройти первинну обробку, яка складається з таких етапів: на першому етапі здійснюється відокремлення корисного сигналу від шумової компоненти та його верифікація, тобто оцінка достовірності та виявлення аномальних даних, які проявляються різкою зміною значень; на другому етапі - прогнозування контекстних даних, що зменшує інерційність контуру керування; на третьому – регуляризація контекстних даних, після чого вони використовуються для формування сигналів керування мережею електроживлення.

Для фільтрації шумової компоненти часових рядів (ЧР) досліджені наступні методи [10]: 1) просте ковзаюче середнє; 2) подвійне просте ковзаюче середнє; 3) просте експоненційне згладжування; 4) подвійне експоненційне згладжування; 5) фільтр Калмана.

Для прогнозування членів ЧР без шумової компоненти в тестовому середовищі досліджені наступні методи [10]: метод лінійного передбачення, метод лінійної екстраполяції, метод поліноміальної екстраполяції, метод сплайн екстраполяції.

Параметри алгоритмів прогнозування наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри алгоритму прогнозування

Умовні позначення параметрів	Опис умовних позначень
t_{Π}	Часовий горизонт прогнозу
t_{\max}	Інтервал, який використовується для прогнозування
n	Кількість членів вибірки
t_k	Момент часу, який відповідає члену ЧР з номером k
n_{\min}	Мінімальна кількість членів вибірки
n_{\max}	Максимальна кількість членів вибірки

Прогнозування членів ЧР виконується за наступним алгоритмом:

- 1) отримання поточного часового ряду;
- 2) визначення параметрів t_{Π} , n ;

3) зчитування значення поточного члена ЧР $Y(t_k)$. Якщо $t_k = t_{max}$, то кінець роботи алгоритму.

4) якщо $t_k < t_{max}$, то для поточного члена ЧР в момент часу t_k знаходиться прогнозоване значення $X(t_k + t_{II})$ на часовому горизонті прогнозу t_{II} (розділ 1, формула (1.2)), яке запам'ятовується в динамічному списку прогнозованих членів ЧР на часовому інтервалі до t_{max} .

5) розрахунок і збереження в лінійному списку значення середньоквадратичного відхилення СКВ $Q(t_k)$ прогнозованого члена ЧР у порівнянні з вимірним (Розділ 1, формула (1.3)).

6) Якщо значення СКВ знаходиться за межами довірчого інтервалу ($Q(t_k) > Q_{дов}$), то виконується регуляризація вибірки n . Якщо в динамічному списку прогнозованих членів ЧР немає елемента з часом t_k , то виконується перехід на п.2.

Регуляризація контекстних даних в алгоритмі прогнозування членів ЧР

Під регуляризацією мається на увазі зміна кількості членів вибірки ЧР до значення, що забезпечує зменшення СКО $Q(t_k)$ до величини, при якій значення прогнозуємих членів ЧР входять в область довірчого інтервалу.

Регуляризація вибірки виконується за алгоритмом, блок-схема якого наведена на рис. 2. В процесі регуляризації необхідно виконати наступні дії:

1) задати початкові значення $n = n_{min}, n_{max} = \max$;

2) виявити, за критерієм Ірвіна [11] аномальні члени ряду, для яких СКВ їх прогнозних значень знаходиться за межами довірчого інтервалу ($Q(t_k) > Q_{дов}$):

$$\lambda(t_k) = \frac{\|Q(t_k) - Q(t_{k-1})\|}{|Q(t_k)|},$$

де $\lambda(t_k)$ – коефіцієнт Ірвіна, $Q(t_k), Q(t_{k-1})$ – СКВ членів ЧР в моменти часу t_k і t_{k-1} ;

3) порівняти розрахований коефіцієнт Ірвіна $\lambda(t_k)$ з табличним значенням $\lambda_{таб}$. Якщо значення коефіцієнту Ірвіна перевищує табличне значення, то зменшується кількість членів вибірки n і алгоритм повторюється з першого кроку. Якщо коефіцієнт Ірвіна є меншим за табличне значення, то прогнозні значення членів ЧР вважаються достовірними на інтервалі часу до t_{max} (табличні значення $\lambda_{таб}$ наведені в [11]).

4) Якщо $n < n_{min}$, то $n = n + 1$ і перехід на п. 2.

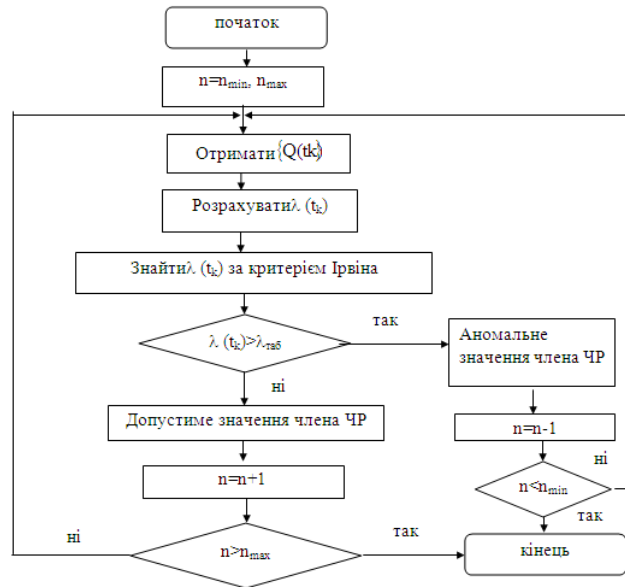


Рис. 2 – Алгоритм регуляризації вибірки контекстних даних

Обговорення результатів

На рис. 3 і 4, як приклад, наведені результати порівняння роботи методу сплайн екстраполяції (СЕ) із застосуванням алгоритму регуляризації вибірки та без нього.

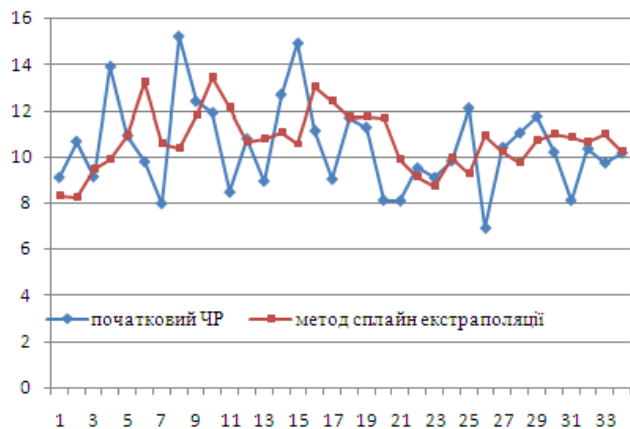


Рис. 3 – результати СЕ без використання регуляризації

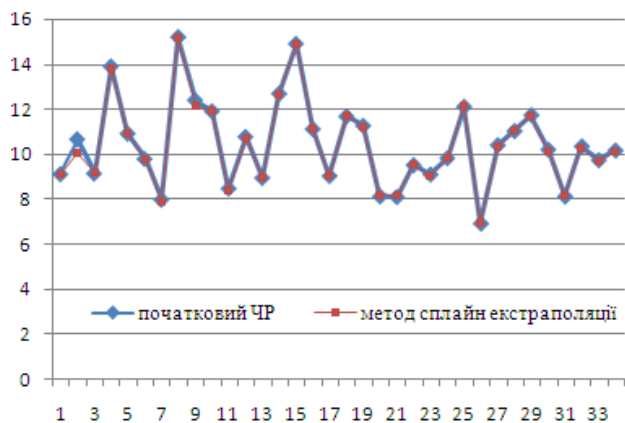


Рис. 4 – результати СЕ з використанням регуляризації

Висновки

Запропонований алгоритм регуляризації контекстних даних при прогнозуванні часових рядів дозволяє на заданому відрізку часу зменшити помилку прогнозування з 6-5% до 2-1,5%, що підтверджується моделюванням наведеного алгоритму.

Зменшення помилки прогнозування дозволяє покращити якість прийняття рішень з керування автономними системами електроживлення і підвищити енергоефективність SmartGrid.

Список літератури

1. **Курьленко, О. В.** Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards / **О. В. Курьленко, Р. Стрзецькі, С. П. Денісюк, Д. Г. Дерев'янко** // *Технічна електродинаміка*. – 2013. – № 6. – С. 52-57.
2. **Кіриленко, А. В.** Converters parameters in smart electricity system / **А. В. Кіриленко, У. І. Якіменко, В. Я. Жуєков, С. П. Денісюк** // *Технічна електродинаміка. Special Issue*. – Київ. – 2010. – 17 p.
3. **Стогній, Б. С.** Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / **Б. С. Стогній, О. В. Кіриленко, А. В. Праховник, С. П. Денісюк** // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – № 5. – С. 52-67.
4. **Pomerol, J. Ch.** About Some Relationships between Knowledge and Context / **J. Ch. Pomerol, P. Brezillon** // *Modeling and Using Context. Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag*. – Dundee, Scotland. – 2001. – P. 461 - 464. – doi:10.1007/3-540-44607-9_44.
5. **Kyselova, A.** Context data analysis for microgrid control system / **Kyselova A.** // *Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. – 2013. – № 58. – P. 46 - 50.
6. **Zhuikov, V.** Integration of context-aware control system in microgrid / **V. Zhuikov, A. Kyselova** // *Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE XXXIII International Scientific Conference*. – 2013. – P. 386-390. – doi:10.1109/ELNANO.2013.6552029.

7. **Zgurovsky, M. Z.** System analysis: problems, methodology, applications / **M. Z. Zgurovsky, N. D. Pankratova** // *NTUU "KPI"*. – Kyiv: *Naukova dymka*. – 2005. – 743 p.
8. **Verbitskyi, I. V.** Predictive control systems of switching converters / **I. V. Verbitskyi** // *Technical Electrodynamics*. – № 3. – 2012. – P. 123-124.
9. **Winograd, T.** Architectures for Context / **T. Winograd** // *Human-Computer Interaction*. – 2001. – Vol. 16. – P. 2-3.
10. **Boytsov, A.** Extending Context Spaces Theory by Predicting Run-Time Context / **S. Balandin, D. Moltchanov, and Y. Koucheryavy** // *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*. Eds., Springer Berlin. – Heidelberg. – 2009. – P. 8-21. – doi:10.1007/978-3-642-04190-7_2.
11. **Box, G.** Time Series Analysis: Forecasting and Control / **G. Box, G. Jenkins, G. Reinsel** // *Wiley*. – 2008. – 450 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Kyrylenko, O. V., Strzelecki, R., Denysiuk, S. P., Derevianko, D. G.** Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamics]*, 2013, **6**, 52 - 57.
2. **Kirilenko, A. V., Yakimenko, U. I., Zhuykov, V. Ya., Denesnyuk, S. P.** Converters parameters in smart electricity system. *Tekhnicheskaiia elektrodynamika. Special Issue*, Kiev, 2010, 17 p.
3. **Srogniy, B. C., Kirilenko, A. V., Prahovnik, A. V., Denesnyuk, S. P.** The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamics]*. 2012, **5**, 52-67.
4. **Pomerol, J. Ch., Brezillon, P.** About Some Relationships between Knowledge and Context. *Modeling and Using Context, Dundee, Scotland, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag*, 2001, 461 - 464, doi:10.1007/3-540-44607-9_44.
5. **Kyselova, A.** Context data analysis for microgrid control system. *Visnik NTUU «KPI» Informatika, upravlinnya ta obchislyval'na tekhnika [Vestnik NTU "KPI" Informatics, Management and Computing]*, 2013, **58**, 46 - 50.
6. **Zhuikov, V., Kyselova, A.** Integration of context-aware control system in microgrid. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE XXXIII International Scientific Conference*, 2013, 386-390, doi:10.1109/ELNANO.2013.6552029.
7. **Zgurovsky, M. Z., Pankratova, N. D.** System analysis: problems, methodology, applications, *NTUU "KPI", Kyiv: Naukova dymka*, 2005, 743 p.
8. **Verbitskyi, I. V.** Predictive control systems of switching converters. *Technical Electrodynamics*, 2012, **3**, 123 - 124.
9. **Winograd, T.** Architectures for Context. *Human-Computer Interaction*, 2001, **16**, 2 - 3.
10. **Boytsov, A., Balandin, S., Moltchanov, D., Koucheryavy, Y.** Extending Context Spaces Theory by Predicting Run-Time Context. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*, Eds., Springer Berlin, Heidelberg, 2009, 8 - 21, doi:10.1007/978-3-642-04190-7_2
11. **Box, G., Jenkins, G., Reinsel, G.** Time Series Analysis: Forecasting and Control. *Wiley*, 2008, 450 p.

Відомості про авторів (About authors)

Кисельова Анна Геннадіївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри системного проектування; м.Київ, Україна; e-mail: a.g.kyselova@gmail.com.

Anna Kyselova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assoc. Prof., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 37, Prospect Peremohy, 03056, Kyiv-56, Ukraine; e-mail: a.g.kyselova@gmail.com.

Кисельов Геннадій Дмитрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри системного проектування; м.Київ, Україна; e-mail: kiselev_gd@bigmir.net.

Gennadiy Kyselov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 37, Prospect Peremohy, 03056, Kyiv-56, Ukraine; e-mail: kiselev_gd@bigmir.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кисельова, А. Г. Регуляризація контекстних даних при керуванні автономними системами електроживлення / **А. Г. Кисельова, Г. Д. Кисельов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 125-130. doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

Please cite this article as:

Kyselova, A., Kyselov, G. Regularization of context data of autonomous power supply systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 125-130, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Киселева, А. Г. Регуляризация контекстных данных при управлении автономными системами электропитания / **А. Г. Киселёва, Г. Д. Киселёв** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 125-130. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

АННОТАЦИЯ Для улучшения качества принятия решения по управлению автономными системами электропитания, создан и протестирован алгоритм регуляризации контекстных данных, позволяющий уменьшить ошибку прогноза временных рядов $\pm (5-6) \%$ до $(1,5-2) \%$ для применения в информационном аспекте микрогрид, что позволит быстро и адекватно анализировать ситуацию в условиях изменяющейся, недостаточной и недостоверной информации.

Ключевые слова: регуляризация, контекст, временные ряды, система электропитания, ошибка прогноза

Поступила (received) 15.03.2016

УДК 621.317

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.19

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЦП ДЛЯ МЕДЛЕННО ПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Г. А. ОБОРСКИЙ¹, Р. П. МИГУЩЕНКО², Л. М. ПЕРПЕРИ³, Ю. Г. ПАЛЕННЫЙ^{3*}

¹ Ректор ОНПУ, Одесса, УКРАИНА

² Проректор НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

³ Кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации, ОНПУ, Одесса, УКРАИНА

*email: yuripalenny@gmail.com

АННОТАЦИЯ Развитие цифровой техники с одной стороны и внедрение европейских стандартов по испытаниям с другой стороны обуславливают необходимость оценки неопределенности измерительных каналов информационно-измерительных систем. В статье рассмотрены основные типы аналогово-цифровых преобразователей и составляющие неопределенности, возникающие при преобразовании измерительных сигналов из аналогового вида в цифровой код. На примере микроконтроллера ATmega164 определены виды погрешностей, которые вносят существенный вклад в бюджет неопределенности при преобразованиях измерительных сигналов поступающих от первичных преобразователей контролируемых медленно протекающие процессы. Основываясь на составляющих неопределенности описанных в технической документации на микроконтроллер, составлен бюджет неопределенности аналогово-цифрового преобразования. Приведен порядок расчета суммарной, стандартной и расширенной неопределенности АЦП с учетом коэффициента охвата.

Ключевые слова: Неопределенность, аналогово-цифровое преобразование, бюджет неопределенности, стандартная неопределенность, расширенная неопределенность.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT WITH ADC FOR SLOWLY PROCEED PROCESSES

G. A. OBORSKY¹, R. P. MYGUSHCHENKO², L. M. PERPERI³, Yu. H. PALENNYY^{3*}

¹ Rector of ONPU, Odessa, UKRAINE

² Prorector of NTU "KPI", Kharkov, UKRAINE

³ Department of machine tools, metrology and certification, ONPU, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The development of digital technology on the one hand and the introduction of European standards of tests on the other hand necessitate estimating uncertainty of measuring channels of information-measuring systems. The article describes the main types of analog-to-digital converters. The definition quantitate error, differential nonlinearity, offset voltage, the multiplicative error monotony conversion characteristics, aperture errors occur when converting the measurement signals from an analog signal to a digital code. A brief description of the metrological characteristics of the ATmega164 microcontroller and his example defines the types of errors that contribute significantly to the uncertainty budget under the transformations of the measurement signals coming from primary converters controlling slow flowing processes. The analysis of technical documentation ATmega164 microcontroller and components defined transformations uncertainty. According to the PM X 33.1405-2005 recommendations for evaluation of uncertainty in carrying out metrological works composed uncertainty budget. The formulas for calculating the standard uncertainty assessment. The order of calculation of the total uncertainty and the extended analog-to-digital conversion, taking into account the coverage ratio.

Keywords: Uncertainty, Analog-to-digital conversion, the budget uncertainty, standard uncertainty, expanded uncertainty.

Введение

Современная практика измерений становится все более цифровой. Измерительная информация обрабатывается и передается в цифровой форме, что обеспечивает гибкость в преобразованиях измерительной информации и защищенность каналов передачи измерительной информации от помех [1, 2]. Однако первичная измерительная информация зачастую получается в виде аналогового сигнала. Важнейшим элементом информационно-измерительных систем являются элементы аналогово-цифрового преобразования (АЦП).

АЦП преобразуют электрическую величину: напряжение, ток, сдвиг фаз, частоту в цифровой код. Поскольку выходной характеристикой большинства первичных преобразователей является напряжение, то и наиболее распространенные аналогово-цифровые преобразователи выполняют функцию автоматического преобразования напряжения в цифровой код.

Цель работы

При переходе к Европейским правилам аккредитации, согласно требованию стандарта ISO/IEC 17025 испытательные лаборатории должны,

по крайней мере, попытаться идентифицировать все составляющие неопределенности и провести разумную оценку [3]. Таким образом, становится актуальной задача составления бюджета неопределенности измерительных каналов и входящих в их состав АЦП.

Рассматривая АЦП как часть измерительного канала можно говорить о том, что АЦП обладает определенными метрологическими свойствами, которые влияют на метрологические свойства измерительного канала информационно-измерительной системы (ИИС). Погрешность перевода измерительной информации из аналоговой формы в цифровую, будет оказывать существенное влияние на неопределенность измерений всего измерительного канала.

Бюджет неопределенности при преобразовании аналогового сигнала в цифровую форму будет складываться из отдельных погрешностей связанных с принципом работы АЦП поэтому актуальным является комплексное рассмотрение составляющих неопределенности аналогово-цифрового преобразования.

Анализ литературных исследований

Известны исследования неопределенности измерений при аналогово-цифровом преобразовании, в которых рассматриваются отдельные составляющие неопределенности. Так в [3] рассмотрено влияние апертурной неопределенности аналого-цифрового преобразователя на результат измерений активной мощности периодического несинусоидального тока. В статье [4] рассмотрено влияние шума в тактовом сигнале квантования на неопределенность аналогово-цифрового преобразования. В литературных источниках [5, 6] указывается только на неопределенность АЦП связанную с величиной квантования. В статье [7] проведена оценка стандартного отклонения шума АЦП по результатам испытаний проведенных в соответствии со стандартом IEEE 1057-94.

Изложение основного материала

АЦП, построенные на различных алгоритмах, обладают различными функциональными характеристиками и различной стоимостью чипов.

АЦП с алгоритмом параллельного одноступенчатого преобразования [8] (см. рис. 1) отличаются высокой частотой дискретизации аналогового сигнала, однако такие АЦП из-за конструктивных особенностей выполняют, как правило, 8, 10 или 12 битное преобразование.

Дальнейшее повышение разрешающей способности таких АЦП ведет к их существенному удорожанию. Частота дискретизации у АЦП параллельного преобразования может достигать $10 \cdot 10^9$ отсчетов в секунду.

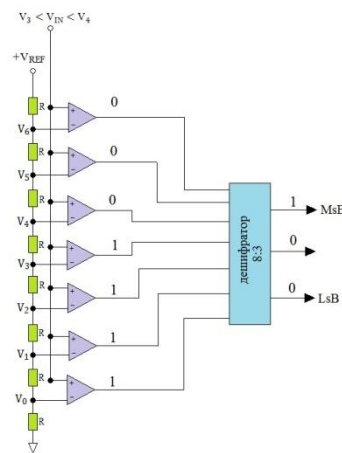


Рис. 1 – АЦП параллельного одноступенчатого преобразования

В тех случаях, когда необходимо повысить разрядность АЦП, при этом скорость преобразования не имеет существенного значения, используют АЦП работающие на принципе последовательного приближения [8] (см. рис 2).

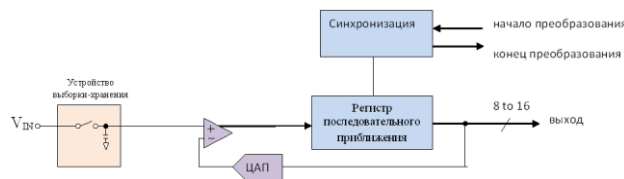


Рис. 2 – АЦП последовательного приближения

Такие АЦП, как правило, выполняют 10, 12 или 16 битное преобразование. Частота дискретизации у таких АЦП обычно не превышает $1 \cdot 10^6$ отсчетов в секунду.

В тех случаях, когда частота дискретизации не имеет существенного значения, например для медленно протекающих процессов, каковыми является большинство измерений температуры, давления, освещенности, влажности, для дальнейшего увеличения разрядности АЦП используют сигма-дельта АЦП [8] (см. рис. 3).

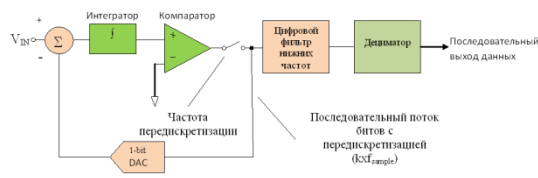


Рис. 3 – АЦП сигма-дельта преобразования

Частота дискретизации сигма-дельта преобразователей обычно не превышает $500 \cdot 10^3$ отсчетов в секунду (kSPS), однако они позволяют производить преобразование с дискретностью до 24 бит.

Исходя из конструктивных особенностей различных типов АЦП, составляющие неопределенности измерений будут различными. Однако можно выделить основные погрешности АЦП свойственные описанным выше типам АЦП. К таким погрешностям можно отнести:

- погрешность квантования определяется обычно как половина величины младшего разряда (ВМР) [5, 7];

- дифференциальную нелинейность АЦП, которая определяется тем, что в различных диапазонах преобразования значения шага квантования может иметь не исключенную систематическую погрешность, определяемую в долях ВМР [9];

- напряжение смещения нуля обусловлено смещением нуля компаратора АЦП и отклонением сопротивления первого резистора делителя опорных напряжений от номинального значения [8];

- мультипликативную погрешность коэффициента преобразования АЦП определяемую как разность между действительным и номинальным значением коэффициента преобразования [8];

- монотонность характеристики преобразования как неизменность направления приращения выходного сигнала при монотонном изменении входного сигнала при наличии шумов усредненного приращения, определяется как величина, зависящая от ВМР и характеризует непропадание кодов на выходе АЦП;

- апертурную погрешность E_{ap} (джиттер) АЦП – это неопределенность амплитуды мгновенного значения сигнала из-за конечного времени преобразования аналогового сигнала в цифровой [2].

Перечисленные погрешности преобразования могут служить основой для расчета неопределенности измерений, производимых с применением АЦП и составлять основу бюджета неопределенности измерений как сводной таблицы составляющих суммарной стандартной неопределенности измерений.

Рассмотрим оценку неопределенности результатов измерений АЦП микроконтроллера ATmega164 в соответствии с рекомендациями по оценке неопределенностей.

АЦП микроконтроллера ATmega164 предназначен для выполнения преобразований аналогового сигнала в измерительный в широком диапазоне внешних условий. Согласно спецификации микроконтроллер устойчиво работает при внешних температурах (T_A) от минус 40 °С до + 105 °С и широком диапазоне напряжения питания (V_{CC}) от 3 до 6 В обеспечивая достаточную точность опорного напряжения (V_{REF}) для компаратора АЦП.

Микроконтроллер позволяет выполнять 10-ти битное аналогово-цифровое преобразование. Десяти битный однокристалльный АЦП микроконтроллера преобразует напряжение от 0 (GND) до 5 В (V_{REF}) за $2N$ шагов (LSB). Погрешности аналогово-цифрового

преобразования в документации микроконтроллера приведены по отношению в LSB , которое может быть вычислено по формуле:

$$LSB = \frac{V_{REF}}{2^N},$$

где N – разрядность АЦП,
 V_{REF} – опорное напряжение.

Низший код соответствует 0, в высший 2^{N-1} .

Поскольку АЦП микроконтроллера ATmega164 работает по принципу последовательного приближения, то время преобразования будет существенно зависеть от величины аналогового сигнала. Время преобразования – это время, за которое на выходе АЦП появляется устойчивый код соответствующий входному сигналу. Для рассматриваемого микроконтроллера эта величина будет лежать в пределах 13...260 мс. Частота выборки значения при максимальном значении входного сигнала 15 kSPS.

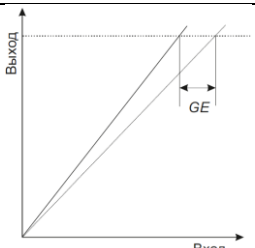
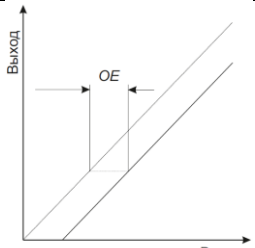
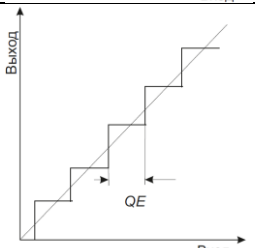
Микроконтроллер ATmega164 имеет восемь мультиплексированных несимметричных входных каналов АЦП. В данной работе рассматривается расчет неопределенности измерений при выполнении измерений одним каналом для получения информации о медленно протекающих процессах с частотой не выше 1 кГц.

Входное сопротивление аналогового входа достаточно высокое – 100 МОм для выполнения большинства измерений.

В таблице 1 приведенные погрешности АЦП микроконтроллера ATmega164 указаны для напряжения питания V_{CC} равного 4 В, и опорного напряжения АЦП V_{REF} равном 4 В, тактовой частоте $ADCclock$ равной 200 кГц [9].

Таблица 1 – Погрешности АЦП микроконтроллера ATmega164

Погрешность преобразования	Не более, от LSB.
Интегральная нелинейность преобразования (INL)	1,1
Дифференциальная нелинейность преобразования (DNL)	0,3

Погрешность преобразования	Не более, от LSB.
Погрешность усилителя (GE) 	1,6
Погрешность смещения (OE) 	минус 1,5
Погрешность квантования (QE) 	0,5

Оценку стандартной неопределенности по типу В определяем по формуле:

$$\hat{u}_{B_{NL}} = \frac{\Delta_{NL}}{K(p)\sqrt{3}},$$

где $K(p)=1,1$ – коэффициент для вероятности $p=0,95$ и для вероятности $p=0,99$ $K(p)=1,4$

Суммарная погрешность усиления и смещения δ_{GO} выходного кода относительно входного сигнала $\delta_{GO} = GE + OE$.

Оценку стандартной неопределенности по типу В связанной с усилением и смещением определяем аналогичным способом:

$$\Delta_{GO} = \delta_{GO} \frac{V_{REF}}{2^N}; \quad \hat{u}_{B_{GO}} = \frac{\Delta_{GO}}{K(p)\sqrt{3}}.$$

Абсолютные границы шума квантования аналогово-цифрового преобразования равны половине значения младшего разряда:

$$\Delta_Q = \frac{1}{2} LSB.$$

Неопределенность квантования u_Q преобразования равна границе погрешности квантования, деленной на коэффициент охвата для равномерного закона распределения [11]:

$$u_Q = \frac{\Delta_Q}{\sqrt{3}}.$$

В таблице 2 приведен бюджет неопределенности аналогово-цифрового преобразования согласно рекомендациям [11].

Таблица 2 – Бюджет неопределенности аналогово-цифрового преобразования

Входные величины	Оценки входных величин	Стандартная неопределенность	Распределения вероятностей
Выходной код преобразования (V_x)	0...5 В		
Погрешность нелинейности преобразований	–	$\hat{u}_{B_{NL}} = \frac{\Delta_{NL}}{K(p)\sqrt{3}}$	Равномерное
Погрешность смещения и усиления	–	$\hat{u}_{B_{GO}} = \frac{\Delta_{GO}}{K(p)\sqrt{3}}$	Равномерное
Погрешность квантования	–	$u_Q = \frac{\Delta_Q}{\sqrt{3}}$	Равномерное
Y	0...5 В	$u(y)$	Равномерное

По данным документации на микроконтроллер ATmega164 [9] температура окружающей среды оказывает не существенное влияние на вольтамперную характеристику микроконтроллера. Следовательно, влиянием температуры на погрешность преобразования можно пренебречь. Так же, в медленно протекающих процессах, можно не принимать во внимание апертурную погрешностью [10].

Дальнейшая оценка составляющих неопределенности, составление бюджета неопределенности и расчет расширенной неопределенности аналогово-цифрового преобразования проведены с учетом рекомендаций [11].

Максимальное значение погрешности нелинейности преобразования связанные с алгоритмом преобразования в АЦП, рассчитываем из условия наихудшего возможного сочетания интегральной и дифференциальной нелинейности $\delta_{NL} = INL + DNL$.

Неопределенность, связанную с нелинейностью преобразования вычисляем исходя из значения δ_{NL} в предположении о равномерном распределении погрешности внутри границы.

Поскольку величина погрешности δ_{NL} определяется в долях LSB, то погрешность в измеряемой величине Δ_{NL} будет равна:

$$\Delta_{NL} = \delta_{NL} \frac{V_{REF}}{2^N}.$$

Суммарная неопределенность u_s выходного кода определяем по формуле

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)},$$

$$u_s = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{NL}}{K(p)\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{GO}}{K(p)\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_Q}{\sqrt{3}}\right)^2}.$$

Расширенную неопределенность рассчитываем с учетом коэффициента охвата, величина которого определяется для равномерного распределения по величине отношения $\left|\frac{u_2(y)}{u_1(y)}\right|$ соответствующего отношению двух наибольших вкладов в бюджет неопределенности, при этом $u_1(y) \geq u_2(y)$.

Значения коэффициент охвата k_B выбираем по таблице 3 [11].

Таблица 3 – Значения коэффициента охвата при равномерно распределенных входных величинах.

$\left \frac{u_2(y)}{u_1(y)}\right $	k_B
1...0,8	1,94
0,9	1,93
0,6	1,92
0,5	1,90
0,4	1,87
0,3	1,82
0,2	1,75
0,1	1,68

Вышеприведенные данные бюджета неопределенности аналогово-цифрового преобразования, порядок расчетов приведенные автором позволяют рассчитать расширенную неопределенность по формуле [11]:

$$U = k_B u_s(Y).$$

Выводы

Полученную в результате расширенную неопределенность аналогово-цифрового преобразования можно использовать в качестве составляющей неопределенности измерительного канала. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку неопределенности измерительных каналов.

Список литературы

1. **Оборський, Г. О.** Вимірювання фізичних величин: навчальний посібник / **Г. О. Оборський, П. Т. Слободяник, В. Л. Костенко** та ін. // Одеса: Астропринт. – 2012. – 400 с.
2. **Щапов, П. Ф.** Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів: монографія / **П. Ф. Щапов, Р. П. Мигушенко,**

О. Ю. Кропачек // Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ». – 2015. – 244 с.

3. **Rozina, O. Yu.** The Effect of the Aperture Uncertainty of an Analog-to-Digital Converter on the Result of Measurements of the Active Power of a Periodic Nonsinusoidal Current / **O. Yu. Rozina** // *Measurement Techniques*. – 2014. – № 9 (57). – doi:10.1007/s11018-014-0579-9.
4. **Jableka, M.** Uncertainty of asynchronous analog-to-digital converter output state / **M. Jableka, M. Miskowicz, D. Koscielnik** // *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on 4-7 July 2010*, Publisher: IEEE. – 2010. – P. 1692 - 1697. – doi:10.1109/ISIE.2010.5637548.
5. *Data Conversion Handbook*, Analog Devices Inc. / *Engineeri. – Elsevier*. – 18 December 2004. – 976 p.
6. **Paolo Fornasini** The Uncertainty in Physical Measurements, An Introduction to Data Analysis in the Physics Laboratory / **Paolo Fornasini** // New York: Springer. – 2010. – 289 p. doi:10.1007/978-0-387-78650-6.
7. **Correa Alegria Francisco André** Uncertainty of ADC random noise estimates obtained with the IEEE 1057 standard test / **CORREA ALEGRIA Francisco André; DA CRUZ SERRA Antonio Manuel** // *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. – 2005. – № 54(1). – P. 110 - 116. – doi:10.1109/TIM.2004.840226.
8. **Вольфганг Райс** Как работают аналогово-цифровые преобразователи и что можно узнать из спецификации на АЦП / **Вольфганг Райс** // *Компоненты и технологии*. – 2005. – № 3. – 6 с.
9. Atmel-8272G-AVR-01/2015 ATmega164A / 164PA / 324A / 324PA / 644A / 644PA /1284 /1284P 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64/128K Bytes In-System Programmable Flash. Datasheet. Atmel Corporation. Rev.: Atmel-8272G-AVR-Document-Title-or-Devices-Filename-Datasheet_01. – 2015. – 659 p.
10. **Браннон, Б.** Апертурная неопределенность и рабочие характеристики АЦП Электроника НТБ / **Б. Браннон, А. Барлоу** – 2006. – №4. [Режим доступа] <http://www.electronics.ru/journal/2006/4>.
11. **ПМ Х 33.1405-2005** Методический документ по метрологии. Рекомендация. «Оценивание неопределенности при проведении метрологических работ» // *Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЕ)*. – Харьков. – 2008. – 48 с.
12. **РМГ 43-2001** Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений» // *Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации*. – Минск. – 20 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Obors'kij, G. O., Slobodjanik, P. T., Kostenko, V. L. ta in.** Vimirjuvannja fizichnih velichin: navchal'nij posibnik [Measuring physical quantities: Tutorial]. Odesa: Astroprint, 2012, 400 p.
2. **Shhapov, P. F., Migushhenko, R. P., Kropachek, O. Ju.** Teoretichni ta praktichni zasadi sistem kontrolju ta diagnostuvannja skladnih promislovih ob'ektiv: monografija [Theoretical and practical principles of monitoring and diagnosis of complex industrial facilities: monograph]. Vid-vo «Pidruchnik NTU «KhPI» [Type-in "Handbook of NTU "KPI"]], 2015, 244 p.
3. **Rozina, O. Yu.** The Effect of the Aperture Uncertainty of an Analog-to-Digital Converter on the Result of Measurements of the Active Power of a Periodic

- Nonsinusoidal Current, *Measurement Techniques*, 2014, **9**(57), doi:10.1007/s11018-014-0579-9.
4. **Jableka M., Miskowicz M., Koscielnik D.** Uncertainty of asynchronous analog-to-digital converter output state, *Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on 4-7 July 2010*, 1692 – 1697, doi:10.1109/ISIE.2010.5637548.
 5. Data Conversion Handbook, Analog Devices Inc., *Engineeri, Elsevier*, 18 December 2004, 976 p.
 6. **Paolo Fornasini** The Uncertainty in Physical Measurements, An Introduction to Data Analysis in the Physics Laboratory. *New York : Springer*, 2010, 289 p., doi:10.1007/978-0-387-78650-6.
 7. **CORREA ALEGRIA Francisco André, DA CRUZ SERRA Antonio Manuel** Uncertainty of ADC random noise estimates obtained with the IEEE 1057 standard test / *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 2005, **54**(1), 110-116, doi:10.1109/TIM.2004.840226.
 8. **Vol'fgang Rajs** Kak rabotajut analogovo-cifrovye preobrazovateli i chto možno uznat' iz specifikacii na ACP, *Komponenty i tehnologii*, 2005, **3**, 6 p.
 9. Atmel-8272G-AVR-01/2015 ATmega164A/164PA/324A / 324PA/644A/ 644PA/ 1284/1284P 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64/128K Bytes In-System Programmable Flash. Datasheet. Atmel Corporation. Rev.: Atmel-8272G-AVR-Document-Title-or-Devices-Filename-Datasheet_01/2015, 659 p.
 10. **Brannon B., Barlou A.** Aperturnaja neopredelennost' i rabochie harakteristiki ACP Jelektronika NTB, 2006, **4**, [Web], <http://www.electronics.ru/journal/2006/4>.
 11. **PM H 33.1405-2005** Metodicheskij dokument po metrologii. Rekomendacija. «Ocenivanie neopredelennosti pri provedenii metrologicheskikh rabot», *Khar'kovskij nacional'nyj universitet radiojelektroniki (HNURJe), Khar'kov*, 2008, 48 p.
 12. **RMG 43-2001** Rekomendacii po mezhgosudarstvennoj standartizacii. Primenenie «Rukovodstva po vyrazheniju neopredelennosti izmerenij», *Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, Minsk*, 20 p.

Сведения об авторах (About authors)

Оборский Геннадий Александрович – доктор технических наук, профессор, ректор Одесского Национального политехнического университета «ОНПУ», г. Одесса, Украина; e-mail: oborsky@ukr.net.

Oborsky Gennady Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Odessa National Polytechnic University "ONPU", Odessa, Ukraine; e-mail: oborsky@ukr.net.

Мигущенко Руслан Павлович – доктор технических наук, профессор, проректор Национального Технического Университета «ХПИ», г. Харьков, Украина; e-mail: mrp1@bk.ru.

Mygushchenko Ruslan Pavlovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Prorector of NTU “KPI”, Kharkov, Ukraine; e-mail: mrp1@bk.ru.

Перпери Людмила Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса; e-mail: lmp.mvms@ukr.net.

Perperi Liudmyla – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of "machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa; e-mail: lmp.mvms@ukr.net.

Паленный Юрий Григорьевич – ст. преподаватель кафедры «Металлорежущих станков, метрологии и сертификации» Одесского национального политехнического университета, Одесса; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Palennyu Yuriy Grygorovich – senior teacher of "machine tools, metrology and certification" of the Odessa National Polytechnic University, Odessa; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Оборский, Г. А. Неопределенность измерений с использованием АЦП для медленно протекающих процессов / **Г. А. Оборский, Р. П. Мигущенко, Л. М. Перпери, Ю. Г. Паленный** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 131-136. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.19.

Please cite this article as:

Oborsky, G. A., Mygushchenko, R. P., Perperi, L. M., Palennyu, Yu. H. Uncertainty of measurement with ADC for slowly proceed processes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12**(1184), 131-136, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.19.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Оборський, Г. О. Невизначеність вимірювань з використанням АЦП для процесів що плінуть повільно / **Г. О. Оборський, Р. П. Мигущенко, Л. М. Перпери, Ю. Г. Паленний** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 131-136. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.19.

АНОТАЦІЯ Розвиток цифрової техніки з одного боку і впровадження європейських стандартів з випробувань з іншого боку обумовлюють необхідність оцінки невизначеності вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальних систем. У статті розглянуто основні типи аналогово-цифрових перетворювачів і складові невизначеності, що виникають при перетворенні вимірювальних сигналів з аналогового вигляду в цифровий код. На прикладі мікроконтролера ATmega164 визначено види похибок, які вносять істотний внесок до бюджету невизначеності при перетвореннях вимірювальних сигналів що надходять від первинних перетворювачів які контролюють повільних процесів. Грунтуючись на складових невизначеності описаних в технічній документації на мікроконтролер, складено бюджет невизначеності аналого-цифрового перетворення. Наведено порядок розрахунку сумарної, стандартної і розширеної невизначеності АЦП з урахуванням коефіцієнта охоплення.

Ключові слова: Невизначеність, аналогово-цифрове перетворення, бюджет невизначеності, стандартна невизначеність, розширена невизначеність.

Поступила (received) 18.01.2016

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА БЕЗПЕЧНІСТЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КАПСУЛЬОВАНИХ ПРОДУКТІВ З ПРОБІОТИЧНИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Є. П. ПИВОВАРОВ¹, В. Л. БОЛЬШАКОВА², Н. В. КОНДРАТЮК^{3*}, О. В. ДЕМИДОВА³

¹ Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, УКРАЇНА

² Державне підприємство «Дніпростандартметрологія», м. Дніпропетровськ, УКРАЇНА

³ Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпропетровськ, УКРАЇНА

*email: kondratjuk_nata@mail.ru

АНОТАЦІЯ. Стаття висвітлює актуальність проблеми впровадження системи управління безпекою за принципами HACCP на виробництвах харчової промисловості. У статті уперше описано особливості побудови та використання даної системи на виробничих ділянках, де випускають капсульовані напівфабрикати з пробіотичними мікроорганізмами. При цьому особлива увага направлена на усі можливі критичні точки контролю, які можуть стати на заваді виробництва безпечної капсульованої продукції з пробіотичними мікроорганізмами. Охарактеризовані усі види ризиків, а також наведені рекомендації щодо попередження, усунення або зниження їх до припустимих рівнів, позначених у міжнародних стандартах.

Наведені пропозиції, за рахунок запропонованого систематичного контролю на всіх етапах виробництва, гарантують виготовлення безпечної продукції; безпеку продукції при споживанні; збільшення відповідальності персоналу на усіх операціях та стадіях технологічного процесу.

Ключові слова: капсульовані пробіотичні мікроорганізми, система HACCP, безпека харчової продукції.

CONTROL SYSTEM BY QUALITY AND SAFETY AT THE PRODUCTION OF CAPSULATED PRODUCTS WITH PROBIOTIC MICROORGANISMS

E. PIVOVAROV¹, V. BOL'SHAKOVA², N. KONDRATJUK³, O. DEMYDOWA³

¹ Department of Technology of the Food, Kharkiv State University of Food and Trade, Kharkiv, UKRAINE

² State Enterprise "Dneprstandartmetrologiya", Dnipropetrovs'k, UKRAINE

³ Department of Food Technology Dnipropetrovs'k National University by Oles' Honchar, Dnipropetrovs'k, UKRAINE

*email: kondratjuk_nata@mail.ru

ABSTRACT In the article actuality of problem of introduction of control system is lighted up by safety on principles of HACCP on the enterprises of food industry. In the article the features of construction and use of this system are first described on productive areas, where is producing of incapsulated semiproducts with probiotic microorganisms. Thus the special attention is sent to all possible critical points of control, that can become a hindrance to the production of safe incapsulated products with probiotic microorganisms. On the basis of the resulted chart authentication and analysis potentially of dangerous factors is done, which foresees collection and estimation of information about dangers and terms which can result in their origin. Within the framework of plan physical, biological and chemical dangers are examined. All identified an unconcern estimated with a ball scale. At determination of every KKT a method was used «Tree of making decision». All types of risks are described, and also recommendations over are brought concerning warning, removal or decline them to the possible levels mark in international standards.

The resulted suggestions in relation to a management possible dangerous factors guarantee making of safe products due to the offered systematic control on all stages of production; an unconcern of products is at a consumption; an increase of responsibility of personnel is on all operations and stages of technological process.

Keywords: the incapsulated probiotic microorganisms, HACCP system, the food safety.

Вступ

Сучасне переформування і розвиток каналів зовнішньої торгівлі в Україні і у світі повинні мати за мету покращення якості життя людей. Особливої актуальності це питання набуває в українському суспільстві. Визнання світовою спільнотою вітчизняного агропромислового комплексу та сільськогосподарських угідь одними з найпотенціальніших чинників розквіту держави та рівня життя населення, прогнозує формування

широкого за географією спектру торговельних взаємодій та, у зв'язку з цим, вимагає від виробників високої якості та гарантії різних рівнів безпеки готової продукції.

Якість і безпека будь-якого харчового продукту закладається практично на всіх етапах його життєвого циклу: починаючи з визначення вимог до сировини та харчових добавок і, закінчуючи утилізацією незатребуваних або бракованих одиниць товарів [1]. Тому контроль необхідно здійснювати на усіх етапах, стадіях та

операціях технологічного процесу. Показники повинні бути точними і достовірними.

Практично в усьому світі, як надійний спосіб захисту споживачів від небезпек, що можуть супроводжувати харчову продукцію, визнають і застосовують системи управління безпечністю харчових продуктів. Законодавство країн Європейського Союзу, Японії, Канади, США вимагає обов'язкового впровадження систем управління безпечністю харчових продуктів [2].

В Україні застосування систем НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) також є обов'язковим для всіх підприємств, які займаються виробництвом і введенням в товарообіг харчових продуктів. Проте, деякі технології, потребують деталізації вимог до впровадження даної системи [3].

Так, наприклад, капсульовані пробіотичні мікроорганізми, які мають широкий спектр оздоровчих властивостей для організму людини і виступають у ролі напівфабрикатів для цілої низки солодких страв [4, 5], наразі потребують уточнень ризиків, оскільки виробництво даної продукції розширюється за рахунок внесення нових видів пробіотичних мікроорганізмів та виробництва нових товарних пропозицій на основі їх капсульованих форм.

Отже, впровадження і підтримка існування системи НАССР під час виробництва капсульованих пробіотичних мікроорганізмів дозволить підприємству уникнути використання потенційно небезпечних матеріалів і сировинних компонентів; стане запобіжним заходом від біологічних, хімічних та фізичних ризиків, що можуть спричинити різні захворювання людей; забезпечить тільки продуктивну витрату коштів на енергоресурси та виробництво.

Мета роботи

Мета роботи полягає у визначенні основних етапів управління якістю та безпечністю при виробництві капсульованих продуктів з пробіотичними мікроорганізмами відповідно до існуючих вимог і принципів НАССР.

Викладення основного матеріалу

НАССР – концепція, яка передбачає систематичну ідентифікацію, оцінку і управління небезпечними чинниками, які впливають на безпеку продукції, та є запобіжною (превентивною) системою в частині безпеки харчової продукції. Автори [6] вважають, що імплементація та мотивація системи НАССР повинна здійснюватись на національному рівні, а її впровадження контролюватись на рівні місцевого самоврядування та державного менеджменту.

За результатами моніторингу розвитку стратегії менеджменту якості та безпеки на світовому рівні можна дістатися висновку про те, що до основних видів сировини (м'ясо, риба, птиця, зерно, фрукти, овочі, вода тощо) та продуктів їх переробки (м'ясні та рибні напівфабрикати, молоко питне, крупа, борошно, цукор, соки, напої алкогольні, консерви, хліб тощо) висуваються однакові вимоги якості. Проте, з детального вивчення планів розробки системи НАССР у окремих країнах, таких як Польща [7], Греція [8], Великобританія [9] стало відомо, що початковий етап планувальної діяльності максимально враховує географічне місце походження предметів вивчення, кліматичні зони їх підготовки, переробки та приймання, а також транспортні умови перевезення (доставки).

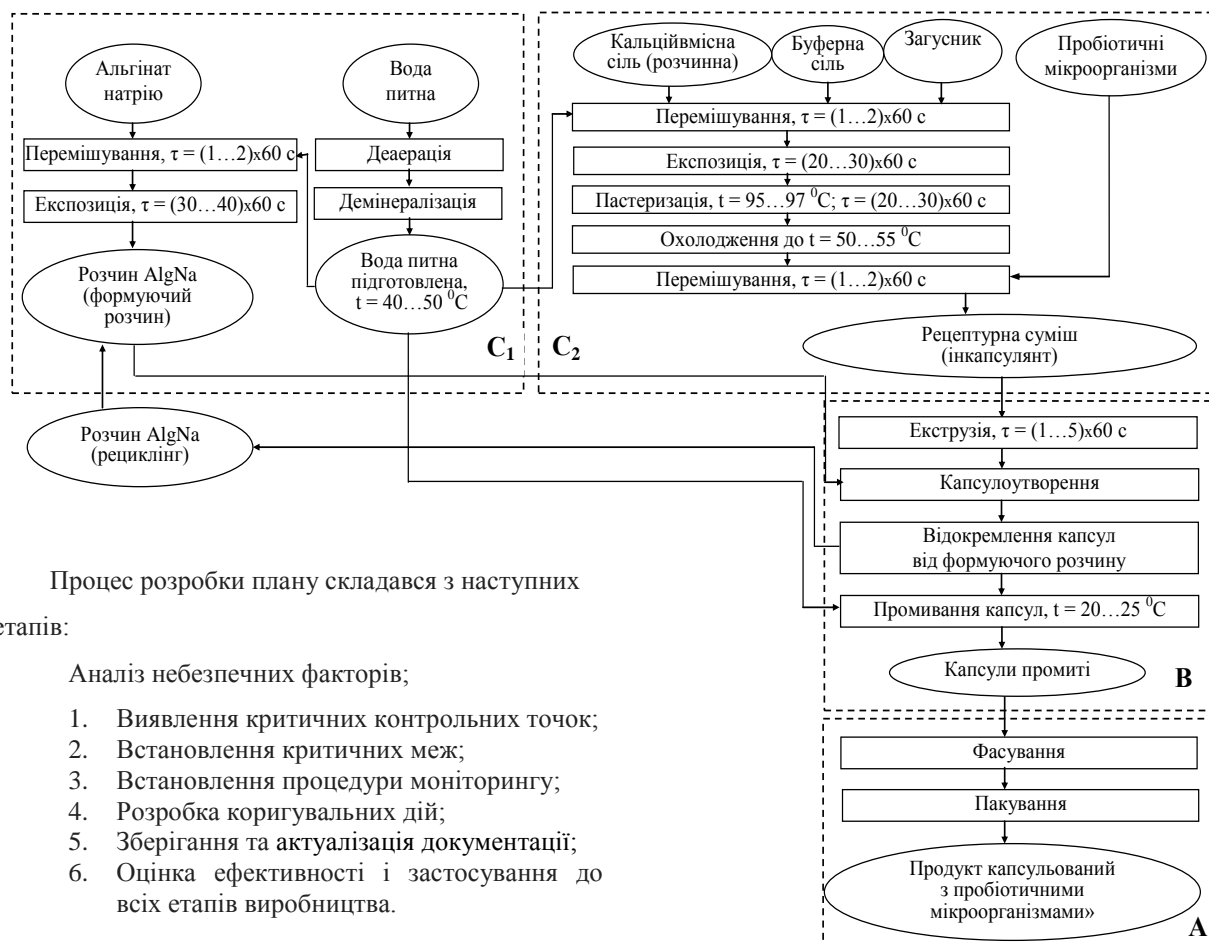
Під час детального ознайомлення з планами НАССР, які реалізуються у межах схожих технологій, але у різних країнах, спостерігалися суттєві відмінності, про які слід зауважити. Наприклад, плани НАССР під час виробництва сиру в Україні [10] та Іспанії [11], не зважаючи на ідентичні показники якості готового продукту та етапність виконання технологічних операцій, мають розбіжності. Так, у країні з більш теплим кліматом, кількість критичних контрольних точок збільшена. При цьому більшість з них має біологічний тип небезпеки і, переважно, тяжкі наслідки, у разі їх не усунення. Проте, у країні зі значною кількістю промислових зон, та складною екологічною ситуацією, кількість контрольних точок, що належать до типів небезпеки Х (хімічні) та Ф (фізичні) також збільшена, але ймовірність їх реалізації низька і тяжкість – середня. Механічні домішки і хімічні речовини видалити значно легше, оскільки вони можуть бути виявлені і безповоротно видалені на початковому етапі технологічного процесу.

Описані залежності спостерігаються і під час вивчення планів НАССР при переробці м'яса у Китаї та Мексиці [12], а також на підприємствах круп'яної [13] та молочної індустрії [14].

З вищенаведеного можна стверджувати, що розробка і впровадження системи безпеки харчової продукції дає підприємству впевненість в тому, що продукція буде безпечною, якісною, конкурентоспроможною і матиме великий попит.

Саме тому було розроблено систему управління якістю та безпекою і для принципово нових позицій асортименту продуктів з пробіотичними мікроорганізмами – капсульованих.

У системі контролю було враховано ієрархічність управлінських концепцій, зовнішня нормативна документація та програми-передумови. Основою для побудови плану НАССР стала технологічна схема виробництва «Продукту капсульованого з пробіотичними мікроорганізмами» (рис. 1).



Процес розробки плану складався з наступних етапів:

Аналіз небезпечних факторів;

1. Виявлення критичних контрольних точок;
2. Встановлення критичних меж;
3. Встановлення процедури моніторингу;
4. Розробка коригувальних дій;
5. Зберігання та актуалізація документації;
6. Оцінка ефективності і застосування до всіх етапів виробництва.

Реалізація даних етапів у визначеній послідовності обумовлює ефективний вплив на умови протікання виробничих процесів та орієнтує трудові ресурси на конкретні заходи з налаштування і регулювання виробничої зони та правил особистої гігієни.

Обговорення результатів

На підставі наведеної схеми зроблено ідентифікацію та аналіз потенційно небезпечних факторів (табл.1), який передбачає збір і оцінку інформації про небезпеки і умови, що можуть призвести до їх виникнення. У рамках плану розглядаються фізичні, біологічні та хімічні небезпеки. Всі ідентифіковані небезпечності оцінюються з бальною шкалою. Система контролю фокусується на значущих небезпечних факторах, які з розумною часткою ймовірності можуть статися і можуть завдати шкоди здоров'ю споживачів.

Рис. 1 – Технологічна схема виробництва «Продукту капсульованого з пробіотичними мікроорганізмами»

Ідентифікація і аналіз ризиків спрямовані на попередження прояву, а не на ліквідацію наслідків від невідповідного продукту. Проаналізовано всі етапи технологічного процесу виробництва «Продукту капсульованого з пробіотичними мікроорганізмами».

Грунтуючись на оцінці небезпек, були вибрані відповідні заходи управління (виробничі програми обов'язкових попередніх заходів), виділені критичні контрольні точки (ККТ) на усіх операціях технологічного процесу.

При визначенні кожної ККТ застосовувався метод «Дерево прийняття рішень». При аналізі ризиків були виявлені і визначені основні небезпечні фактори процесу виробництва капсульованої продукції з пробіотичними мікроорганізмами.

Критичні контрольні точки визначалися для того, щоб допомогти контролювати ймовірність контамінації продукції у виробничому середовищі, а також біологічний, хімічний і фізичний типи забруднення, включаючи перехресне забруднення.

Таблиця 1 – Ідентифікація і оцінювання небезпечних факторів

Умови походження	Характеристика, тип небезпечності, ймовірність реалізації-тяжкість наслідків	Управління безпекою/ Можливість подальшого усунення
Етап 1		
1.1 Приймання сировини, допоміжних матеріалів		
Невідповідність умов транспортування, вимог супровідних документів	забруднення сторонніми домішками/включеннями, Ф-2-1	Постачальники схвалені, вся сировина в упаковці. В наявності супровідні документи, що підтверджують якість і безпечність сировини і допоміжних матеріалів. Подальші операції: можливість подальшого усунення небезпеки. Контроль виконання процедур з вхідного контролю сировини і допоміжних матеріалів, документування процедур.
	підвищена волога в сухих компонентах сировини Х-2-1	
	підвищений вміст м/о (санітарно-показових, потенційно-патогенних, дріжджів, плісняви) Б-2-2	
1.2 Зберігання сировини, допоміжних матеріалів		
порушення цілісності упаковки	сторонні домішки/включення Ф-1-1	Дотримання умов зберігання (від - 20 °С до 25 °С), термінів придатності до споживання, зберігання сировини та пакувальних матеріалів в герметичному пакуванні. Подальші операції: можливість подальшого усунення небезпеки Контроль виконання робочої інструкції з контролю умов зберігання. Моніторинг кліматичних параметрів
невідповідність умов зберігання	підвищена волога Ф-2-4	
порушення цілісності упаковки, невідповідність умов зберігання	патогенні м/о, дріжджі, плісені Б-2-2	
1.3 Підготовка води: демінералізація, деаерація поволоконні фільтри		
неякісна мийка/дезінфекція обладнання, несвоєчасна заміна фільтрів	сторонні домішки/включення Ф-2-4	Дотримання етапів очищення води, своєчасне обслуговування обладнання (заміна фільтрів, дезінфекція обладнання). Дотримання температурних параметрів води 40°С -50 °С. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийняттого рівня. Контроль виконання інструкції з технологічного процесу підготовки води, роботи обладнання, процедури по захисту від потрапляння сторонніх включень. Періодичний контроль фізико-хімічних, мікробіологічних, токсикологічних показників, контроль залишкових кількостей дезінфікуючих розчинів.
неякісна мийка/дезінфекція обладнання, несвоєчасна заміна фільтрів	підвищена залишкова кількість токсичних елементів, фізикохімічних показників, дезінфікуючої речовини, залишкова кількість кисню Х-2-3	
недотримання технології очищення води, дезінфекції обладнання	підвищений вміст санітарно-показових, потенційно-патогенних м/о Б-3-3	
1.4 Підготовка формуючого розчину AlgNa: перемішування з водою, експозиція		
порушення правил обслуговування обладнання, особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	сторонні домішки/включення, густина формуючого розчину, порушення структури гелю Ф-2-1	Дотримання рецептури, параметрів технологічного процесу (перемішування $\tau = (1...2) \times 60$ с, експозиція $\tau = (30...40) \times 60$, температурні параметри води 40°С -50 °С. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийняттого рівня. Контроль параметрів технологічного процесу (рецептури, вмісту вологи, температури води, часу перемішування, експозиції), виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання).
порушення особистої і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-2-3	
порушення вимог рецептури	підвищена волога Х-1-1	
1.5 Підготовка розчину сироватки підсирної: перемішування з водою, експозиція		
порушення правил обслуговування обладнання, особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	сторонні домішки/включення, у разі підвищення температури відбудеться згортання білків та їх седиментація Ф-3-4	Дотримання технологічних параметрів (рецептури, температура води 40°С -50 °С, перемішування $\tau = (1...2) \times 60$ с, експозиція з $\tau = (20...30) \times 60$), особистої і виробничої санітарії персоналом. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийняттого рівня.
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-3-2	

порушення вимог рецептури	підвищена концентрація сухих речовин Х-3-3	Контроль технологічних параметрів (рецептури, температури води, вмісту вологи, часу експозиції і перемішування), виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання)
1.6 Внесення компонентів: CaCl₂, NaКМЦ, перемішування, експозиція		
порушення правил обслуговування обладнання, особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом, технологічного процесу (недотримання часу експозиції)	сторонні домішки/включення, невідповідна густина Ф-3-3	Дотримання технологічних параметрів (рецептури, температура води 40 ⁰ С -50 ⁰ С, час перемішування $\tau = (1\dots2)\times 60$ с, час експозиції $\tau = (30\dots40)\times 60$), особистої і виробничої санітарії персоналом. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня.
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-3-2	Контроль технологічних параметрів (рецептури, температури води, вмісту вологи, часу експозиції і перемішування), виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання).
1.7 Пастеризація		
Порушення правил стерилізації, вимог при роботі стерилізаторів	виживання м/о Б-3-4	Дотримання умов пастеризації (температура 95 ⁰ С - 97 ⁰ С; час (20...30) \times 60 с), дотримання режимів пастеризації. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня. Контроль виконання інструкції з роботи пастеризаторів.
1.8 Охолодження		
недотримання температури	підвищена густина суміші Ф-1-1	Дотримання температури 20 ⁰ С-25 ⁰ С. Контроль за дотриманням температури, особистої і виробничої санітарії персоналом (змиви з рук і обладнання, контроль мийки обладнання).
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-3-4	
1.9 Перемішування		
порушення часу перемішування, правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	наявність сторонніх домішок/включень, неомогенна система Ф-1-2	Дотримання технологічних параметрів (час перемішування $\tau = (1\dots2)\times 60$ с, особистої і виробничої санітарії персоналом. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня. Контроль параметрів технологічного процесу, виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання).
	мікробіологічне обсіменіння Б-3-4	
Етап 2		
2.1 Екструзія		
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	наявність сторонніх домішок/включень Ф-1-1	Дотримання технологічних параметрів (тиск, рух повітря, час екструзії $\tau = (1\dots5)\times 60$ с, особистої і виробничої санітарії персоналом. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня. Контроль параметрів технологічного процесу (тиск, рух повітря), виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання).
	мікробіологічне обсіменіння Б-1-1	
	залишки дезінфікуючих розчинів Х-2-2	
2.1 Капсулоутворення		
Порушення режимів роботи мішалки (швидкість обертання мішалки, час), правил гігієни персоналом	наявність сторонніх домішок, деформація капсули Ф-1-3	Дотримання режиму роботи обладнання, особистої і виробничої санітарії персоналом. Подальші операції: не можуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня. Контроль параметрів технологічного процесу (швидкість обертання мішалки, час), виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання), контроль дезінфікуючих розчинів.
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-1-3	
	залишки дезінфікуючих розчинів Х-1-3	
2.2 Відокремлення капсул від формуючого розчину, промивання капсул		
порушення технологічних режимів (не достатня кількість води для промивання капсул), правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	наявність сторонніх домішок/включень, злипання капсул Ф-3-1	Дотримання технологічних процесів (промивання до повного відокремлення капсул від формуючого розчину ($t = 20\dots25$ ⁰ С), особистої і виробничої санітарії персоналом. Наступні операції не зможуть зменшити небезпеку до прийнятного рівня.

порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-3-3	Контроль технологічного процесу, виробничої санітарії (змиви з рук і обладнання), контроль дезінфікуючих розчинів, залишкової кількості дезінфікуючих розчинів, формуючого розчину.
порушення технологічних режимів	залишкова кількість формуючого розчину Х-3-2	
2.3 Фасування, пакування, маркування		
порушення особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом (пакувальні матеріали, обладнання) нанесення невідповідних термінів придатності до споживання	наявність сторонніх домішок/включень Ф-2-4	Дотримання технологічного процесу, особистої і виробничої санітарії персоналом Наступні операції не зможуть зменшити небезпеку до прийняттого рівня. Контроль за виконанням робочої інструкції з фасування, пакування, етикетування продукції. Виконання процедури по захисту від потрапляння сторонніх включень. Контроль маркування.
порушення правил особистої гігієни і виробничої санітарії персоналом	мікробіологічне обсіменіння Б-1-4	
2.4 Зберігання продукції		
недотримання умов та терміну зберігання	підвищений вміст санітарно-показових м\о, дріжджів, плісені Б-2-3	Контроль кліматичних умов зберігання готової продукції (+0 до +6°C і відносній вологості повітря 75±5%).
<p>*Тип небезпеки: Ф – фізичний, Б – біологічний, Х – хімічний. Ймовірність реалізації наслідків (бали:1, 2, 3, 4):1 – дуже низька, 2 – низька, 3 – помірна, 4 - висока Тяжкість наслідків (бали:1,2,3,4): 1 – середня тяжкість, 2 – помірна, 3 – тяжка, 4 – дуже тяжка</p>		

Висновки

Безупинне вдосконалення технологічних процесів виробництва харчової продукції є головною умовою забезпечення конкурентоспроможності та лідерства підприємства на ринку. В усіх передових за ступенем індустріалізації країнах, зокрема досить розвинутих у сфері харчових технологій, урядовий менеджмент намагається підтримати і забезпечити стабільний розвиток харчовим виробництвом, що належать до малого та середнього бізнесу. Одночасно з цим повинні проводитись заходи з охорони здоров'я населення. Для цього важливо розробити систему управління якістю та безпечністю харчових продуктів і тісно її пов'язати з політикою оздоровлення населення та стратегією реалізації принципів HACCP на харчових підприємствах малого та середнього бізнесу, як ефективних виробників експортної продукції.

Так, нами було розроблено систему управління якістю та безпечністю при виробництві капсульованих продуктів з пробіотичними мікроорганізмами відповідно до існуючих вимог і принципів HACCP. Створений план дозволив визначити критичні контрольні точки, розробити заходи з інтенсифікації та упередження появи ризиків для здоров'я людини. Наведені пропозиції щодо управління можливими небезпечними чинниками гарантують виготовлення безпечної продукції за рахунок запропонованого систематичного контролю на всіх етапах виробництва; безпечність продукції при споживанні; збільшення відповідальності персоналу на усіх операціях та стадіях технологічного процесу.

Список літератури

1. **de Oliveira, C. A. F.** Chapter 10 – Food Safety: Good Manufacturing Practices (GMP), Sanitation Standard Operating Procedures (SSOP), Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) / **C. A. F. Olivera, A.G. da Cruz, P. Tavolaro, C. H. Corraassin** // *Antimicrobial food packaging*. – 2016. – P. 129-139.
2. **Мельник, Е.** Системи управління пищевих підприємств / **Е. Мельник** // *Мир продуктов*. – 2014. – № 6. – С. 6 - 9.
3. **Березовая, С. С.** Необходимость внедрения в Украине систем управления безопасностью пищевых продуктов на основе принципов HACCP / **С. С. Березовая** // *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. – 2015. – № 2. – С. 43-48.
4. **Большакова, В. Л.** Моніторинг інформації щодо використання про біотичних систем на основі *Lactobacillus acidophilus* у складі харчових продуктів / **В. Л. Большакова** // *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2015. – № 39. – С. 93 - 97.
5. **Кондратюк, Н. В.** Технологія солодких страв з використанням капсульованих продуктів з пробіотичними мікроорганізмами / **Н. В. Кондратюк** // автореф. дис. канд. техн. наук. – Харків: ХДУХТ. – 2012. – 19 с.
6. **Toropilova, J.** Why HACCP Might Sometimes Become Weak or Even Fail / **J. Toropilova, P. Bystricky** // *Procedia food science*. – 2015. – V. 5. – P. 296-299. – doi:10.1016/j.profoo.2015.09.072.
7. **Dzwolak, W.** HACCP in small food businesses – The Polish experience / **W. Dzwolak** // *Food control*. – 2014. – V. 36, Iss. 1. – P. 132 - 137. – doi:10.1016/j.foodcont.2013.07.043.
8. **Kafetzopoulos, D. P.** Measuring the effectiveness of the HACCP Food Safety Management System / **D. P. Kafetzopoulos, E. L. Psoimas, P.D. Kafetzopoulos** // *Food*

- control*. – 2013. – V. 33. Iss. 2. – P. 505 - 513. – doi:10.1016/j.foodcont.2013.03.044.
9. **Green, R. M.** The effective enforcement of HACCP based food safety management systems in the UK / **R. M. Green, K. Kane** // *Food control*. – 2014. – V. 37. – P. 257 - 262. – doi:10.1016/j.foodcont.2013.09.016.
 10. **Мостова, Л. М.** Управління якістю та безпечністю при виробництві кисломолочного сиру оздоровчого призначення / **Л. М. Мостова, Т. В. Клушович**. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 2/10 (74). – С. 50 - 57. – doi:10.15587/1729-4061.2015.41377.
 11. **Carrascosa, C.** Identification of the risk factors associated with cheese production to implement the hazard analysis and critical control points (HACCP) system on cheese farms / **C. Carrascosa, R. Millan, P. Saavedra, etc.** // *Journal of Dairy Science (Available online)*. – 2016. – doi:10.3168/jds.2015-10301.
 12. **Maldonado-Siman, E.** Comparison of implementing HACCP systems of exporter Mexican and Chinese meat enterprises / **E. Maldonado-Siman, L. Bai, R. Ramírez-Valverde, etc.** // *Food control*. – 2014. – V. 38. – P. 109 - 115. – doi:10.1016/j.foodcont.2013.10.017.
 13. **Орленко, О. В.** Система управління безпечністю харчової продукції: запровадження системи ХАССП на підприємствах круп'яної індустрії / **О. В. Орленко** // *Глобальні та національні проблеми економіки*. – 2015. – № 4. – С. 522 - 527.
 14. **Власенко, І. Г.** Сучасний стан контролю якості молочної сировини та перспективи використання комп'ютерних технологій для ринку біологічної безпеки харчових продуктів в Україні / **І. Г. Власенко** // *Проблеми харчування* [Електронний ресурс]. – 2006. – № 3.
- acidophilus u skladi kharchovikh produktiv [Monitoring of information on the use about biotic systems on the basis of Lactobacillus of acidophilus in composition food foods], *"Bulletin NTU "KPI": New solutions in modern technologies*, 2015, **39**, 93-97.
5. **Kondratjuk, N. V.** Tekhnologiya solodkikh strav z vikoristanniam kapsul'ovanih produktiv z probiotichnimi mik-roorganizmami [The technology of desserts with encapsulated probiotic microorganisms products], aref, Kharkiv : Publishing house HDUHT, 2012, 19 p.
 6. **Toropilova, J., Bystricky, P.** Why HACCP Might Sometimes Become Weak or Even Fail, *Procedia food science*, 2015, **5**, 296-299, doi:10.1016/j.profoo.2015.09.072.
 7. **Dzwolak, W.** HACCP in small food businesses – The Polish experience, *Food control*, 2014, **36**(1), 132 - 137, doi:10.1016/j.foodcont.2013.07.043.
 8. **Kafetzopoulos, D. P., Psomas, E. L., Kafetzopoulos, P. D.** Measuring the effectiveness of the HACCP Food Safety Management System, *Food control*, 2013, **33**(2), 505-513, doi: 10.1016/j.foodcont.2013.03.044.
 9. **Green, R. M., Kane, K.** The effective enforcement of HACCP based food safety management systems in the UK, *Food control*, 2014, **37**, 257-262, doi:10.1016/j.foodcont.2013.09.016.
 10. **Mostova, L. M., Klusivich, T. V.** Upravlinnya yakistyu ta bezpechnistyu pri virobnitstvi kislomolochnoho siuru ozdorovchogo pryznachennya [Quality management and safety in the production of recreational purposes cottage cheese], *Journal of Eastern European advanced technology*, 2015, **2/10** (74), 50-57, doi:10.15587/1729-4061.2015.41377.
 11. **Carrascosa, C., Millan, R., Saavedra, P., etc.** Identification of the risk factors associated with cheese production to implement the hazard analysis and critical control points (HACCP) system on cheese farms, *Journal of Dairy Science (Available online)*, 2016, doi:10.3168/jds.2015-10301.
 12. **Maldonado-Siman, E., Bai, L., Ramírez-Valverde, R.** Comparison of implementing HACCP systems of exporter Mexican and Chinese meat enterprises, *Food control*, 2014, **38**, 109-115, doi:10.1016/j.foodcont.2013.10.017.
 13. **Orlenko, O. V.** Sistema upravlinnya bezpechnistyu kharchovoi produktsii: zaprovadzheniya sistemi KhASSP na pidpriemstvakh krup'ynoї industriї [The system of food safety management: the introduction of the HACCP system in enterprises grinding industry], *Global and national economic problems*, 2015, **4**, 522-527.
 14. **Vlasenko, I. G.** Suchasniy stan kontrolyu yakosti molochnoi sirovini ta perspektivi vikoristannya komp'yuternikh tekhnologiy dlya rtsinki biologichnoi bezpeki kharchovikh produktiv v Ukraїni [The current state of quality control of raw milk and prospects of using computer technology for evaluation of biological safety of food products in Ukraine], *Food Problems* [Web], 2006. **3**.

Bibliography (transliterated)

1. **de Oliveira, C. A. F., da Cruz, A. G., Tavolaro, P., Corrassin, C. H.** Chapter 10 – Food Safety: Good Manufacturing Practices (GMP), Sanitation Standard Operating Procedures (SSOP), Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), *Antimicrobial food packaging*, 2016, 129-139.
2. **Mel'nyk, E.** Sistemy upravleniya pishchevykh predpriyatiy [Control system of food enterprises], *Mir produktov [World of product]*, 2014, **6**, 6-9.
3. **Berezova, S. S.** Neobkhodimost' vnedreniya v Ukraine sistem upravleniya bezopasnost'yu pishchevykh produktov na osnove printsipov NASSR [Necessity of introduction in Ukraine of the systems of management by safety food on the basis of HACCP principles], *Stan-dartizatsiya. Ser-tifikatsiya. Yakist' [Standardization. Certification. Quality]*, 2015, **2**, 43-48.
4. **Bol'shakova, V. L.** Monitoring informatsii shchodo vikoristannya pro biotichnikh sistem na osnovi Lactobacillus

Відомості про авторів (About authors)

Пивоваров Євген Павлович – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі, професор кафедри технології харчування; м. Харків, Україна; e-mail: psub@ukr.net.

Evgen Pivovarov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technology of the food, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine; e-mail: psub@ukr.net.

Большакова Валентина Леоніівна – ДП «Дніпростандартметрологія», м. Дніпропетровськ; e-mail: betavl@rambler.ru.

Bol'shakova Valentina – State Enterprise "Dneprstandartmetrologiya", Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: betavl@rambler.ru.

Кондратюк Наталія Вячеславівна – кандидат технічних наук, доцент, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, доцент кафедри харчових технологій; м. Дніпропетровськ, Україна; e-mail: kondratjuk_nata@mail.ru.

Natalia Kondratjuk – Associate Professor, PhD Department of Food Technology Dnipropetrovsk National University by Oles' Honchar, Dnipropetrovs'k, Ukraine; e-mail: kondratjuk_nata@mail.ru.

Демидова Олена Вікторівна – Дніпропетровський національний університет ім. Олесея Гончара, студентка 5 курсу кафедри харчових технологій; м. Дніпропетровськ, Україна; e-mail: demydowa-lena@mail.ru.

Demydowa Olena –Dnipropetrovsk National University by Oles' Honchar, student 5th years of the Department of Food Technology, Dnipropetrovs'k, Ukraine; e-mail: demydowa-lena@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пивоваров, Е. П. Система управління якістю та безпечністю при виробництві капсульованих напівфабрикатів з пробіотичними мікроорганізмами / **Е. П. Пивоваров, В. Л. Большакова, Н. В. Кондратюк, О. В. Демидова** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 137-144. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.20.

Please cite this article as:

Pivovarov, E., Bol'shakova, V., Kondratjuk, N., Demydowa, O. Control system by quality and safety at the production of capsulated products with probiotic microorganisms. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 137-144, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.20.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пивоваров, Е. П. Система управления качеством и безопасностью при производстве капсулированных продуктов с пробиотическими микроорганизмами / **Е. П. Пивоваров, В. Л. Большакова, Н. В. Кондратюк, Е. В. Демидова** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 137-144. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.20.

АННОТАЦИЯ. В статье освещена актуальность проблемы внедрения системы управления безопасностью на принципах НАССР на предприятиях пищевой промышленности. В статье впервые описаны особенности построения и использования данной системы на производственных участках, где происходит выпуск капсулированных полуфабрикатов с пробиотическими микроорганизмами. При этом особое внимание направлено на все возможные критические точки контроля, которые могут стать помехой производству безопасной капсулированной продукции с пробиотическими микроорганизмами. Охарактеризованы все виды рисков, а также приведены рекомендации касательно предупреждения, устранения или снижения их к допустимым уровням, обозначенным в международных стандартах.

Ключевые слова: капсулированные пробиотические микроорганизмы, система НАССР, безопасность пищевой продукции.

Надійшла (received) 21.03.2016

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОРОВ ПЕКТИНМЕТИЛЭСТЕРАЗЫ ЛЮЦЕРНЫ НА КИНЕТИКУ ДЕЭТЕРИФИКАЦИИ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

А. Т. БЕЗУСОВ, Т. И. НИКИТЧИНА*

БКПиН, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, УКРАИНА
*email: nikitchinati@ukr.net

АННОТАЦИЯ Исследованы возможности регулирования ферментативной активности и использования пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны для деэтерификации яблочного пектина, с использованием моделирования ферментативной реакции в присутствии эффекторов. Проведена экспериментальная оценка представителей активаторов и ингибиторов пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны. Установлено влияние эффекторов путем изменения константы Михаэлиса и максимальной скорости реакции в результате взаимодействия активаторов и ингибиторов пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны, как со свободной формой фермента, так и с фермент-субстратным комплексом.

Ключевые слова: пектиновые вещества, фермент, пектинметилэстераза, пирокатехин, ионы кальция, люцерна, скорость реакции.

INFLUENCE OF EFFECTORS PECTIN METHYLESTERASE ALFALFA DEESTERIFICATION KINETICS OF PECTIN SUBSTANCES

A. BEZUSOV, T. NIKITCHINA*

Odesa national academy of food technologies, Odesa, UKRAINE

ABSTRACT The modern technology of food production enzyme preparations with pectolytic activity were used in technological operations of clarification of juices, as well as in the production of juices with pulp, which makes them indispensable in the processing of berries, fruits and vegetables. In basis of their use in technologies ability of deesterification lies and to depolymerize a pectin. The resulting pectin methylesterase herbaceous crops - alfalfa, possible to obtain an environmentally friendly preparation. One of the most important features of pectin methylesterase alfalfa enzyme preparation is the presence in its composition two catalytically active sites that, despite the high degree of homology differ in substrate specificity, affinity for inhibitors capable of activating cations. Influence of effectors by modifying the Michaelis constant and maximum reaction velocity as a result of the interaction of activators and inhibitors of the enzyme pectin preparation alfalfa as with the free form of the enzyme and to the enzyme-substrate complex. Experiments have shown that the resistance to the natural inhibitors of the enzyme preparation exceeds the data of microbiological origin of "Pectofoetidin P20x", which allows to increase the technological properties of the plant enzyme. An important fact is also that the Ca²⁺ ions and pyrocatechol widely present in fruit and vegetable raw materials, so the study and characterization of their influence on the behavior of pectolytic enzyme preparation with selective functional features, allowing to get low esterified pectin, possessing both detoxifying and gelling properties, is the justification of the relevance research data. Thus, pectin methyl esterase enzyme alfalfa product most adapted to the biological system plant material, indicating that the high catalytic ability.

Keywords: pectin substances, enzymes, pectin methylesterase, pyrocatechol, ions of calcium, alfalfa, speed of reaction

Введение

В основе процессов, происходящих при изготовлении и хранении многих пищевых продуктов, лежат изменения, вызываемые деятельностью растительных ферментов, или ферментных препаратов и ферментов, выделяемых микроорганизмами. Особое место занимают пектолитические ферменты, активность которых наступает при механическом воздействии на растительное сырье. Наибольший интерес представляет пектинметилэстераза растительного сырья, позволяющая получать низкометоксилированный пектин, очень важный для создания группы продуктов функционального назначения.

Изучение механизма действия ферментного препарата с высокой пектинметилэстеразной активностью, полученный нами из люцерны поможет выяснить процессы, протекающие в производстве различных пищевых продуктов, в первую очередь, в технологиях соковых производств. Химический состав плодов и овощей свидетельствует, что они содержат компоненты, способные участвовать в окислительно-восстановительных процессах и обладающие высоким потенциалом. Растительное сырье для пищевой промышленности имеет разнообразный химический состав, что может одновременно с ферментами, действующими на сырье, влиять на их каталитические функции [1, 2].

Важным свойством ферментов, которое необходимо учитывать при их практическом использовании в пищевой промышленности, является

© А. Т. БЕЗУСОВ, Т. И. НИКИТЧИНА, 2016

стабильность, то есть способность сохранять каталитическую активность. При хранении и, особенно в ходе ферментативной реакции, фермент может частично или полностью терять свою каталитическую активность и полностью инактивироваться. Одним из эффективных способов стабилизации ферментов является определение их конформационной и электростатической комплементарности между молекулами субстрата и фермента и уникальной структурой активного центра фермента, обеспечивающими высокое сродство и избирательность протекания химических реакций, осуществляющихся в перерабатываемой растительной ткани.

Для успешного применения ферментного препарата с высокой пектинметилэстеразной активностью, полученного нами из люцерны, важно определить условия проявления им максимальной активности в присутствии природных химических соединений сырья, которые могут влиять на скорость ферментативных реакций.

Цель работы

Целью работы стало исследование каталитических характеристик пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны, и, на основании полученных данных, определение механизма взаимодействия активных центров фермента с эффекторами, содержащимися в растительном сырье для получения стабильной кинетики деэтерификации пектиновых веществ.

Изложение основного материала

Для успешного применения ферментного препарата из люцерны необходимо знать, какие химические вещества повышают активность фермента, а какие понижают и могут прекращать его активность. Определяющее значение для фермента имеет скорость ферментативной реакции, которая, как и активность фермента, в значительной степени определяется присутствием в среде активаторов и ингибиторов: первые повышают скорость реакции, а вторые тормозят эту реакцию. Активирующее влияние на скорость ферментативной реакции оказывают разнообразные вещества органической и неорганической природы. В зависимости от природы эффектора, он может выступать как активатором, так и ингибитором определённого фермента [3].

Влияние может осуществляться путём изменения константы Михаэлиса, максимальной скорости реакции или одновременным изменением обоих параметров. Особенно часто активаторами выступают ионы двухвалентных и, реже, одновалентных металлов. Большинство ферментов для проявления полной каталитической активности нуждаются в присутствии металлов. Ионы металлов принимают участие в формировании и стабилизации

активного центра и всей трехмерной структуры молекулы фермента [4].

Немаловажным фактом является также то, что ионы Ca^{2+} повсеместно присутствуют в плодовоовощном сырье, поэтому изучение и характеристика их влияния на поведение разработанного ферментного препарата является обязательной.

Кальций входит в состав растений в количестве 0,2 %. В старых листьях его содержание доходит до 1 %. Поступает в виде иона Ca^{2+} . Роль кальция разнообразна. Кальций, соединяясь с пектиновыми веществами, дает пектаты кальция, которые являются важнейшей составной частью клеточных оболочек растений. Срединные пластинки, склеивающие клеточные оболочки соседних клеток, состоят преимущественно из пектатов кальция [5].

Кальций является активатором таких ферментов, как фосфорилаза, аденозинтрифосфатаза, дегидрогеназы, амилазы и др. Ca^{2+} служит посредником для реакций растений на внешние и гормональные сигналы, входя в состав сигнальных систем [6].

Известно, что полифенолы являются мощным ингибитором пектинметилэстеразы, в силу чего, например, в яблоках, содержащих высокое количество полифенольных соединений, наблюдается слабая активность нативной пектинметилэстеразы, а пектин, содержащийся в яблочном соке, слабо поддается ферментативной деэтерификации.

Наиболее сильный природный ингибитор растительного сырья – пирокатехин. Пирокатехин является двухатомным фенолом, вызывающий окисления углеводов и их производных [7].

Исследование этих ингибиторов и активаторов имеет важное значение, так как дают ценную информацию о химической природе активного центра пектинметилэстеразы, а также о составе его функциональных групп и природе химических связей, обеспечивающих образование фермент-субстратного комплекса.

Таким образом, анализ скоростей ферментативных реакций под действием эффекторов позволит управлять не только кинетикой ферментативных реакций, но и определить молекулярные механизмы ферментативного катализа пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны.

Обсуждение результатов

С целью управления модификацией пектиновых веществ путём регулирования ферментативной активности, а также для возможности использования разработанного ферментного препарата с пектинметилэстеразной активностью в широком спектре технологических операций, моделировали ферментативную деэтерификацию в присутствии эффекторов.

Для характеристики воздействия эффекторов на пектинметилэстеразу ферментного препарата люцерны и субстрат – пектин яблочный (производства корпорации «Herbstreith und Fox», Германия) проводились химические и физико-химические анализы из них: определение массовой доли пектина, водорастворимого и водонерастворимого определяли титриметрическим методом согласно ГОСТ 29059-91 [8]; степень этерификации (СЭ) пектина по ДСТУ 6088:2009 [9]; относительную вязкость пектинового раствора до и после ферментативного катализа определяли с помощью вискозиметра Оствальда диаметром капилляра 0,6 мм; определение активности пектинметилэстеразы по методике [10].

Кинетику ингибирования пирокатехином пектинметилэстеразы разработанного ферментного препарата люцерны изучали в сравнении с кинетикой ингибирования пирокатехином пектинметилэстеразы «Пектофоетидина П20х» (рис. 1).

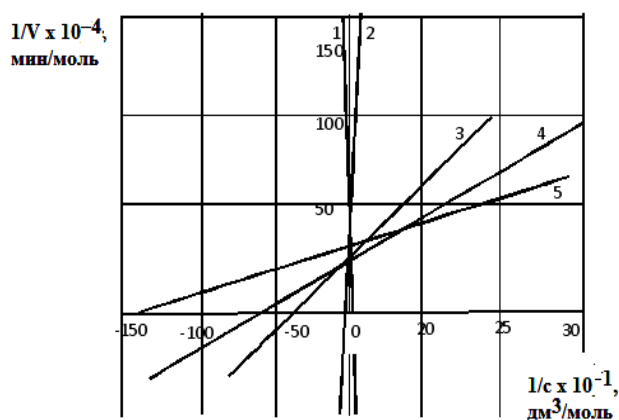


Рис. 1 – Кинетика ингибирования пирокатехином пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны и препарата «Пектофоетидин П20х»: 1 – молярная концентрация пирокатехина 4×10^{-3} М, препарат «Пектофоетидин П20х»; 2 – молярная концентрация пирокатехина 1×10^{-4} М, препарат «Пектофоетидин П20х»; 3 – молярная концентрация пирокатехина 9×10^{-3} М, ферментный препарат люцерны; 4 – молярная концентрация пирокатехина 4×10^{-3} М, ферментный препарат люцерны; 5 – молярная концентрация пирокатехина 1×10^{-4} М, ферментный препарат люцерны

Как следует из представленных данных, при введении в реакционную среду пирокатехина, наблюдали конкурентный тип ингибирования, которое может быть нивелировано увеличением концентрации субстрата. Присутствие пирокатехина увеличивает значение $K_m = 4,5 \times 10^{-4}$ моль/дм³, не оказывая влияния на максимальную скорость по яблочному пектину-субстрату $V_{max} = 2,28 \times 10^{-6}$ моль/с (рис. 2). Это означает, что при достаточно высокой

концентрации субстрата [S] ингибитор вытесняется молекулами субстрата из комплекса фермент-ингибитор.

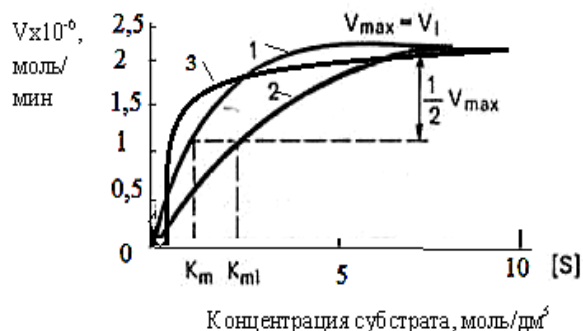


Рис. 2 – Зависимость скорости реакции деэтерификации яблочного пектина под действием пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны и пирокатехина: 1 – молярная концентрация пирокатехина 9×10^{-3} М; 2 – молярная концентрация пирокатехина 4×10^{-3} М; 3 – молярная концентрация пирокатехина 1×10^{-4} М

Как следует из полученных результатов, увеличение концентрации пирокатехина-ингибитора влияет на константу Михаэлиса K_m , при практически одинаковых максимальных скоростях распада интермедиата на продукты реакции. Характерно значительно меньшее воздействие пирокатехина, типичного представителя группы полифенольных соединений, на пектинметилэстеразу ферментного препарата люцерны, чем на пектинметилэстеразу «Пектофоетидина П20х». Возможно, это связано с присутствием в люцерне значительных концентраций полифенольных соединений, как защитных механизмов, противостоящие неблагоприятному воздействию, в том числе, вредителям и фитопатогенным микроорганизмам, и адаптации к ним растительной пектинметилэстеразы. Известным феноменом является потенцирование синтеза микроорганизмом фермента при добавлении в питательную среду субстрата данного фермента, нечто подобное может наблюдаться и в данном случае.

Среди активаторов пектинметилэстеразы наибольший интерес представляют ионы Ca^{2+} , поскольку потенцируя действие этого фермента, они одновременно угнетали действие полигалактуроназы. Взаимодействуя с аллостерическим центром пектинметилэстеразы, ионы Ca^{2+} способствуют образованию наиболее выгодной пространственной конфигурации пектинметилэстеразы и активного фермент-субстратного комплекса.

Анализ данных кинетического эксперимента по изучению влияния ионов Ca^{2+} в координатах Лайнуивера-Берка (рис. 3) позволил установить

неконкурентный тип активирования действия пектинметилэстеразы.

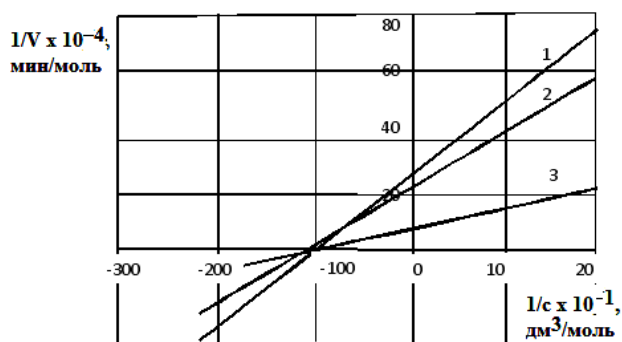


Рис. 3 – Кинетика активации ионами Ca^{2+} пектинметиэстеразы ферментного препарата люцерны: 1 – потенцирование ионами Ca^{2+} с молярной концентрацией 1×10^{-4} М; 2 – потенцирование ионами Ca^{2+} с молярной концентрацией 3×10^{-3} М; 3 – потенцирование ионами Ca^{2+} с молярной концентрацией 6×10^{-3} М

При молярной концентрации ионов кальция 6×10^{-3} М активность полигалактуроназы составила 50 % от максимальной. Активирующее влияние ионов Ca^{2+} было более выражено при pH = 5,0, чем при pH = 7,0. Так, при концентрации ионов Ca^{2+} 6×10^{-3} М активность пектинметилэстеразы при pH 5,0 возрастала в 3,5 раза (до 2800 Ед/см³), а при pH = 7,0 – в два раза. В присутствии ионов Ca^{2+} активность пектинметилэстеразы «Пектофоетидина П20х» при pH = 5,0 повышалась до 600 Ед/см³.

Проводили процесс деэтерификации пектиновых веществ пектинметиэстеразой ферментного препарата люцерны, в присутствии различных эффекторов – солей кальция. Исследования влияния природы аниона солей кальция на активность фермента проводили путём введения их в состав раствора яблочного пектина, с массовой долей пектина 1 %. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Влияние природы соли кальция на кинетику активации пектинметиэстеразы ферментного препарата

Вводимая соль	СЭ, %	pH среды	Консистенция
Яблочный пектин (контроль)	62	4,0	вязкий раствор
Хлорид кальция	38	2,7	синергичный сгусток
Глюконат кальция	38	3,8	прочный гель
Лактат кальция	38	3,7	мягкий гель
Гидрофосфат кальция	38	3,2	синергичный сгусток

Природа вносимой соли оказывает влияние на активность фермента, что следует учитывать при использовании этих солей в процессе модифицирования пектина.

При добавлении солей кальция, ионы металла вступают во взаимодействие с активным центром фермента, ускоряя процесс компактизации полимерной цепи яблочного пектина. Наибольшее активирующее действие оказывают соли кальция: хлорид и гидрофосфат кальция, что следует учитывать при использовании этих солей для получения желеобразных и структурированных продуктов.

Таким образом, механизм регуляции пектинметилэстеразы ферментного препарата люцерны такой: если фермент в неактивном состоянии обозначить – E, то $2 Ca^{+2} + E = (Ca^{+2})_2E$, где образуется высокоактивный комплекс фермента.

Как следует из экспериментальных данных, пектинметилэстераза разработанного препарата, в отличие от пектинметилэстеразы микробного происхождения, эффективна для деэтерификации пектина в средах, содержащих как полифенольные соединения, так и соли двухвалентных металлов.

Выводы

Изучено влияние ингибиторов на кинетику реакции демеоксилирования разработанным ферментным препаратом с пектинметилэстеразной активностью. Установлено, что ингибирование пектинметилэстеразы препарата пирокатехином происходит по неконкурентному типу, что можно нивелировать увеличением концентрации субстрата.

Установлено, что потенцирование активности пектинметилэстеразы разработанного ферментного препарата люцерны возможно путём введения в реакцию смесь ионов Ca^{2+} , анализ данных кинетического эксперимента установил неконкурентный тип активирования действия пектинметилэстеразы.

Таким образом, пектинметилэстераза ферментного препарата люцерны наиболее адаптирована к биосистеме растительного сырья, что свидетельствует о высоких каталитических способностях и способствует созданию альтернативы импортным пектолитическим препаратам, в связи с отсутствием отечественных производственных аналогов.

Список литературы

1. **Shady, T. S.** Production of pectinolytic enzymes by *Aspergillus foetidus* in solid-state fermentation and its uses for apple juice clarification / **T. S. Shady, M. M. Rabie, S. M. Mansour** // *Annals Agric. Sci.*, Ain Shams Univ., Cairo. – 46(1). – 2001. – P. 35-50.
2. **Will, F.** Apple pomace liquefaction with pectinases and cellulases- analytical data of the corresponding juices / **F.**

- Will, K., Baukhage, H., Dietrich** // *Eur. Food Res. And Technol.* – 2000. – 211. – P. 291-297.
3. **Barnard, A. L.** Quorum sensing, virulence and secondary metabolite production in plant soft-rotting bacteria / **A. L. Barnard, S. D. Bowden, T. Burr, S. J. Coulthurst, R. E. Monson, G. C. Salmond** // *Phil. Trans. R. Soc. B.* – 2007. – Vol. 362. – № 1483. – P. 1165 - 1183. doi:10.1098/rstb.2007.2042.
4. **Bleez, E.** Soubbean Epoxide Hydrolase / **E. Bleez, S. Summerer, M. Flenet, H. Rogniaux, A. Dorselaer** // *J. Biol. Chem.* – 2005. – Vol. 280. – № 8. – P. 6479 - 6487.
5. **Wong, J. H.** The enzymes / **J. H. Wong, T. B. Ng** // *Peptides*. – 2005. – V. 26. – № 4. – P. 2086 - 2092.
6. **Thomma, B. P. H. J.** Plant defensins / **B. P. H. J. Thomma, V. P. A. Cammue, K. Thevissen** // *Planta*. – 2002 – vol. 216. – 2. – P. 193-202.
7. **Витол, И. С.** Ферменты и их применение в пищевой промышленности / **И. С. Витол, И. Б. Корелева** – М.: Издательский комплекс МГУ. – 2000. – 213 с.
8. **Польгалина, Г. В.** Определение активности ферментов / **Г. В. Польгалина, В. С. Чередниченко, Л. В. Римарева** // Справочник. – М.: ДеЛи принт. – 2003. – 372 с.
9. **ДСТУ 6088: 2009** Пектин. Технічні умови - К.: Держспоживстандарт України. – 2009. – 27 с.
10. **Лисицын А. Б.** Методы биохимического исследования растений / **А. Б. Лисицын, А. Н. Иванкин, А. Д. Неклюдов.** – М.: Издательство ВНИИМП. – 2002. – 408 с.
2. **Will, F., Baukhage, K., Dietrich, H.** Apple pomace liguefication with pectinases and cellulases- analytical data of the corresponding juices. *Eur. Food Res. And Technol.*, 2000, **211**, 291-297.
3. **Barnard, A. L., Bowden, S. D., Burr, T., Coulthurst, S. J., Monson, R. E., Salmond, G. C.** Quorum sensing, virulence and secondary metabolite production in plant soft-rotting bacteria. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 2007, Vol. 362, **1483**, 1165 - 1183, doi:10.1098/rstb.2007.2042.
4. **Bleez, E., Summerer, S., Flenet, M., Rogniaux, H., Dorselaer, A.,** Soubbean Epoxide Hydrolase. *J. Biol. Chem.*, 2005, **280**(8), 6479 - 6487.
5. **Wong, J. H., Ng, T. B.** The enzymes. *Peptides*, 2005, **26**(4), 2086-2092.
6. **Thomma, B. P. H. J., Cammue, V. P. A., Thevissen, K.** Plant defensins, *Planta*, 2002, **216**(2), 193-202.
7. **Vitol, J. S., Koreleva, I. B.** Fermenty i ikh primenenie v pishchevoy promyshlennosti [Enzymes and their use in the food industry]. Moscow: Publishing Complex of MGU, 2000, 213 p.
8. **Polygalina, G. V., Cherednichenko B. C., Rimareva L. V.** Opredelenie aktivnosti fermentov [Determination of enzyme activity]. Spravochnik, Moskov: DeLi print, 2003, 372 p.
9. **DSTU 6088: 2009** Pektin. Tehnichni umovi [DSTU 6088: 2009 Pectin. Specifications], Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukraini, 2009, 27 p.
10. **Lisicyн A. B., Ivankin A. N., Nekljudov A. D.** Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical plant research]. Moscow: Izdatel'stvo VNIIMP, 2002, 408 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Shady, T. S., Rabie, M. M., Mansour, S. M.** Production of pectinolytic enzymes by *Aspergillus foetidus* in solid-state

Сведения об авторах (About authors)

Безусов Анатолий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор кафедры Биотехнологии, консервированных продуктов и напитков; Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина; e-mail: alex-n@te.net.ua

Bezysov Anatoliy – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: alex-n@te.net.ua

Никитчина Татьяна Ивановна – кандидат технических наук, доцент, кафедра Биотехнологии, консервированных продуктов и напитков, Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса; e-mail: nikitchinati@ukr.net

Nikitchina Tatyana – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent of the Department of Biotechnology, canned foods and beverages, Odesa national academy of food technologies, Odesa, Ukraine; e-mail: nikitchinati@ukr.net

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Безусов, А. Т. Влияние эффекторов пектинметилэстеразы люцерны на кинетику деэтерификации пектиновых веществ / **А. Т. Безусов, Т. И. Никитчина** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 145-149. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.21.

Please cite this article as:

Bezysov, A., Nikitchina, T. Influence of effectors pectin methylesterase alfalfa deesterification kinetics of pectin substances. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 145-149, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.21.

Будь ласка посилаетесь на цю статтю наступним чином:

Безусов, А. Т. Вплив ефекторів пектинметилестерази люцерни на кінетику деетерифікації пектинових речовин / **А. Т. Безусов, Т. І. Нікітчина** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 145-149. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.21.

АНОТАЦІЯ Досліджено можливості регулювання ферментативної активності і використання пектинметилестерази ферментного препарату люцерни для деетерифікації яблучного пектину, з використанням моделювання ферментативної реакції в присутності ефекторів. Проведена експериментальна оцінка представників активаторів і інгібіторів пектинметилестерази ферментного препарату люцерни. Встановлено вплив ефекторів шляхом зміни константи Міхаеліса та максимальної швидкості реакції в результаті взаємодії активаторів і інгібіторів пектинметилестерази ферментного препарату люцерни, як з вільною формою ферменту, так і з фермент-субстратним комплексом.

Ключові слова: яблучний пектин, фермент, пектинметилестераза, пірокатехін, іони кальцію, люцерна, швидкість реакції.

Поступила (received) 15.03.2016

УДК 666.75

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.22

УТИЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОВАКУУМНОГО СКЛА ВІДПРАЦЬОВАНИХ КІНЕСКОПІВ В СИЛКАТНІЙ СУМІШІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛКАТНОЇ ЦЕГЛИ**Н. І. ЗАВГОРОДНЯ*, О. А. ПІВОВАРОВ, О. В. НОСЕНКО***Кафедра технології неорганічних речовин і екології, ДВНЗ «УДХТУ», м. Дніпропетровськ, УКРАЇНА.***e-mail: nzavgorodnia@i.ua*

АНОТАЦІЯ Визначена можливість заміни 10 мас. % кварцового піску склобоек електровакуумного скла в силікатній суміші для виготовлення силікатної цегли. Наведена методика експерименту. Визначено вологопоглинання та щільність експериментальних зразків силікатної цегли. Випробувано експериментальні зразки на зміну межі міцності при стиску та щільність від тривалості ізотермічної витримки. Досягнуто скорочення на 0,5 години часу автоклавування силікатної суміші за рахунок часткової заміни кварцового піску склобоек електровакуумного скла.

Ключові слова: силікатна суміш, електровакуумне скло, межа міцності, щільність, водопоглинання

UTILIZATION IN SILICATE MIX FOR PRODUCTION OF THE SILICATE BRICK OF ELECTROVACUUM GLASS OF THE FULFILLED KINESCOPIES**N. ZAVGORODNYA*, O. PIVOVAROV, O. NOSENKO***Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE*

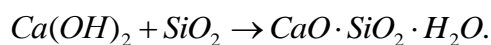
ABSTRACT The analysis of a state of affairs is provided in world practice on use of electrovacuum glass of the fulfilled kinescopes as a cullet. A definite purpose of research on application of a cullet of barium-strontic and lead glass in production of silicate mix for production of a silicate brick. The experiment technique with the detailed characteristic of raw materials is given. Moisture absorption, weight and density of experimental samples of a silicate brick are defined. Experimental samples are tested for change of border of durability at compression and density from duration of isothermal endurance. Reduction for 0,5 hours of duration of autoclave processing of silicate mix due to partial replacement of quartz sand with a cullet of electrovacuum glass of the fulfilled television kinescopes and computer monitors is reached. Possibility of a primeniye of a barium-strontic and lead cullet of the fulfilled kinescopes in silicate mix for production of a silicate brick by solubility of a siliceous component together with lime in a zhitky phase and their further interaction in solution is proved at autoclave hardening.

Keywords: Silicate mix, electrovacuum glass, durability border, density, moisture absorption.

Вступ

Барієво-стронцієве та свинцеве скло кінескопів відпрацьованих телевізорів та моніторів комп'ютерів в якості склобою в світовій практиці застосовують при виготовленні таких будівельних матеріалів як цегла, бетон, цемент тощо. В ДСТУ Б.В.2.7.-42-97 оговорена можливість використання домішок подрібнених пористих матеріалів з великим вмістом кремнезему. Основний недолік будівельних матеріалів з домішками барієво-стронцієвого та свинцевого склобою – зниження їх механічних властивостей. Ця обставина вимагає визначення оптимально можливої кількості домішки для збереження механічних властивостей силікатної цегли за існуючим технологічним процесом її виготовлення.

Відомо [6], що силікатну цеглу виготовляють із сирцевої маси, що складається із суміші піску з вмістом $\geq 90\%$ SiO_2 з вапном в кількості 8-10% та подальшого отвердіння свіжовідформованого виробу в умовах водяної пари. Всі ці перетворення виконуються за три технологічних етапи: заготівля сирцевої маси, пресування її, запарювання (автоклавування) сирцю. Під дією пари і температури кремнезем, вапно, що знаходяться в масі цегли, сполучаються хімічно і утворюють однокальцієвий водний силікат (гідросилікат кальцію) за реакцією



Цей гідросилікат під час запарювання твердіє і міцно скріплює зерна піску один з одним. Чим більше кремнезему сполучається з вапном, тим більший вихід гідросилікату і, відповідно, вища механічна

міцність цегли. Утворення гідросилікату виконується значно швидше при високій температурі у вологому середовищі, внаслідок чого запарювання сирцю виконується, як правило, за тиску 8 – 15,3 атм., що відповідає температурі пари 175-200⁰С.

Ціль роботи

Як відмічалось в [1-5], в поточний час утилізації підлягає барієво-стронцієве і свинцеве скло відпрацьованих кінескопів з електронно-променевими трубками. Барієво-стронцієве скло знайшло застосування у виробництві будівельних матеріалів в зв'язку з низькою вилугуваністю іонів барію та стронцію, концентрація яких не перевищує допустимих норм.

Свинцеве скло знайшло застосування в якості вторинної сировини для отримання свинцю. Проте кількість печей для свинцю незначна, тому часто свинцевий склорій відправляють на полігони і звалища. Окремі компанії модернізують печі і отримують чистий свинець. Також застосовують свинцевий склорій у виробництві таких будівельних матеріалів, які використовуються для захисту від рентгеновського випромінювання, або в керамічній промисловості для виготовлення глазури, що стійкі до вилугування.

Отже, світова практика вказує на можливість застосування електровакуумного скла з відпрацьованих кінескопів у виробництві будівельних матеріалів, зокрема силікатної цегли, з однією вимогою – без погіршення міцності виробу.

Для досягнення економії природних матеріалів, застосування вторинної сировини із відходів, скорочення тривалості технологічного процесу виготовлення силікатної цегли, зменшення шкідливого впливу на довкілля при захороненні відпрацьованих електропристроїв та здешевлення процесу виробництва силікатної цегли пропонується використання в силікатній суміші 10 мас. % склобою електровакуумного скла замість відповідної частини природного кварцового піску.

Мета експериментального дослідження – визначення впливу заміни 10 мас. % кварцового піску в силікатній суміші такою ж кількістю склобою електровакуумного скла на основні характеристики виготовленої з такої суміші силікатної цегли: межу міцності при стиску та щільність.

Об'єкт досліджень – фізико-хімічні процеси утворення силікатної цегли із сирцевої суміші з вмістом склобою електровакуумного скла методом автоклавування.

Предмет досліджень – силікатні суміші з частковою заміною в них кварцового піску склобоем електровакуумного скла відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів.

Висвітлення основного матеріалу

Основу силікатної суміші 82 мас. % в експериментальних дослідженнях складав річковий наливний пісок ТОВ «Силікатчак» м. Дніпропетровськ, хімічний аналіз якого наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад піску та вапна

Назва речовини	Хімічний склад, %							
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ca O	Fe ₂ O ₃	MgO	і. п. д.
Пісок	68,0-80,5	13,0-15,0	0,7-1,0	0,7-1,0	3,0-4,0	1,5-2,0	-	-
Вапно	2,8-2,9	0,4-0,5	-	-	94,2-94,8	0,5-0,6	1,2-1,8	0,1-0,15

Наливний пісок додатково промивається та просіюється. Ситовий аналіз піску наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Ситовий аналіз кварцового піску

Показники	Номера сит				Прохід крізь сито №008
	1,25	0,63	0,31	0,14	
Частковий залишок, %	3,75	6,25	37,5	45	7,5
Повний залишок, %	3,75	10	47,5	92,5	100,00
Прохід	96,25	90	52,5	7,5	-

Модуль крупності $M_K=1,48$.

Середній діаметр зерен – 0,41 мм.

Насипна щільність піску – 1238,7 кг/м³.

Вологість піску – 3%.

Пісок відповідає вимогам ДСТУ Б.В.2.7.-32-95 та може використовуватися для виробництва силікатної цегли. Основним в'язучим у виготовленні силікатної цегли використовується вапно того ж товариства, хімічний вміст якого наведено в табл.1. За результатами аналізів встановлено наступні показники матеріалів:

- активність вапна – 96,0%;

- активність силікатної суміші – 10,0%.

Аналіз якості вапна виконувався у відповідності до ДСТУ Б.В. 2.7.-90-99. Встановлено основні характеристики вапна:

- швидкість гасіння – 4 хв;
- температура гасіння – 94°C.

Відповідно стандарту досліджуване вапно відноситься до 1 сорту з малою тривалістю гашення, високотемпературне, може використовуватися для виробництва силікатної цегли.

Для проведення експериментальних досліджень використовували склобій електровакуумного скла, хімічний вміст якого наведений в табл. 3.

Таблиця 3 – Хімічний склад електровакуумного (екранного та конічного) скла кінескопів

Екранне скло		Конічне скло	
Елементи	%, мас.	Елементи	%, мас.
SiO ₂	68,5 – 75,4	SiO ₂	60,0
CaO	–	CaO	5,5
Al ₂ O ₃	4,0 – 4,4	Al ₂ O ₃	23,6
K ₂ O	7,7 – 8,4	K ₂ O	9,0
SrO	8,0 – 12,0	BaO	2,2
TiO ₂	1,0 – 2,0	MgO	2,5
CeO ₂	0,5 – 1,0	PbO	10,5
F	0,1 – 0,2	Na ₂ O	5,5
Nd ₂ O ₃	0,4 – 0,8	Sb ₂ O ₃	0,4
Li ₂ O	8,0 – 12,0	–	–
Ba ₂ O ₃	2,8 – 3,0	–	–
BeO	2,0 – 4,0	–	–

Дані таблиці свідчать, що в силікатну суміш вводиться склобій з відповідним стандарту вмістом оксиду кремнію та оксидів лужних металів. Склобій електровакуумного скла піддавався помелу у барабанному кульовому млині до досягнення питомої поверхні 300 м²/г. Для запобігання потрапляння до складу силікатної суміші металевого намелу продукт помелу піддавався електромагнітній сепарації.

Виготовлення дослідних зразків виконувалося у відповідності технологічним етапам виробництва силікатної цегли. Формувальна вологість силікатних мас складала 6,5%. Активність силікатної суміші 10%. Для визначення міцності матеріалу при стиску

формували зразки – циліндри діаметром 24 мм. Одностороннє пресування з тиском 30 МПа виконувалося гідравлічним пресом ПСУ-10. Тепловолога обробка виконувалася у герметичному металевому посуді у сушильній шафі при 190-195°C, що відповідає тиску насиченої пари 1,2-1,4 МПа.

Обговорення результатів

Виробництво силікатної цегли відноситься до процесів, які виконуються в області температур нижче 200°C. Різке зниження температури в порівнянні з температурою в гідросилікатних реакціях пояснюється виключно високою хімічною активністю води, що приймає участь в структуроутворенні. Інтенсифікують гідротермальні реакції підвищенням тиску водяної пари або введенням хімічних домішок [9].

Вважається, що вирішальним фактором інтенсифікації фізико-хімічних процесів за участю водяної пари і газів є газотранспортні реакції. З гідратованих поверхонь мігрують разом з водяним паром в газову фазу під час дегідратації частки (молекули, атоми, іони) вихідних важких речовин. При цьому водяна пара як і інші гази відіграє роль «носія» часток важких речовин [9].

Відомо, що гідротермальна обробка вапняно-кремнеземних матеріалів супроводжується гідратаційним твердінням. За сучасними уявленнями в такому процесі виконується взаємодія в'язучої речовини з водою. Результат такої реакції в розчиненні вихідних сполук та наступного викристалізування новоутворень із розчину, який по відношенню до них виявляється перенасиченим.

На думку [9], крім реакції гідратаційного твердіння, за участю водних розчинів існує реакція дегідратаційного структуроутворення між гідратованими речовинами. Ця реакція виконується в щільно упакованому матеріалі у водному середовищі. В реакції дегідратаційного структуроутворення висока хімічна активність води вдало поєднується з каталітичною, хімічною та фізико-хімічною активністю водяної пари і легколетких компонентів.

Природна глина, як відомо, містить 13,5% хімічно зв'язаної води. Вапняно-піщані гідратовані суміші, як і глина, містять різну кількість гідратної води. При нагріванні ці матеріали виділяють із свого вмісту леткі складові. Тому подальша взаємодія в суміші твердих речовин виконується за їх участю.

Для забезпечення випробування експериментальних зразків на межу міцності при стиску та щільність визначили за ДСТУ Б.В. 2.7.-42-97 водопоглинання, масу, густину їх.

Визначення водопоглинання при атмосферному тиску у воді температурою (20 ± 5) °C:

– підготовка до випробування: водопоглинання силікатних виробів визначають без попереднього висушування зразків;

– проведення випробування: зразки укладають в один ряд по висоті з зазорами між ними не менше 2 см на решітку в посудину з водою температурою (20 ± 5) °С так, щоб рівень води був вищий вершу зразків на 2 – 10 см. Зразки витримують у воді 48 годин. Насичені водою зразки виймають з води, обтирають вологою тканиною і зважують. Масу води, що витекла з зразка на чашку ваг, включають в масу зразка, насиченого водою. Зважування кожного зразка має бути закінчено не пізніше 2 хв після його видалення з води;

Водопоглинання W за масою у відсотках

обчислюють за формулою: $W = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100$,

де m_1 – маса зразка, насиченого вологою, г;

m – маса зразка, висушеного до постійної маси, г.

Результати розрахунку наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Значення показників для розрахунку водопоглинання та щільності зразків.

Показники	Номер зразка				Середні значення водопоглинання та щільності
	1	2	3	4	
Маса зразка насиченого вологою, г.	19,6	18,8	18,8	19,3	-
Маса зразка висушеного до постійної маси, г.	17,2	16,6	16,7	16,9	-
Водопоглинання, %.	14,0	13,2	13,0	14,0	13,55
Щільність при $V=12,31$ см^3 , $\text{г}/\text{см}^3$	1,39	1,35	1,35	1,37	1,3706

Середню щільність зразка ρ в $\text{г}/\text{см}^3$ визначають за формулою

Визначення середньої щільності:

– засоби випробування: ваги за ГОСТ 24104 та штангенциркуль металевий за ГОСТ 427;

– підготовка до випробування: середню густину визначають не менше ніж на трьох зразках;

– проведення випробування: об'єм зразків визначають за їх геометричними розмірами, виміряними з похибкою не більше 1 мм. Для визначення кожного лінійного розміру зразок

вимірюють у трьох місцях – по ребрах і середині грані. За кінцевий результат приймають середнє арифметичне трьох вимірів;

Межу міцності при стиску експериментальних зразків та їх щільність досліджували по скороченню тривалості ізотермічної витримки зразків при їх тепловологій обробці. Результати досліджень наведені на рис.1 та 2.

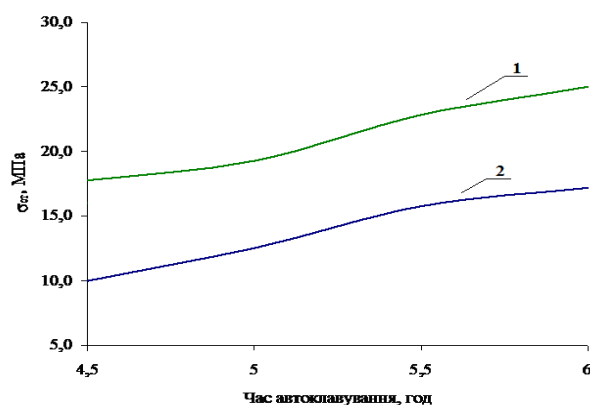


Рис. 1. – Залежність межі міцності при стиску від тривалості ізотермічної витримки
1 – з домішкою склобою; 2 – без домішки

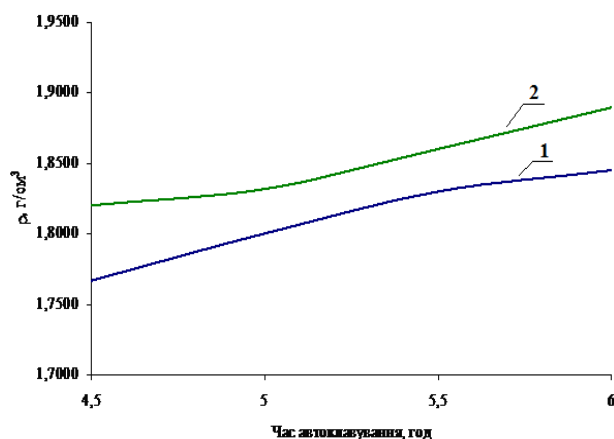


Рис. 2. – Залежність щільності зразків від тривалості ізотермічної витримки.
1 – без домішки; 2 – з домішкою склобою

В якості контрольних використовували зразки, виготовлені виключно з вапна та піску. Часткова заміна у в'язучому кварцового піску склобомом електровакуумного скла кінескопів дозволяє скоротити час автоклавування з 6 годин до 5,5 години. Підвищення міцності за цей час складає 4,8%. У вказаному годинному інтервалі щільність матеріалу майже не змінюється. Введення у в'язуче склобомом сприяє більш швидкому утворенню гідросилікатів кальцію, що обумовлено скорішим розчиненням склобомом з утворенням кремнієвої кислоти, ніж кварцового піску.

Висновок

Застосування барієво-стронцієвого та свинцевого склобою відпрацьованих кінескопів як аморфної кремнійвміщуючої речовини в силікатній суміші для виготовлення силікатної цегли (10 мас. % склобою замість такої ж кількості кварцового піску) обумовлено розчинністю кремнійвміщуючої складової разом з вапном в рідкій фазі і їх подальшій взаємодії в розчині при автоклавному твердінні.

Список літератури:

1. **Завгородня, Н. І.** Відпрацьовані телевізійні кінескопи та комп'ютерні монітори як сировина для склокерамічних матеріалів / **Н. І. Завгородня, О. А. Півоваров** // *International conference of chemistri and modern technology for students and post graduate students.* – 2012. – Part 1. – 2 p.
2. **Zavgorodnyi, N. I.** Study on recycling of CRT glass wast / **N. I. Zavgorodnyi** // *Engineer of 3rd Milenium Students and post graduate students conferense.* – 2013. – 88 p.
3. **Завгородня, Н. І.** Утилизация стекла отработанных телевизионных кинескопов и компьютерных мониторов из твердых бытовых отходов в неорганические материалы / **Н. И. Завгородня, А. А. Пивоваров** // *Вопросы химии и химической технологии.* – 2013. – № 3. – С. 179 - 182.
4. **Завгородня, Н. І.** Исследование структуры восстановленного ZnS из отработанных катодолуминофоров / **Н. И. Завгородня, А. А. Пивоваров** // *Технологический аудит и резервы производства.* – 2014. – № 6/5(20). – С. 4 - 7.
5. **Завгородня, Н. І.** Відновлення сульфїду цинку із відпрацьованих телевізійних кінескопів та комп'ютерних моніторів / **Н. І. Завгородня, О. А. Півоваров** // *Праці Одеського політехнічного університету.* – 2015. – №1(45) – С. 152 - 158.
6. **Патенко, А. П.** Стекло в строительстве / **А. П. Патенко** – К.: *Госиздат.* – 2004. – 104 с.
7. **Нехорошев, А. В.** Ресурсосберегающие технологии керамики, силикатов и бетонов / **А. В. Нехорошев, Г. И. Цителлаурри, Е. Хлобионен, Ц. Жаданбаа.** – М.: *Стройиздат,* – 1991. – 489 с.
8. **Айлер, Р.** Химия кремнезема / **Р. Айлер.** – М.: *Мир,* – 1982. – 712 с.
9. **Нехорошев, А. В.** Теоретические основы технологии тепловой обработки неорганических строительных материалов / **А. В. Нехорошев.** – М.: *Стройиздат.* – 1978. – 232 с.
10. **Гольдфельда, М. Г.** Химическая структура и реакционная способность твердых веществ / Перевод с английского **М. Г. Гольдфельда.** – М.: *Химия.* – 1976. – 159 с.
11. **Monchamp, A.** Cathode ray tube manufacturing and recycling: analysis of industry survey / **A. Monchamp, H. Evans, J. Nardone, S. Wood, E. Proch and T. Wagner** // *Electronic Industries Alliance, Arlington, VA 22201 USA, Spring.* – 2001. – P. 1 - 29. – doi:10.1109/ISEE.2001.924500.
12. **Yong-Chil Seo** A Study on Recycling of CRT Glass Waste / **Yong-Chil Seo, Sung-Jin Cho, Jang-Su Lee, Bo-Saeng Kim, Changho Oh** // *International conferense on environment and industrial innovation IACSIT Press.* – Singapore. – 2011. – P. 237 - 241.

13. New approach to cathode ray tube (CRT) recycling // *Report prepared by icer for DTI.* – August 2013. – 35 p.
14. **Kevin Brigden** Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana / **Kevin Brigden, Iryna Labunska, David Santillo & Paul Johnston** // *Grenpeace reserch laboratories technical.* – August 2008. – 123 p.

Bibliography (transliterated):

1. **Zavgodnya, N. I., Pivovarov, O. A.** Vidpratsovani televiziini kineskopu ta kompjuterni momitoru iak surovuna dlia sklokeramichnuh materialiv. [Spent television tubes and computer monitors as raw material for ceramic materials] *Internetonal conferense of chemistri and modern technology for students and post graduate students.* 2012, **1**, 29 p.
2. **Zavgodnya, N. I.** Study on recycling of CRT glass wast. *Engineer of 3rd Milenium Students and post graduate students conferense.* 2013, 88 p.
3. **Zavgodnya, N. I., Pivovarov, O. A.** Utelizasia stekla otrabotanuuh televizionuuh kineskopov i kompjyternih monitorov iz tverduh butovuh othodov v neorganicheskie vaterialu. [Disposal of waste glass of TV picture tubes and computer monitors from municipal solid waste in inorganic materials] *Voprosu himii I himicheskoi tehnologii [Questions of chemistry and chemical technology].* 2013, **3**, 179 - 182.
4. **Zavgodnya, N. I., Pivovarov, O. A.** Issledovanie strykturu vostanovlenogo ZnS iz otrabotanuuh katodolyminoforov [Investigation of the structure of reduced waste of ZnS katodolyuminoforov]. *Tehnologicheskii aydit I rezervu proizvodstva [Technological audit and production of reserves].* 2014, **6/5(20)**, 4 - 7.
5. **Zavgodnya, N. I., Pivovarov, O. A.** Vidnovlenia ZnS iz vidpratcovanuuh televiziinuuh kineskopiv ta kompjyternih monitorov. [Recovery of zinc sulfide from waste TV picture tubes and computer monitors] *Pratsi odeskogo politehnicnogo yuniversutety [Proceedings of the Odessa Polytechnic University].* 2015, **1(45)**, 152-158.
6. **Patenko, A. P.** Steklo v proizvodstve. [Glass in Building]. *Kiev, Gosizdat.* 2004, 104 p.
7. **Nehorohev, A. V., Cutelauri, G. I., Hlobionen, E., Gadanbaa, C.** Resursosberegayushcie tehnologii keramiki, silikatov i betonov [Resource-saving technology of ceramics, concrete and silicates]. *Moskov, Stroisizdat,* 1991, 489 p.
8. **Ailer, R.** Himia kremnezema [Silica Chemicals]. *Moskov, Mir,* 1982, 712 p.
9. **Nehorowev, A. V.** Teoreticheskie osnovu tehnologii teplovoi obrabotki neorganicheskikh stroitelnuh materealov [Theoretical Foundations of heat treatment technology of inorganic construction materials]. *Moskov, Stroisizdat,* 1978, 232 p.
10. **Goldfelda, M. G.** Himicheskaia struktura i reakcuonnaia sposobnost tverduh veschestv [The chemical structure and reactivity of solids]. *Moskov, Himia,* 1976, 159 p.
11. **Monchamp, A., Evans, H., Nardone, J., Wood, S., Proch, E. Wagner, T.** Cathode ray tube manufacturing and recycling: analysis of industry survey. *Electronic Industries Alliance, Arlington, VA 22201 USA, Spring,* 2001, 1 - 29, doi:10.1109/ISEE.2001.924500.
12. **Yong-Chil Seo, Sung-Jin Cho, Jang-Su Lee, Bo-Saeng Kim, Changho Oh.** A Study on Recycling of CRT Glass Waste. *International conference on environment and*

- industrial innovation IACSIT Press, Singapore, 2011, 237 - 241.*
13. New approach to cathode ray tube (CRT) recycling. *Report prepared by icer for DTI, August 2013, 35 p.*
14. **Kevin Brigden, Iryna Labunska, David Santillo, Paul Johnston** Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana. *Grenpeace reserch laboratories technical. August 2008, 123 p.*

Відомості про авторів (About authors)

Завгородня Наталія Ігорівна – Український державний хіміко-технологічний університет, аспірант кафедри технології неорганічних речовин і екології, м Дніпропетровськ; тел.: (068)677-85-55 ; e-mail: nzavgorodnia@i.ua.

Zavgorodnia Natalia Igorevna – Ukrainian State University of Chemical Technology, PhD student at the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Dnepropetrovsk; tel.: 068-677-85-55; e-mail: nzavgorodnia@i.ua.

Пивоваров Олександр Андрійович – доктор технічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, професор кафедри технології неорганічних речовин і екології, м Дніпропетровськ; тел.: (097) 342-46-60; e-mail: apivo@ua.fm.

Pivovarov Oleksandr Andriyovuch – doctor of technical sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, professor at the Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Dnepropetrovsk; tel.: (097) 342-46-60; e-mail: apivo@ua.fm.

Носенко Олександр Васильович – доктор технічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, професор кафедри хімічної технології кераміки та скла, м Дніпропетровськ; тел.: (097) 553-00-15; e-mail: alexnosenko@mail.ru.

Nosenko Oleksandr Vasulovich – doctor of technical sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, professor at the Department of chemical technology of ceramics and glass. , Dnepropetrovsk; tel.: (097) 553-00-15; e-mail: alexnosenko@mail.ru.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Завгородня, Н. І. Утилізація електровакуумного скла відпрацьованих кінескопів в силікатній суміші для виготовлення силікатної цегли / **Н. І. Завгородня, О. А. Пивоваров, О. В. Носенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 150-155. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.22.

Please cite this article as:

Zavgorodnia, N., Pivovarov, O., Nosenko, O. Utilization in silicate mix for production of the silicate brick of electrovacuum glass of the fulfilled kinescopes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 150-155, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.22.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Завгородня, Н. И. Утилизация стекла отработанных кинескопов в силикатной смеси для изготовления силикатного кирпича / **Н. И. Завгородня, А. А. Пивоваров, А. В. Носенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 150-155. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.22.

АННОТАЦИЯ Определена возможность замены 10 мас. % кварцевого песка стеклобоем электровакуумного стекла в силикатной смеси для изготовления силикатного кирпича. Приведена методика эксперимента. Определены влагопоглощение, масса и плотность экспериментальных образцов силикатного кирпича. Испытано экспериментальные образцы на изменение границы прочности при сжатии и плотности от продолжительности изотермической выдержки. Достигнуто сокращение на 0,5 часа продолжительности автоклавной обработки силикатной смеси за счет частичной замены кварцевого песка стеклобоем электровакуумного стекла.

Ключевые слова: Силикатная смесь, электровакуумное стекло, граница прочности, плотность, влагопоглощение.

Надійшла (received) 01.03.2016

УДК 663.6, 628.16.081.32, 628.16.162.1

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.23

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕДІВ ПИТНИХ ВАРЕНИХ ВІД ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ ТА УМОВ ПРОЦЕСУ ЗБРОДЖУВАННЯ

I. Є. НИКУЛИШИН, Л. І. ШЕВЧУК, О. М. ОРОБЧУК, Т. С. ФАЛИК

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
*email: or_oksana@ukr.net.

АНОТАЦІЯ В роботі опрацьовано завдання одержання медів питних на основі вітчизняних сортів меду. Розроблено нові рецептури напою. Встановлено придатність українських медів для виробництва медів питних. Досліджено динаміку бродіння медового суслу. Вивчено вплив основних чинників (складу сировини, концентрації дріжджів) на перебіг бродіння та фізико-хімічні властивості одержаних напоїв. Оцінено якість одержаних зразків медів питних за результатами органолептичного аналізу.

Ключові слова: мед, ферментація, технологія, меди питні, рецептури напою, продукт бродіння, органолептичний аналіз, смакова гармонія.

INVESTIGATION OF DEPENDENCE OF HONEY DRINKING PHYSICAL, CHEMICAL AND ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS FROM THE RAW MATERIALS CHEMICAL COMPOSITION AND CONDITIONS OF FERMENTATION PROCESS

I. Y. NYKULYSHYN, L. I. SHEVCHUK, O. M. OROBCHUK, T. S. FALYK

Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINA

ABSTRACT The important task of drink fermented from honey production from local varieties of honey in this review is processed. The present state of drink growing was reviewed. New recipes by beverages has been processed. Data on the range of drink fermented from honey that are produced in Ukraine was shown. The suitability of Ukrainian varieties of honey for beverages production was found. This review describes the synthetic methodologies for drinks. The dynamics of the honey solution fermentation has been investigated. It was established, that the process of fermentation of honey wort is uneven. The influence of the main factors (raw materials composition, concentration of yeasts) on the process of fermentation and physical as well as chemical properties obtained drink have been studied. To reduce the duration of fermentation using yeast it is recommended to use brewer's yeast genus *Schizosaccharomyces*, prepared by a special recipe, which greatly reduces the lag phase of yeast propagation, intensifies the flow of honey wort fermentation and positively affects the tasting characteristics of drink. Reviewed quality beverage received the results of sensory analysis. Depending on the raw material composition and production method the drink with broad range of taste can be obtained. The chemical composition and harmony of drink fermented from honey taste are optimized. The resulting drinks have improved organoleptic properties and can be offered for the production in the industry.

Keywords: honey, fermentation, technology, drink fermented from honey, recipes by drink, product of brewing, sensory analysis, harmony of taste drink.

Вступ

Приготування напоїв – це складова культури харчування, що є невід'ємною частиною національної культури загалом. Український напій “Мед питний” має багату історію, що ґрунтується на знаннях багатьох поколінь наших предків [1].

Мед питний або медове вино міцністю 12-13% об. – це, мабуть, чи не перший хмільний напій, що вживали наші пращури, улюблений напій давніх слов'янських князів та воєвод, майже в усіх великих містах та містечках варили медовий трюнок. В Україні у XV-XVIII ст. була величезна кількість медоварень, які приносили в казну великі прибутки. Напій із меду ще в праслов'янській мові мав назву *medovina* – похідне із суфіксом -in від *medъ* (праіндоевропейське слово) [2]. Назва має відповідник у сучасній українській літературній мові – *мед* [3].

З тих часів і до сьогодні як основну сировину використовують різні види меду натурального та воду питну. Авторами [4] показано актуальність удосконалення технології водопідготовки для виробництва ферментованих медових напоїв, наведено результати досліджень попередньої обробки води мікропористими мінералами та встановлено покращення органолептичних показників готових напоїв, зменшення їх окисно-відновного потенціалу.

Меди питні – це продукти спиртового бродіння водних розчинів меду натурального. Сусло зброджують хлібопекарськими, пивними або винними дріжджами. Готові напої містять біологічно активні речовини меду та використаної натуральної сировини. Крім цього, завдяки ферментативній біоконверсії, в процесі бродіння утворюються речовини, що є вкрай необхідними організму людини: незамінні амінокислоти, вітаміни групи В, ростові речовини, які

© I. Є. НИКУЛИШИН, Л. І. ШЕВЧУК, О. М. ОРОБЧУК, Т. С. ФАЛИК, 2016

підвищують біологічну цінність одержуваних напоїв [5-13]. Використання чистих культур мікроорганізмів для виробництва ферментованих напоїв має суттєві переваги: можна забезпечити постійний склад та властивості культури, її мікробіологічну чистоту, отримувати необхідні кількості мікробної культури шляхом її розмноження в оптимальних умовах [4, 9, 11]. Для розширення асортименту застосовують натуральну сировину рослинного походження [5, 8, 10].

Залежно від способу, який застосовується при приготуванні медового сусла, розрізняють меди ставлені і меди варені. Бджолиний мед є продуктом щільним, із високою густиною [7, 14, 15], тому перед процесом ферментації його розчиняють водою. За технологією медів варених смак отриманого напою є кращим, а процес ферментації відбувається швидше, так як інтенсифікується виключно чистими расами дріжджів. Усі інші дикі бактерії і дріжджі, що містяться у медові, знищуються в процесі варіння. Медове сусло ставлених медів не вариться, з огляду на це при виробництві медів ставлених існує значно більша небезпека виникнення вади чи хвороби у готовій продукції. Виробництво медів варених вимагає послідовного виконання наступних технологічних операцій: а) приготування медового сусла; б) варіння і внесення передбачених рецептурою додатків; в) ферментація сусла; г) дозрівання молодого меду питного.

Рівень розвитку сучасного споживчого ринку та необхідність формування культури споживання напоїв визначає пошук нових технологій створення продукції з натуральної, екологічно чистої сировини (ягід, фруктів, медів), що розширює коло покупців. Вдосконалення технології ферментованих напоїв повинно базуватися як на сучасних наукових досягненнях, так і стародавніх рецептурах приготування [4-6, 8, 11, 12]. Виробництво напоїв на натуральній сировині потребує вирішення питання взаємопоєднання та збалансованості їх складових, що дозволить сформулювати смако-ароматичну основу напою [11]. Відтак, актуальність визначає мету дослідження.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження впливу чинників на фізико-хімічні та органолептичні показники медів питних варених. Завдання: дослідження перебігу біохімічних перетворень компонентів у процесі зброджування медового сусла; вивчення впливу хімічного складу медового сусла та концентрації дріжджового розведення на процес зброджування медів питних варених. Актуальність досліджень полягає в опрацюванні нових рецептур медів питних варених на основі екологічних медів з українських пасік; оптимізації технологічного процесу.

Методи дослідження: біохімічні, фізико-хімічні методи контролю сировини, напівпродуктів (медового сусла) та готового продукту [16-22].

Результати досліджень та їх обговорення

Попередній аналіз існуючого рівня виробництва напоїв бродіння дозволив підібрати шляхи удосконалення їх технології [4-11]. У дослідженнях використано гречаний мед українських пасік (с. Раковець, Львівщина) з наступними характеристиками: масова частка води – 18,5 %; масова частка редуруючих цукрів – 80 %; масова частка сахарози – 3,5 %; кислотність – 40 мг-еквівалент NaOH (0,1 моль/дм³) на 1 кг меду.

Вода, яка використовується для приготування напою, впливає на його смак, аромат, колір та розчинність вуглекислого газу при розлитті. Тому використовують воду, показники якості якої відповідають усім нормам та стандартам для питної води [23-26].

Головною вимогою до дріжджів, які використовують для виробництва меду питного, є здатність до зброджування та його висока швидкість. Дріжджі повинні легко випадати в осад. Для проведення експериментальної частини використано рідкі дріжджі роду *Schizosaccharomyces* (Львівська пивоварня "Кумпель"). Це середньозброджуючі дріжджі з приростом маси 1:4.4. Дріжджове розведення готують за методикою: 250 мл перекип'яченої охолодженої води переливають у колбу об'ємом 1,5 л, додають 25 г пивних дріжджів. Надалі закривають стерильним ватним корком і залишають у теплом місці на 1 добу. Наступного дня додають 6 г цукру-рафінаду і витримують ще 3-4 доби. Вміст переливають у колбу об'ємом 2-3 л, додають 0,5 л приготовного розчину меду (розведення 1:3) та залишають ще на 1 добу. Одержане дріжджове розведення використовують у серіях експериментальних досліджень.

Відомо, що залежно від пропорції (кількості меду і води у суслі) отримують різні типи питних медів: "півторак" (мед, отриманий із сусла, для якого взято на 1,0 л (1,4 кг) меду бджолиного 0,5 л води); "двійняк" (1,0 л (1,4 кг) меду бджолиного – 1,0 л води); "трійняк" (1,0 л (1,4 кг) меду бджолиного – 2,0 л води); "четвертак" (1,0 л (1,4 кг) меду бджолиного – 3,0 л води) [4-6, 8]. З медового сусла "четвертака" отримують мед сухий міцністю близько 12 % об., із трійняка – мед напівсолодкий міцністю 13-14 % об. Медове сусло "двійняка" і "півторака" містить значну кількість цукру (45-60 %), який не може бути повністю перероблений дріжджами навіть найсильнішої ферментації. Такі меди, як найбільш солодкі, ферментують важко і дуже повільно. З них одержують солодкі або десертні питні меди, що вимагають тривалої ферментації та кількарічного (навіть до 10 років) витримування. В результаті отримують вартісні і цінні старі меди десертні, відомі з давніх часів як меди "Королівські".

При вирішенні завдань досліджень меди варені питні одержано за наступною технологією: готують

медове сусло з концентрацією сухих речовин, як передбачено рецептурою (мед "четвертак") - необхідну кількість води вливають до скляної термостійкої колби (1,5 л) та нагрівають до температури 40 °С. Надалі додають відважену кількість меду бджолиного, який розчиняють через старанне вимішування. Сусло заквашують з розрахунку 3-5 г лимонної кислоти на 1,0 л медового сусла. Наступний крок – варіння. Медове сусло підігрівають до температури 80 °С. Під час варіння утворюється шумовиння, яке збирають. Медове сусло варять 30 хвилин, надалі охолоджують до кімнатної температури. В процесі варіння частина води випаровується, уварене медове сусло доповнюють водою до першопочаткового об'єму, розливають у колби для бродіння, додаючи розраховану кількість дріжджового розведення, приготованого за попередньо вказаною рецептурою, закривають гідрозатворами і досліджують процес бродіння. Якщо передбачено створеною рецептурою – до напою додають відповідні пряно-кореневі добавки. По завершенні бродіння мед питний знімають з дріжджового осаду, перефільтровують, освітлюють, аналізують та розливають у стерильні пляшки та відкладають для дозрівання, яке триває від трьох до шести-восьми місяців.

Проведено дві серії досліджень: ферментація питного меду вареного з експериментальною назвою «Четвертак натуральний кварта» з використанням рідкого розведення пивних дріжджів роду *Schizosaccharomycetes* (у кількості 4,5; 9,0; 13,5; 18,0 мл/100мл медового сусла), приготованого за вищевказаною рецептурою, лимонної кислоти, додатків ефірно-пряної сировини (кориці та ялівцю). Час бродіння зразків – 8 діб (серія 1). Досліджено перебіг ферментації питного меду вареного з експериментальною назвою «Четвертак натуральний кварта плюс» з використанням рідкого розведення пивних дріжджів у попередньо вказаній кількості, лимонної кислоти, додатків ефірно-пряної сировини (кориці, ялівцю) та додаткового живлення для дріжджів "АСТІВІТ". Час бродіння зразків – 8 діб (серія 2). Для обох серій експериментальних досліджень після завершення процесу головного бродіння, зняття зразків медів питних з осаду, аналізу, наступною технологічною операцією є дозрівання медів питних ("лежакування"; "витримування"; "старіння" у темному місці) впродовж 3-х місяців при пониженій температурі (+5 °С до +9 °С).

У збродженому медовому суслі в процесі ферментації визначали його густину та кількість виділеної вуглекислоти (залежно від концентрації внесеного дріжджового розведення). В одержаних зразках медів питних варених здійснено визначення вмісту сухих речовин (СР), реакції середовища (рН), кількості нагромадженого в процесі бродіння етанолу, проведено їх органолептичну (дегустажну) оцінку.

Зовнішній вигляд напою оцінювали за кольором, прозорістю й наявністю помутнінь. Перші

два показники визначали у циліндрі з безбарвного скла, переглядаючи досліджуваний напій у світлі, що проходить через скло [12, 16]. Встановлення смаку і аромату здійснено у широкій склянці при 20 °С. Напій сумарно оцінюють за десяти бальною системою. Смак повинен відповідати даному сорту напою і залишатися незмінним при тривалому зберіганні. Його оцінюють за різними відчуттями, що виникають у смакових органах при дегустації у вигляді короткої послідовності окремих відчуттів, що переходять одне в інше, а потім затухають з меншою або більшою швидкістю. У загальних рисах розрізняють три смакових враження: перше - смакування, друге - свіжості і третє - післясмак, водночас загальна картина цих окремих смакових вражень повинна бути врівноваженою (гармонійною). У алкогольному напої розрізняють також запахи: ефірні, ароматичні, квіткові, хімічні, неприємні та інші. У дослідженні здійснено органолептичний аналіз якості одержаних зразків медів питних варених за п'яти основними елементами, з максимально можливою кількістю балів: прозорість (0,5), колір (0,5), букет (3), смак (5) і типовість (1).

Очевидно (рис.1), що процес бродіння медового сусла відбувається нерівномірно. У зразках медів питних 1 та 2 спостерігаємо три "стрибки" щодо кількості виділення вуглекислоти: на першу, третю та п'яту добу бродіння. Зразок 3 має відмінність у тому, що третій стрибок проявляється на сьому добу. Зразок 4 не підпадає під закономірності попередніх трьох, максимальна кількість виділеного CO₂ проявляється на першу добу бродіння, після чого виділення його зменшується і на п'яту добу знову незначно зростає. Надалі після сьомої доби інтенсивність процесу бродіння знижується.

Після завершення процесу доброджування зразків меду питного (серія1) проводили їх дегустаційну оцінку. Як свідчать одержані результати, одержаний мед питний повністю відповідає стандартам, характеризується прозорістю, розвиненим легким, характерним для даного гатунку меду, запахом та смаком, приємним післясмаком, букет ніжний, розвинений, відповідний віковій (таблиця 1).

У серії досліджень 2 вивчено перебіг ферментації медів питних варених з використанням додаткового живлення для дріжджів "АСТІВІТ". Час бродіння зразків – 8 діб (серія 2).

Середовище для дріжджів ТМ "АСТІВІТ" (Польща) є універсальним та багатоскладниковим живленням для дріжджів, дозволяє скоротити час бродіння і забезпечує правильний його перебіг, сприяє відновленню процесу бродіння. "АСТІВІТ" постачає усі необхідні компоненти, необхідні для правильного росту дріжджів, що забезпечує їх опти-

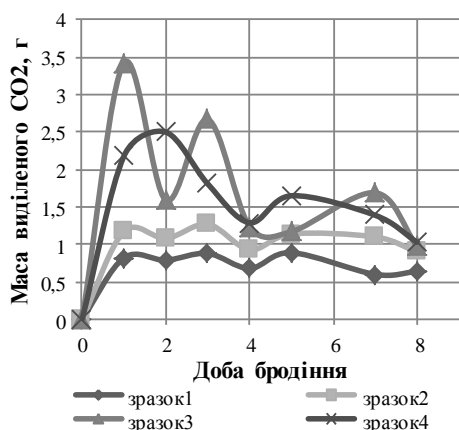


Рис. 1 – Дослідження перебігу бродіння зразків меду питного в часі (серія 1)
(Кількість внесених дріжджів:
зразок 1 - 4,5мл/100мл; зразок 2 – 9мл/100мл;
зразок 3 -13,5мл/100мл; зразок 4 -18мл/100мл)

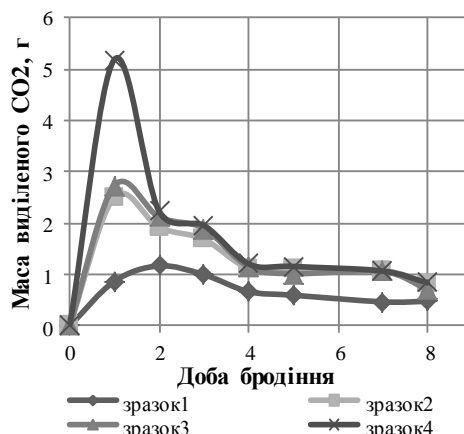


Рис.2 – Дослідження перебігу бродіння зразків меду питного в часі (серія 2)
(кількість внесених дріжджів:
зразок 1 -4,5мл/100мл ; зразок 2 – 9мл/100мл;
зразок 3 -13,5мл/100мл; зразок 4 -18мл/100мл)

Таблиця 1 – Дегустаційна оцінка меду питного (серія 1)

Показники	Характеристика	Оцінка (бали)
Прозорість	Кришталєво чистий	0,5
Колір	Повна відповідність типові і віку	0,5
Букет	Тонкий і розвинений, відповідний типові та віку	3,0
Смак	Дуже тонкий і розвинений, відповідний типові та віку	3,0
Типовість	Повна відповідність типові	1,0
Загальна оцінка	Напій високої якості	08

мальну активність на усіх етапах бродіння. Його дія найбільш виявляється в середній стадії ферментації, сприяючи повному виброджуванню цукрів, дозволяючи попередити сповільнення та зупинку бродіння. Механізм дії АСТІВІТу полягає у можливості постачання джерел азоту і вітамінів, які в середній фазі бродіння можуть повністю споживатися, очищенні (детоксикації) середовища внаслідок зв'язування інгібіторів бродіння, таких як низькомолекулярні жирні кислоти та ін., підвищенні життєздатності дріжджів, збільшуючи їх стійкість до етанолу. Препарат містить: амінокислоти, вітаміни (В₁, В₂, В₆, В₁₂, РР, холін і т.д.), мінерали (Mg, Na, K, Ca). “АСТІВІТ” розводять у воді у співвідношенні 1:10. Дозування: 0,1 г - на 0,5 л медового сусла.

Очевидно (рис.2), що максимальне виділення вуглекислого газу спостерігається вже на першу добу бродіння для зразків 2, 3 і 4 та впродовж другої доби ферментації - для зразка 1. Після другої доби дослід-

жень кількість щоденно виділеного CO₂ зменшується.

Порівнюючи дану серію з серією 1, варто зазначити, що процес бродіння проходить рівномірно і швидше (рис.3). Очевидно, що використання дріжджового розведення істотно зменшує тривалість лаг-фази ромноження дріжджів, інтенсифікує перебіг бродіння медового сусла вже впродовж першої доби бродіння, позитивно впливає на дегустаційні характеристики готових медів питних (розвинений букет, тонкий смак, гармонійність), що свідчить про їх високу якість та відповідність стандартів (таблиця 2).

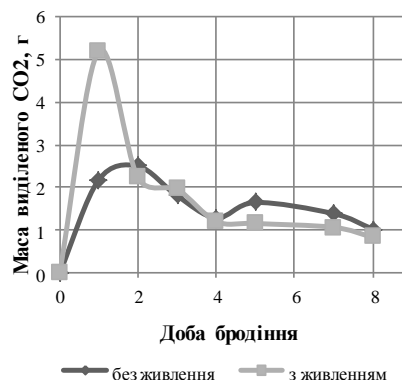


Рис.3 – Залежність кількості нагромадженної при ферментації медів питних вуглекислоти від тривалості процесу (зразки №4; серії 1, 2)

Аналіз фізико-хімічних показників зразків медів питних (серія 1 та 2) свідчить про закономірне зростання кількості утвореного етанолу, але не є пропорційним (таблиця 3).

Відтак, встановлено доцільність використання додаткового живлення для дріжджів “АСТІВІТ”, при цьому максимальна спиртуозність (12,1 % об.) характерна для зразка 4 (концентрація дріжджового розведення пивних дріжджів роду *Schizosaccharomyces* -18мл/100мл).

Таблиця 2 – Дегустаційна оцінка меду питного (серія 2)

Показники	Характеристика	Оцінка (бали)
Прозорість	Кришталеву чистий	0,5
Колір	Повна відповідність типові і віку	0,5
Букет	Дуже тонкий і розвинений, відповідний типові та віку	4,0
Смак	Дуже тонкий і розвинений, відповідний типові та віку	4,0
Типовість	Повна відповідність типові	1,0
Загальна оцінка	Напій виключно високої якості	10

Таблиця 3 – Фізико-хімічні показники медів питних варених

Зразок	Показники			
	Вміст СР, % мас.	pH	Вміст спирту, % об.	Густина, кг/м ³
Серія 1				
1	22,8	4,0	4,3	1,0911
2	21,0	4,0	7,1	1,1121
3	19,8	4,0	8,8	1,0869
4	18,0	4,1	10,1	1,0996
Серія 2				
1	22,8	3,8	5,2	1,0185
2	20,9	3,8	8,1	1,0955
3	19,4	3,9	8,7	1,0187
4	18,2	3,9	12,1	1,1284

Висновки

Досліджено перебіг біохімічних перетворень компонентів у процесі зброджування медового суслу. Вивчено вплив хімічного складу субстрату та концентрації дріжджового розведення на процес зброджування медів питних варених. Для зменшення тривалості бродіння рекомендовано використання дріжджового розведення пивних дріжджів роду *Schizosaccharomyces*, приготованого за спеціальною рецептурою, що істотно зменшує тривалість лаг-фази ромноження дріжджів, інтенсифікує перебіг бродіння медового суслу, позитивно впливає на дегустаційні характеристики. Рекомендовано внесення до медового суслу додаткового живлення для дріжджів ("АСТІВІТ"), що збільшує кількість нагромадженого етанолу, при цьому мінімалізуючи загальну тривалість бродіння. Вищезазначене сприяє вдосконаленню технології виробництва медів питних варених, у порівнянні з медами ставленими,

покращенню смаку отриманого напою, позитивно впливає на кінцеві економічні показники процесу виробництва. Процес ферментації відбувається швидше, так як збудниками бродіння субстрату є лише чисті раси дріжджів. Одержані ефірно-пряні меди питні варені мають покращені органолептичні властивості та можуть бути запропоновані до виробництва на підприємствах галузі.

Список літератури

- 1 **Готун, І. А.** Давньоруські медуші: історичні реалії і музейна експозиція / **І. А. Готун, А. В. Петраускас, О. А. Коваль** // *Археологія і давня історія України*. – 2013. – Вип.10. – С. 438-455.
- 2 **Яценко, С. А.** Назви продуктів харчування, страв та напоїв в українській мові XIV-XVIII століть: *автореф. дис. кандидата філолог. наук* / **С. А. Яценко**. – Київ. – 2009. – 22 с.
- 3 **Яценко, С. А.** Назви хмільних напоїв в українській мові XIV-XVII ст. / **С. А. Яценко** // *Українська мова*. – 2009. – № 2. – С. 49-55.
- 4 **Прибильський, В. Л.** Удосконалення технології ферментованих медових напоїв / **В. Л. Прибильський, С. І. Олійник, Н. М. Чуприна** // *Наукові праці: Одеська національна академія харчових технологій*. – 2002. – Випуск 46 (том 2). – С. 36-39.
- 5 **Іванов, С. В.** Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: *Підруч.* / **С. В. Іванов, В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський** та ін. // За заг. ред. д-ра хім. наук, проф. С.В. Іванова. – К.: НУХТ. – 2012. – 487 с.
- 6 **Хафизова, С. Г.** Совершенствование слабоалкогольных напитков на основе меда / **С. Г. Хафизова, В. А. Помозова** // *Пиво и напитки*. – 2013. – № 3. – С. 42-45.
- 7 **Васильева, И. В.** Разработка технологии кваса из высокоплотного медового суслу / **И. В. Васильева, И. А. Еремина, В. А. Помозова** // *Техника и технология пищевых производств*. – 2012. – № 3. – С. 19 - 24.
- 8 **Прибильський, В. Л.** Розробка ефективних технологій біологічно активних ферментованих напоїв: *автореф. дис. докт. техн. наук: 05.18.01 «Технологія продуктів бродіння»* / **В. Л. Прибильський**; Нац. університет харч. техн. – К. – 2004. – 40 с.
- 9 **Прибильський, В. Л.** Дослідження динаміки інверсії сахарози в процесі зброджування суслу культурою *Medusomyces gisevii* v / **В. Л. Прибильський, О. П. Вітряк, В. А. Домарецький** // *Харчова і переробна промисловість*. – 2000. – №11. – С. 12-30.
- 10 **Прибильський, В. Л.** Використання рису в технології безалкогольного ферментованого напою / **В. Л. Прибильський, Р. М. Мукоїд, Нгуен Фіонг Донг** // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 6/10 (№78). – 2015. – С. 33-36. – doi:10.15587/1729-4061.2015.55210.
- 11 **Вітряк, О. П.** Удосконалення технології безалкогольних напоїв. Бродіння з використанням нетрадиційних культур мікроорганізмів: *автореф. дис. кандидата техн. наук* / **О. П. Вітряк**. – Київ. – 2002. – 22 с.
- 12 **Димань, Т. М.** Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування / **Т.М. Димань, М. М. Барановський, Г. О. Білявський**. – Київ: *Лібра*. – 2006. – 304 с.
- 13 **Товстуха, Є. С.** Українська народна медицина / **Є. С. Товстуха**. – Вид. 2-ге. – Київ: *Джержела*. – 2001. – 456 с.

- 14 **Поліщук, В. П.** Бджільництво / **В. П. Поліщук.** – Львів: *Український пасічник.* – 2001. – 294 с.
- 15 **Поліщук, В. П.** Пасіка / **В. П. Поліщук, В. А. Гайдар.** – К.: *Лібра.* – 2012. – 340 с.
- 16 **Мельник, С. Р.** Методи дослідження продуктів харчових виробництв. Методичні вказівки та інструкція до лабораторного практикуму з курсу “Методи контролю харчових виробництв” (частина II) для студентів базового напрямку 6.0917 “Харчова технологія та інженерія” / Укл.: **С. Р. Мельник, Ю. Р. Мельник, Г. Я. Магорівська** // Львів: *Національний університет “Львівська політехніка”.* – Львів. – 2005. – 26 с.
- 17 **ДСТУ 4161-2003** “Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги”. – Чин. 2015-05-28. – К.: *Український державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації (УкрЦСМ).* – 2015. – 16 с.
- 18 **Директиви Ради ЄС 2001/110** “Стосовно меду”. – Чин. 2012-01-12. – ЄС: *Official Journal of the European Communities L 10.* – P. 47-52.
- 19 **ДСТУ 4497:2005** “Мед натуральний. Технічні умови”. – Чин. 2004-01-01. – К.: *Держспоживстандарт.* – 2003. – 10 с.
- 20 **ДСТУ 4649:2006** “Мед з фітодобавками. Технічні умови”. – Чин. 2006-07-04. – К.: *Держспоживстандарт.* – 2008. – 10 с.
- 21 **СОУ 01.25-37-373:2005** “Гомогенізація меду бджолоного. Загальні вимоги”. – Чин. 2011-07-22. – К.: *Украгостандартсертифікація.* – 2011. – 5 с.
- 22 **Бурлаченко, К. О.** Визначення якості меду / **К. О. Бурлаченко, Н. М. Шкідченко** // *Збірник українського державного хіміко-технологічного університету.* – Дніпропетровськ. – Вип.1. – Дніпропетровськ. – 2015. – С. 152-167.
- 23 **ДСАНПІН** “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”. – Київ: *Держстандарт України* – 1997. – 9 с.
- 24 **ДСанПІН 2.2.4-171-10** “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. - Київ: *Міністерство охорони здоров'я України* – 2010. – 9 с.
- 25 **ДСТУ 7525: 2014** “Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості”. – Чин. 2015-02-01. – К.: *Держспоживстандарт.* – 2015. – 10 с.
- 26 **Никוליшин, І. Є.** Пом'якшення води у виробництві лікєро-горілчанних виробів. Методичні вказівки та інструкція до лабораторної роботи з курсу “Технологія лікєро-горілчанних виробів” для студентів спеціальності 7.091704 “Технологія бродильних виробництв та виноробства” / Укл.: **І. Є. Никוליшин, Ю. Я. Хлібишин** // Навчальне видання НУ “Львівська політехніка”. – Львів. – 2004. – 25 с.
- 3 **Yacenko, S. A.** Nazvi khmil'nikh napoiv v ukrains'kii movi XIV-XVII st. [The names of intoxicating beverages in the Ukrainian language of XVI-XVII centuries], *Ukrains'ka mova [J. Ukrainian language]*, 2009, 2, 49-55.
- 4 **Prybylskyj, V. L.** Udoshkalennya tekhnologii fermentovanih medovikh napoiv [Improving the technology of fermented honey drink]. *Naukovi pratsi: Odes'ka natsional'na akademiya kharchovikh tekhnologiy [Scientific works: Odessa National Academy of Food Technologies]*, 2002, 46(2), 36-39.
- 5 **Ivanov, S. V.** Innovatsiini tekhnologii produktiv brodinnya i vinorobstva [Innovative technologies fermentation and winemaking]. Kyiv: *NUKT*, 2012, 487 p.
- 6 **Khafisova, S. G.** Sovershenstvovanie slaboalkogol'nykh napitkov na osnove meda [Improving soft drinks based on honey]. *Pivo i napitki [J. Beer and beverages]*, 2013, 3, 42-45.
- 7 **Vasilieva, I. V.** Razrabotka tekhnologii kvasa iz vysokoplotnogo medovogo susla [Development of high-density technology of kvass wort honey]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [J. Technics and technology of food production]*, 2012, 2, 19-24.
- 8 **Prybylskyj, V. L.** Rozrobka efektyvnykh tekhnologii biologichno aktivnykh fermentovanih napoiv [Development of effective technologies dietary fermented beverages]. *Dissert. Doctor of Technical Sciences*, National University of Food Technologies, Kyiv, 2004, 40 p.
- 9 **Prybylskyj, V. L.** Doslidzhennya dynamiki inversii sakharozu v protsesi zbrodzhuvannya susla kul'turoyu *Medusomyces gisevii* v [The study of the dynamics of inversion of sucrose in the fermentation mash culture *Medusomyces gisevii* v]. *Kharchova i pererobna promislolist' [J. Food and processing industry]*, 2000, 11, 12-30.
- 10 **Prybylskyj, V. L.** Using rice in technology of non-alcoholic fermented beverages. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10(78), 2015, 33-36, doi:10.15587/1729-4061.2015.55210.
- 11 **Vitriak, O. P.** Udoshkalennya tekhnologii bezalkogol'nikh napoiv. Brodinnya z vikoristannyam tetraditsiynnykh kul'tur mikroorganizmiv [Improving the technology of soft drinks. Fermentation using non-traditional cultures of microorganisms]. *Dissert. PhD*, Kyiv, 2002, 22 p.
- 12 **Dyman, T. M.** Ekotrofologiya. Osnovi ekologichno bezpechnogo kharchuvannya [Ekotrofology. Fundamentals of environmentally friendly food]. Kyiv: *Libra*, 2006, 304 p.
- 13 **Tovstukha Ye. S.** Ukrains'ka narodna meditsina [Ukrainian traditional medicine]. Second Edition, Kyiv: *Sources*, 2001, 456 p.
- 14 **Polishchuk V. P.** Bdzhil'nitstvo [Apiculture]. Lviv: *Ukrainian apiarian*, 2001, 294 p.
- 15 **Polishchuk V. P.** Pasika [Apiary]. Kyiv: *Libra*, 2012, 340 p.
- 16 **Melnyk S. R.** Metodi doslidzhennya produktiv kharchovikh virobntstv. Metodichni vkazivki ta instruktsiya do laboratornogo praktikumu z kursu “Metodi kontrolyu kharchovikh virobntstv” (chastina II) dlya studentiv bazovogo napryamu 6.0917 “Kharchova tekhnologiya ta inzheneriya” [Methods of research products of food production. Methodological guidelines and instructions for laboratory work on the course "Methods of food production control" (Part II)]. Lviv: *National University "Lviv Polytechnic"*, 2005, 26 p.
- 17 **ДСТУ 4161-2003.** “Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги” [The system of food safety]. *Ukrains'kiy derzhavniy naukovo-virobniychiy tsentr standartizatsii, metrologii ta sertifikatsii (UkrTsSM)*

Bibliography (transliterated)

- 1 **Gotun, I. A.** Davn'orus'ki medushi: istorichni realii i muzeina ekspozitsiya [Ancient medushi: historical realities and museum exhibition]. *Arkheologiya i davnya istoriya Ukraini [J. Archaeology and ancient history of Ukraine]*, 2013, 10, 438-455.
- 2 **Yacenko, S. A.** Nazvi produktiv kharchuvannya, strav ta napoiv v ukrains'kii movi XIV-XVIII stolit' [The names of food, meals and drinks in the Ukrainian language of XVI-XVIII centuries]. *Dissert. PhD (philology)*. Kyiv, 2009, 22 p.

- [Ukrainian State Research and Production Center of Standardization, Metrology and Certification], Kyiv, 2015, 16 p.
- 18 **Direktivi Radi ES 2001/110** "Stosovno medu" [Council directive 2001/110/EC. Regarding honey]. *Official Journal of the European Communities*, L 10, 47-52.
 - 19 **DSTU 4497:2005**. "Med natural'ni. Tekhnichni umovi" [Honey. Specifications]. Kyiv: DSSU, 2003, 10 p.
 - 20 **DSTU 4649:2006**. "Med z fitodobavkami. Tekhnichni umovi" [Honey with plants. Specifications]. Kyiv: DSSU, 2008, 10 p.
 - 21 **SOU 01.25-37-373:2005**. "Gomogenizatsiya medu bdzholinogo. Zagal'ni vimogi" [Homogenization of honey. General requirements]. Kyiv: *Ukragrostandartsertifikatsiya*, 2011, 5 p.
 - 22 **Burlachenko, K. O.** Vznachennya yakosti medu [Quality honey]. *Zbirnik ukrains'kogo derzhavnogo khimiko-tekhnologichnogo universitetu [Bulletin of Ukrainian State Chemical Technology University]*, First Edition, 2015, 152-167.
 - 23 **DSANPIN** Voda pitna. Gigienichni vimogi do yakosti vodi tsentralizovanogo gospodars'ko-pitnogo vodopostachannya [State sanitary rules and regulations. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply]. Kyiv: *State Standard of Ukraine*, 1997, 9 p.
 - 24 **DSanPiN 2.2.4-171-10** "Gigienichni vimogi do vodi pitnoi, priznachenoї dlya spozhivannya lyudinoju" [State sanitary rules and regulations 2.2.4-171-10. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv: *Ministry of Health of Ukraine*, 2010, 9 p.
 - 25 **DSTU 7525: 2014** "Voda pitna. Vimogi ta metodi kontrolyuvannya yakosti" [DSTU 7525: 2014. Drinking water. Requirements and quality control methods]. Kyiv: DSSU, 2015, 10 p.
 - 26 **Nykulyshyn, I. Ye.** Pom'yakshennya vodi u virobnitstvi likero-gorilchanikh virobiv. Metodichni vkazivki ta instruksiya do laboratornoї roboti z kursu "Tekhnologiya likero-gorilchanikh virobiv" dlya studentiv spetsial'nosti 7.091704 "Tekhnologiya brodil'nikh virobnitstv ta vinorobstva" [Water softening in the production of alcoholic beverages. Methodological guidelines and instructions for laboratory work on the course "Technology of alcoholic beverages"]. Lviv: *National University "Lviv Polytechnic"*, 2004, 25 p.

Відомості про авторів (About authors)

Никулишин Ірена Євгенівна – доктор технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: nk_iren@ukr.net.

Nykulyshyn Irena Yevgenivna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Lviv Polytechnic National University, Associate Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: nk_iren@ukr.net.

Шевчук Лілія Іванівна - доктор технічних наук, доцент, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: shev-lili@mail.ru.

Shevchuk Liliya Ivanivna - Doctor of Technical Sciences, Docent, Lviv Polytechnic National University, Associate Professor at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: shev-lili@mail.ru.

Оробчук Оксана Михайлівна - кандидат технічних наук, Національний університет "Львівська політехніка", асистент кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: or_oksana@ukr.net.

Orobchuk Oksana Mychaylivna - Candidate of Technical Sciences, Lviv Polytechnic National University, Assistant at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: or_oksana@ukr.net.

Фалік Тарас Сергійович - Національний університет "Львівська політехніка", аспірант кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: taras@ffs-company.com.

Falyk Taras Sergiyovych - Lviv Polytechnic National University, Postgraduate Student at the Department of Organic Products Technology; Lviv, Ukraine; e-mail: taras@ffs-company.com.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Никулишин, І. Є. Дослідження залежності фізико-хімічних та органолептичних показників медів питних варених від хімічного складу сировини та умов процесу зброджування / **І. Є. Никулишин, Л. І. Шевчук, О. М. Оробчук, Т. С. Фалік** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12(1184). – С. 156-162. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.23.

Please cite this article as:

Nykulyshyn, I., Shevchuk, L., Orobchuk, O., Falyk, T. Investigation of dependence of honey drinking physical, chemical and organoleptic characteristics from the raw materials chemical composition and conditions of fermentation process. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 12(1184), 156-162, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.23.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ныкулышин, И. Е. Исследование зависимости физико-химических и органолептических свойств питьевых мёдов варёных от химического состава сырья и условий процесса брожения / **И. Е. Ныкулышин, Л. И. Шевчук, О. М. Оробчук, Т. С. Фалык** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12(1184). – С. 156-162. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.23.

АННОТАЦІЯ В роботі проработані задачі отримання питтьєвєх мєдов на основаннн отечественнєх сортєв мєдов. Разработанн новєе рєцептурн напнткє. Установленє прнгодност украинскнх мєдов длє производствє питтьєвєх мєдов. Исследованн дннамнкє броженнє мєдєвогє суслє. Изученє влнєннє основнєх фєкторєв (сєстєвє сырьє, концєнтрєцнє дрєжжєє) нє процесс броженнє и фнзнкє-хнмнєскєє свєєствє полученнєх напнтков. По рєзультєтєм органолептнєскєєгє аналнзє оцєненє качєствє полученнєх образцєв мєдов питтьєвєх.

Ключєвєє слєвє: мєд, фєрментєцнє, тєхнологнє, мєдє питтьєвєє, рєцептурн напнтков, продукт броженнє, органолептнєскєє аналнз, вкєсовєє гармоннє.

Надїйшла (received) 16.03.2016

УДК 66.094.942

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.24

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НА АЛКОГОЛІЗ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ЕТИЛОВИМ СПИРТОМ

З. Ю. ПАЛЮХ, Ю. Р. МЕЛЬНИК*, С. Р. МЕЛЬНИК

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА
*email: yurii.r.melnyk@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Визначено вплив технологічних параметрів процесу на алкоголіз соняшникової олії етиловим спиртом у присутності каталізаторів – катіоніту КУ-2-8 у Н-формі та з іммобілізованими іонами Co^{2+} . Встановлено, що оптимальною температурою процесу є 353К. Показано, що частота перемішування 80 об/хв і більше не впливає на швидкість реакції і максимальну конверсію олії. Встановлено, що для досягнення максимальної конверсії олії мольне співвідношення етанол : триолеат гліцерину повинно становити не менше, ніж 4,5 : 1. Показано, що наявність 5–10 мас. % води у спирті дозволяє підвищити кінцеву конверсію соняшникової олії на 5–10%. Виявлено екстремальну залежність максимальної конверсії триолеату гліцерину від вмісту каталізатора у реакційній суміші.

Ключові слова: соняшникова олія, алкоголіз, етанол, триолеат гліцерину, катіоніт КУ-2-8.

THE EFFECT OF PARAMETERS ON THE TRANSESTERIFICATION PROCESS OF SUNFLOWER OIL WITH ETHANOL

Z. PALYUKH, YU. MELNYK, S. MELNYK

Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The aim of research was to study the influence of technological parameters of transesterification of sunflower oil with ethyl alcohol on the conversion of glycerol trioleate. The influence of reaction temperature, catalyst concentration, intensity of mixing of the reaction mixture, the molar ratio ethanol : glycerol trioleate, the water content in the reaction mixture on the transesterification process of sunflower oil with ethyl alcohol and with catalysts – cation exchange resin KU-2-8 in H-form and the immobilized form with Co^{2+} -ions has been determined. It has been established that the optimal temperature of process is 353K. It has been shown that mixing with frequency over 80 min⁻¹ has no effects on the reaction rate and the maximum conversion of sunflower oil. It was found that to maximize the conversion of glycerol trioleate the molar ratio ethanol : glycerol trioleate should be not less than 4.5 : 1. It has been shown that the presence of 5-10 wt. % water in alcohol can increase the final conversion of sunflower oil on 5-10%. The extreme dependence of maximum conversion of glycerol trioleate from the content of catalyst in the reaction mixture has been discovered. The established optimal conditions of transesterifications process of sunflower oil with ethyl alcohol allowed to achieve almost complete conversion of glycerol trioleate.

Keywords: sunflower oil, transesterification, ethanol, glycerol trioleate, cation exchange resin KU-2-8.

Вступ

Алкохоліз (трансеєтерифікацію) рослинних олій здійснюють взаємодією спиртів з тригліцидами у присутності каталізаторів, як правило кислот чи лугів або алкохолітів лужних металів, з одержанням гліцерину і естерів відповідних спиртів та ненасичених жирних кислот.

Незважаючи на те, що у виробництві біодизелю для алкоголізу олій в основному використовують метанол, придатними для цієї реакції також є етанол, пропанол, бутанол і пентанол [1, 2].

Висока вартість виробництва, частково внаслідок громіздкого процесу нейтралізації гомогенного каталізатора – лугу або алкохоліту лужного металу і розділення продуктів реакції, зменшує ефективність використання вказаних каталізаторів, тому на сьогодні розробляють методи алкоголізу триолеатів гліцерину (ТГ) у присутності гетерогенних каталізаторів [3, 4] та іммобілізованих на гетерогенних носіях ферментів [5].

Нами встановлено, що застосування каталізаторів на основі катіоніту КУ-2-8 у Н-формі та з іммобілізованими іонами металів дозволяє забезпечити достатньо високі технологічні показники процесу алкоголізу соняшникової та ріпакової олій етиловим та ізопропіловим спиртами [6, 7]. Проте вказані дослідження були проведені у достатньо вузькому інтервалі технологічних параметрів, які не дозволили досягнути конверсії олії понад 90% при її алкоголізі етиловим спиртом [7]. Тому встановлення оптимальних технологічних параметрів процесу алкоголізу соняшникової олії етанолом у присутності гетерогенних каталізаторів на основі катіоніту КУ-2-8 з метою забезпечення практично повної конверсії олії є важливим науковим завданням.

Мета та завдання досліджень

Метою досліджень було визначення впливу частоти перемішування, мольного співвідношення

етанол : триолеат гліцерину, вмісту води в етиловому спирті, температури та концентрації каталізатора на реакцію алкоголізу соняшникової олії етиловим спиртом при використанні каталізатора КУ-2-8 у Н-формі та КУ-2-8 з іммобілізованими іонами Co^{2+} .

Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували такі реактиви: соняшкову олію (ДСТУ 4492:2005), спирт етиловий ректифікований (ДСТУ 4221:2003), естеро-альдегідну фракцію (ТУ У 18.401-97). Як каталізатор, використовували катіоніт КУ-2-8 у Н-формі (ГОСТ 20298-74) та катіоніт КУ-2-8 з іммобілізованими іонами Co^{2+} , отриманий за методикою описаною в [8]. Безводний етанол (99,5 мас. %) отримували висушуванням спирту етилового ректифікованого над прожареним сульфатом магнію.

Лабораторна установка складалася з круглодонної колби зі зворотним холодильником і термометром. Суміш олії, етанолу та каталізатора перемішували механічною мішалкою з гідрозатвором. Частота обертання мішалки становила 55, 80 і 160 об/хв. Температура реакції алкоголізу становила 333–353 К, концентрація каталізатора – 0,5–4 мас. %, тривалість реакції – 3 год. Через кожні 30 хв відбирали проби для визначення вмісту етанолу. За кількістю витраченого на реакцію спирту визначали кількість прореагованого триолеату гліцерину і, відповідно, конверсію олії.

Концентрацію етанолу в реакційній суміші визначали з допомогою газорідинного хроматографа "Цвет-100" з детектором по теплопровідності. Для аналізу застосовували колонку довжиною 2 м та діаметром 3 мм, заповнену нерухою фазою 5% Silicone SE30 на Chromaton N-AW. Як газ-носії використовували гелій, витрата якого становила – 3 $\text{дм}^3/\text{год}$; сила струму на детекторі – 120 мА; об'єм аналізованої проби – 2 мкл. Температура випарника становила 483К, детектора – 443К, колонки – 353К, відповідно.

Перебіг побічних реакцій оцінювали за оптичною густиною реакційної суміші, визначеною за допомогою фотоколориметра КФК-2 при довжині хвилі світла 440 нм у кюветі товщиною 10 мм.

Кислотне число реакційної суміші визначали згідно методики [9].

Результати досліджень та їх обговорення

Враховуючи, що алкоголіз соняшникової олії етиловим спиртом супроводжується утворенням гетерофазної системи, а згідно [10] на реакцію впливає інтенсивність перемішування суміші, досліджено вплив частоти обертання мішалки на швидкість реакції та рівноважну конверсію олії (триолеату гліцерину). Встановлено, що при частоті обертання мішалки 80 і 160 об/хв досягаються практично однакові швидкості реакції алкоголізу і

максимальна конверсія олії ($86 \pm 1\%$), а зниження частоти до 55 об/хв призводить до істотного сповільнення реакції, що свідчить про вплив дифузії на алкоголіз олії (рис. 1).

З графіка очевидно, що значення конверсії олії в будь-який момент часу при частоті обертання мішалки 80 і 160 об/хв знаходяться в межах похибки. Відповідно, подальші дослідження здійснювали при частоті обертання мішалки 80 об/хв.

Враховуючи оборотність реакції алкоголізу, для досягнення вищої конверсії соняшникової олії мольний надлишок спирту збільшено в 4,5 і 5 разів. Встановлено, що при співвідношенні етанол : ТГ – 4,5 : 1 практично повне перетворення триолеату досягається за 70–80 хв, а при подальшому підвищенні співвідношення етанол : ТГ до 5 : 1 суттєво зростає швидкість реакції алкоголізу і вже за 30 хв конверсія соняшникової олії становить 98,5% (рис. 2).

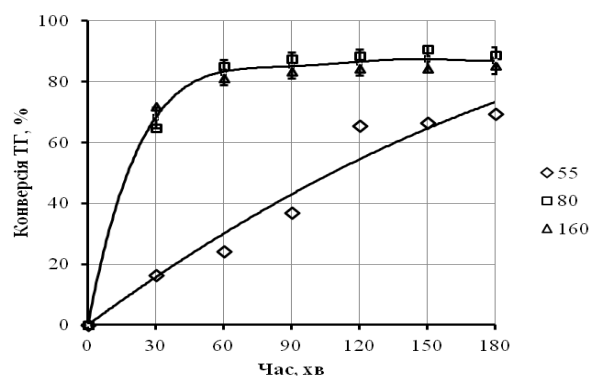


Рис. 1 – Вплив частоти обертання мішалки (об/хв.) на конверсію соняшникової олії в реакції її алкоголізу безводним етанолом. Температура – 353 К, вміст КУ-2-8 – 2 мас. %, етанол : ТГ – 4 : 1 (мол.)

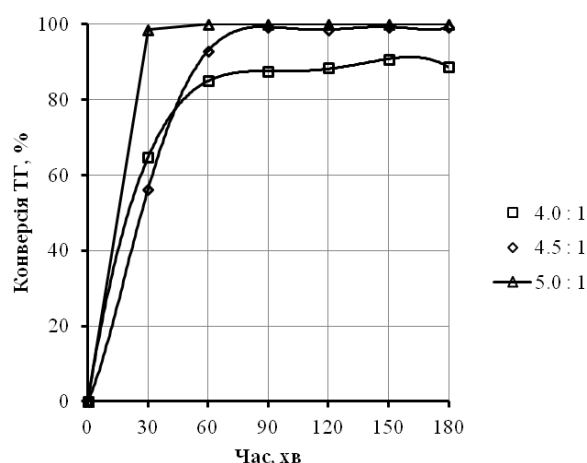


Рис. 2 – Вплив мольного співвідношення етанол : ТГ на конверсію соняшникової олії в реакції її алкоголізу безводним етанолом. Температура – 353 К, вміст КУ-2-8 – 2 мас. %

Визначені значення кислотного числа реакційної суміші є невисокими (і не перевищують сумарне значення кислотного числа реагентів – соняшникової олії та етилового спирту), що свідчить про те, що в умовах реакції алкоголізу гідроліз олії не відбувається і вільні ненасичені жирні кислоти не утворюються. Оптична густина продуктів реакції для всіх досліджених співвідношень є нижчою за оптичну густина олії, яка становить 0,10 (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив мольного співвідношення етанол : ТГ на показники алкоголізу соняшникової олії безводним етанолом. Температура – 353К, вміст КУ-2-8 – 2 мас. %

Етанол ТГ (мол.)	Час, хв.	Конверсія олії, %	Оптична густина реакційної суміші	КЧ реакційно ї суміші, мг КОН/г
4,0 : 1	90	87,4	0,05	0,4
	150	90,6		
4,5 : 1	60	92,9	0,07	0,3
	90	99,2		
5,0 : 1	30	98,5	0,04	0,4
	60	99,9		

Зміна мольного співвідношення етанол : ТГ в діапазоні (3,7–4,5) : 1 значно меншою мірою впливає на інтенсивність та технологічні показники процесу алкоголізу соняшникової олії естеро-альдегідною фракцією виробництва спирту етилового ректифікованого у присутності катіоніту КУ-2-8 з іммобілізованими іонами Co^{2+} (рис. 3, табл. 2)

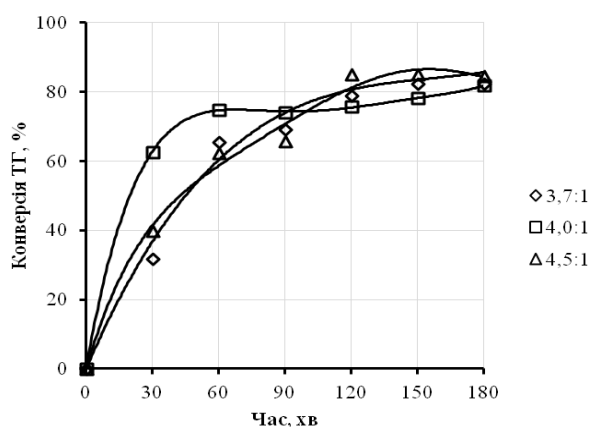


Рис. 3 – Вплив мольного співвідношення етанол : ТГ на конверсію соняшникової олії в реакції її алкоголізу естеро-альдегідною фракцією. Температура – 353К, вміст КУ-2-8 з іммобілізованими іонами Co^{2+} – 2 мас. %

Встановлено, що підвищення мольного співвідношення етанол : ТГ до 4 : 1 дозволяє підвищити швидкість реакції алкоголізу і досягнути

конверсії олії ~75% за 60 хв, яка за подальші 2 год експерименту збільшується лише на 5% (рис. 3).

При співвідношеннях етанол : ТГ – 3,7 : 1 і 4,5 : 1 (мол.) характер кривих зміни конверсії соняшникової олії з часом є практично однаковим.

Загалом, максимальна конверсія олії досягається при використанні співвідношення етанол : ТГ – 4,5 : 1 на 120 хв процесу і становить 84,9% (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив мольного співвідношення етанол : ТГ на показники алкоголізу соняшникової олії естеро-альдегідною фракцією. Температура – 353К, вміст катіоніту КУ-2-8 з іммобілізованими іонами Co^{2+} – 2 мас. %

Етанол ТГ (мол.)	Конверсія олії, %		Оптична густина реакційної суміші	КЧ реакційно ї суміші, мг КОН/г
	120 хв	180 хв		
3,7 : 1	78,8	82,4	0,05	0,4
4,0 : 1	75,6	81,7	0,05	0,3
4,5 : 1	84,9	84,5	0,05	0,4

Неоднозначний вплив зміни мольного співвідношення реагентів на швидкість реакції можна пояснити впливом масоперенесення реагентів до поверхні катализатора з олійної та гліциринової фаз реакційної суміші, які утворюються під час алкоголізу і не змішуються між собою.

Додатковий вплив масообміну на реакцію перетворення соняшникової олії має й присутність у реагентах (етанолі) води.

Встановлено, що присутність в етиловому спирті (естеро-альдегідній фракції) 9,2 мас. % води дозволяє практично до максимуму підвищити конверсію олії (рис. 4).

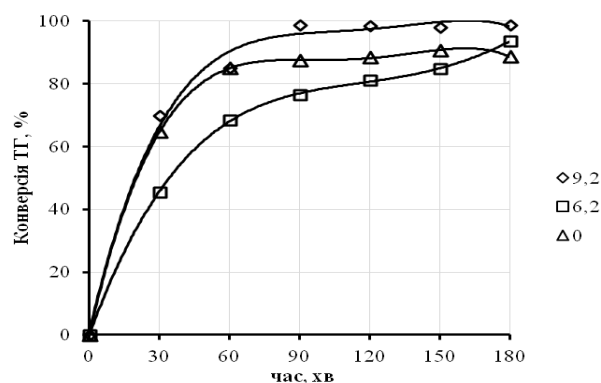


Рис. 4 – Вплив вмісту води (мас. %) в етиловому спирті на конверсію соняшникової олії. Температура – 353К, вміст КУ-2-8 – 2 мас. %, етанол : ТГ – 4 : 1 (мол.)

Результати досліджень свідчать, що присутність води впливає як на швидкість реакції алкоголізу, так і на рівноважну конверсію соняшникової олії, проте її вплив не є однозначним, що може бути пов'язане з тим, що реакційна система є гетерофазною.

Враховуючи, що при температурі 353 К у присутності каталізатора КУ-2-8 у Н-формі алкоголіз соняшникової олії естеро-альдегідною фракцією відбувається практично з повним перетворенням триолеату гліцерину (98,7%) за достатньо короткий час (від 30 до 70–80 хв, залежно від співвідношення етанол : ТГ), з метою зниження витрати енергоресурсів на проведення реакції досліджено вплив зниження температури на технологічні показники процесу (рис. 5).

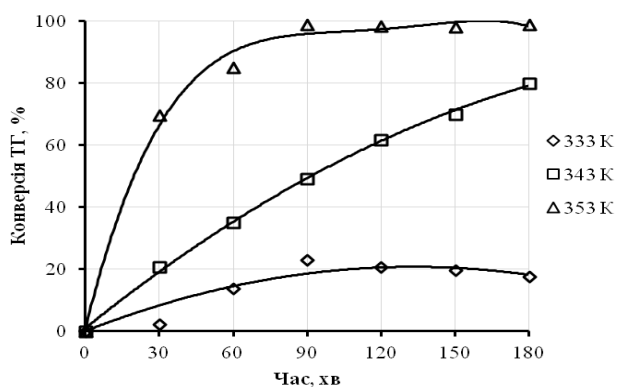


Рис. 5 – Вплив температури на конверсію соняшникової олії безводним етанолом у присутності катіоніту КУ-2-8. Співвідношення етанол : ТГ – 4,1 : 1 (мол.), вміст КУ-2-8 – 2 мас. %

Встановлено, що зменшення температури реакції алкоголізу соняшникової олії вже на 10 К призводить до різкого зниження швидкості реакції алкоголізу та не дозволяє досягнути задовільних значень конверсії соняшникової олії, які на 180 хв при 343 К становлять 61,7%, а при 333 К – лише 17,7%.

Зміна вмісту катіоніту КУ-2-8 у Н-формі у реакційній суміші впливає як на швидкість алкоголізу соняшникової олії етиловим спиртом, так і на рівноважну конверсію триолеату гліцерину (рис. 6). Також встановлено, що залежність рівноважної конверсії олії від вмісту катіоніту КУ-2-8 має екстремальний характер, а оптимальний вміст каталізатора становить 2 мас.% (рис. 7).

Таку аномальну залежність рівноважної конверсії олії від вмісту катіоніту в реакційній суміші можна пояснити гетерофазністю реакційної системи в момент досягнення рівноваги, різним співвідношенням швидкостей послідовної схеми перетворень триолеату гліцерину на етилолеат та, відповідно, різним складом на момент досягнення рівноваги реакційної суміші, компоненти якої

відрізняються за розчинністю в гліцериновій та естерній фазах.

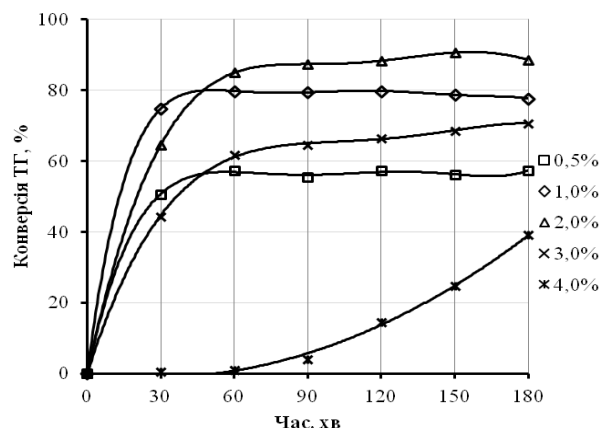


Рис. 6 – Вплив вмісту каталізатора КУ-2-8 на конверсію соняшникової олії. Співвідношення етанол : ТГ – 4,1 : 1 (мол.). Температура – 353К

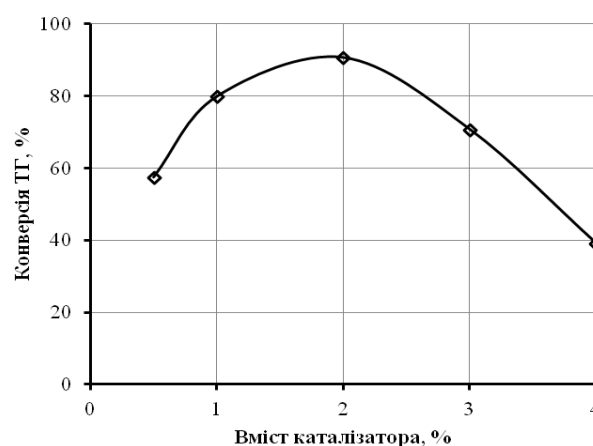


Рис. 7 – Вплив вмісту каталізатора КУ-2-8 на максимальну конверсію соняшникової олії. Співвідношення етанол : ТГ – 4,1 : 1 (мол.). Температура – 353К.

Висновки

Отже, для забезпечення високих технологічних показників процесу алкоголізу соняшникової олії етиловим спиртом у присутності катіоніту КУ-2-8 у Н-формі оптимальне мольне співвідношення етанол : триолеат гліцерину становить 4,5 : 1. Показано, що інтенсивність перемішування істотно впливає як на швидкість реакції, так і на конверсію олії, а зниження температури від 353К не дозволяє забезпечити прийнятну швидкість реакції. Визначено, що присутність води в етиловому спирті дозволяє змінити як швидкість, так і збільшити рівноважну конверсію соняшникової олії.

Список літератури

Bibliography (transliterated)

- 1 Biodiesel Handling and Use Guidelines. U.S. Department of Energy. – 2008. – 69 p.
- 2 **Fukuda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils / **H. Fukuda, A. Kondo, H. Noda** // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2001. – Vol. 92, №5. – P. 405-416. – doi:10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
- 3 **Suppes, G. J.** Transesterification of soybean oil with zeolites and metal catalysts / **G. J. Suppes, M. A. Dasari, E. J. Doscocil et al.** // *Applied Catalysis A: General*. – 2004. – № 257. – P. 213-223. – doi:10.1016/j.apcata.2003.07.010.
- 4 **Xie, W.** Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst / **W. Xie, H. Peng, L. Chen** // *Applied Catalysis A: General*. – 2006. – №300. – P. 67-74. – doi:10.1016/j.apcata.2005.10.048.
- 5 **Prihod'ko, R.** Layered double hydroxides as catalysts for aromatic nitrile hydrolysis / **R. Prihod'ko, M. Sychev, I. Kolomitsyn et al.** // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2002. – Vol. 56, №3. – С. 241-255. – doi:10.1016/S1387-1811(02)00468-7.
- 6 **Мельник, Ю. Р.** Переробка рослинних олій шляхом їх алкохолізу ізопропіловим спиртом / **Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник, З. Ю. Палюх та ін.** // *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. – 2015. – №25(3). – С. 135-139.
- 7 **Мельник, Ю. Р.** Алкохоліз тригліцеридів етанолом у присутності катіоніту КУ-2-8, модифікованого іонами металів / **Ю. Р. Мельник, З. Ю. Палюх, С. Р. Мельник.** // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. – 2015. – №3. – С. 78-82.
- 8 **Мельник, С. Р.** Наукові основи одержання і технологія моно- та дієстерів аліфатичних карбонових кислот : дис. докт. техн. наук: 05.17.04 / **Мельник Степан Романович** – Львів. – 2014. – 329 с.
- 9 **Одабашьян, Г. В.** Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза. Учеб. пособие для вузов / **Г. В. Одабашьян, В. Ф. Швец** – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия. – 1992. – 240 с.
- 10 **Зернина, И. А.** Физико-химические закономерности процессов при производстве биодизеля второго поколения / **И. А. Зернина, Д. А. Казаков, В. В. Вольхин.** // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. – 2012. – №12. – С. 136-151.
- 1 Biodiesel Handling and Use Guidelines. U.S. Department of Energy, 2008, 69 p.
- 2 **Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H.** Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2001, **92**(5), 405-416, doi:10.1016/S1389-1723(01)80288-7.
- 3 **Suppes, G. J., Dasari, M. A., Doscocil, E. J.** et al. Transesterification of soybean oil with zeolites and metal catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 2004, **257**, 213-223, doi:10.1016/j.apcata.2003.07.010.
- 4 **Xie, W., Peng, H., Chen, L.** Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst. *Applied Catalysis A: General*, 2006, **300**, 67-74, doi:10.1016/j.apcata.2005.10.048.
- 5 **Prihod'ko, R., Sychev, M., Kolomitsyn, I.** et al. Layered double hydroxides as catalysts for aromatic nitrile hydrolysis. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2002, **56**(3), 241-255, doi:10.1016/S1387-1811(02)00468-7.
- 6 **Melnyk, Yu. R., Melnyk, S. R., Palyukh, Z. Yu.** та ін. Pererobka roslynnykh oliy shlyakhom yikh alkoхолізу ізопропіловим спиртом [Processing of vegetable oils by their alcohol Isopropanol] *Naukovy visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrayiny [Scientific Bulletin of National Forestry University of Ukraine]*, 2015, **25**(3), 135-139.
- 7 **Melnyk, Yu. R., Palyukh, Z. Yu., Melnyk, S. R.** Alkoхолізу tryhlytserydiv etanolom u prysutnosti kationitu KU-2-8, modyfikovanoho ionamy metaliv [Alcoholism triglycerides ethanol in the presence of KU-2-8 cation modified metal ions] *Visnyk Shkhdnoukrayins'koho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalya [Journal of East Ukrainian National University named after V. Dahl]*, 2015, **3**, 78-82.
- 8 **Melnyk, S. R.** Naukovi osnovy odezhannya i tekhnolohiya mono- ta diesteriv alifatychnykh karbonovykh kyslot [Scientific basis and technology of obtaining mono- and di esters of aliphatic carboxylic acids]: dys. dokt. tekhn. nauk : 05.17.04, **Melnyk Stepan Romanovych**, Lviv, 2014, 329 p.
- 9 **Odabashyan, G. V., Shvets, V. F.** Laboratornyi praktikum po khimii i tehnologii osnovnogo organicheskogo i neftekhimicheskogo sinteza. Ucheb. posobie dlya vuzov [Laboratory practice in chemistry and technology of basic organic synthesis and neftehimicheskogokogo. Proc. manual for schools] 2-e izd. pererab. i dop, Moskov: Khimiya, 1992, 240 p.
- 10 **Zernina, I. A., Kazakov, D. A., Vol'hin, V. V.** Fiziko-himicheskie zakonemnosti processov pri proizvodstve biodizelja vtorogo pokolenija [Physical and chemical laws of processes in the production of second generation biodiesel] *Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatelskogo politehnicheskogo universiteta [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University]*, 2012, **12**, 136-151.

Відомості про авторів / About the Authors

Мельник Юрій Романович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Yurii – Candidate of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (067) 391-09-20; e-mail: yurii.r.melnyk@lpnu.ua.

Мельник Степан Романович – доктор технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри технології органічних продуктів; тел.: (067) 391-29-77; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Melnyk Stepan – Doctor of Technical Sciences, Docent, National University Lviv Polytechnic, Associate Professor at the Department of Technology of Organic Materials; tel.: (067) 391-29-77; e-mail: stepan.r.melnyk@lpnu.ua.

Палюх Зоряна Юрїївна – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри технології органічних продуктів, Львів, Україна, тел.: (063) 158-67-33; e-mail: mega.palyuh@mail.ru.

Paljuh Zorjana – Postgraduate, National University Lviv Polytechnic, Postgraduate at the Department of Technology of Organic Materials; Lviv, Ukraine, tel.: (063) 158-67-33; e-mail: mega.palyuh@mail.ru.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Палюх, З. Ю. Вплив параметрів процесу на алкоголіз соняшникової олії етиловим спиртом / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 163-168. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.24.

Please cite this article as:

Palyukh, Z., Melnyk, Yu., Melnyk, S. The effect of parameters on the transesterification process of sunflower oil with ethanol. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 163-168, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.24.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Палюх, З. Ю. Влияние параметров процесса на алкоголиз подсолнечного масла этиловым спиртом / **З. Ю. Палюх, Ю. Р. Мельник, С. Р. Мельник** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 163-168. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.24.

АННОТАЦИЯ Определено влияние технологических параметров процесса на алкоголиз подсолнечного масла этиловым спиртом в присутствии катализаторов – катионита КУ-2-8 в H форме и с иммобилизованными ионами Co^{2+} . Установлено, что оптимальной температурой процесса является 353K. Показано, что частота перемешивания 80 об/мин и более не влияет на скорость реакции и максимальную конверсию масла. Установлено, что для достижения максимальной конверсии масла мольное соотношение этанол: триолеат глицерина должно составлять не менее 4,5: 1. Показано, что наличие 5–10 масс. % воды в спирте позволяет повысить конечную конверсию подсолнечного масла на 5–10% при использовании катализатора катионита КУ-2-8 в H-форме. Установлено экстремальную зависимость максимальной конверсии триолеата глицерина от содержания катализатора в реакционной смеси.

Ключевые слова: подсолнечное масло, алкоголизма, этанол, триолеат глицерина, катионит КУ-2-8.

Надійшла (received) 15.03.2016

УДК 664.8.038:678.048[635.64]

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.25

ВПЛИВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ НИЗЬКОМОЛЕКУЛЯРНИХ АНТИОКСИДАНТІВ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ ПЕРЦЮ

О. П. ПРИСС*, Н. П. ЗАГОРКО

Кафедра технології переробки та зберігання продукції сільського господарства, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна

*email olesyapriess@gmail.com

АНОТАЦІЯ Досліджено вплив теплової обробки біологічно активними речовинами бактерицидної антиоксидантної дії на утилізацію продуктів перекисного окислення ліпідів аскорбіною кислотою, фенольними речовинами і каротиноїдами перцю протягом зберігання. Встановлено, що сумісний вплив теплової обробки і антиоксидантних речовин гальмує розвиток окисного стресу в 1,7..2 рази в залежності від гібриду перцю. Обробка пригнічує вплив окисних ферментів, що сприяє збереженню на 20% більше аскорбіною кислоти, на 10% фенольних речовин і на 20 ... 30% каротиноїдів. Між рівнем малонового діальдегіду і вмістом низькомолекулярних сполук встановлений сильний обернений зв'язок ($r = -0,90 \dots -0,92$), що свідчить про їхню участь в утилізації активних форм кисню під час зберігання перцю.

Ключові слова: перець, зберігання, антиоксиданти, малоновый діальдегід, аскорбінова кислота, фенольні речовини, каротиноїди.

EFFECT OF HEAT TREATMENT WITH BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE FUNCTIONING OF LOW-MOLECULAR ANTIOXIDANT SYSTEM DURING THE STORAGE OF SWEET BELL PEPPER FRUITS

O. P. PRISS*, N. P. ZAHORKO

Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT Despite the fact, that combination of heat treatment and treatment with exogenous biologically active substances increases shelf life of sweet bell pepper fruits and facilitates decreasing of metabolism, influence of such treatment on functioning of low-molecular antioxidant system was not studied. Used in this research hybrids of sweet bell pepper Hercules and Nikita were grown in the open-field conditions. Fruits were dipped for 15 min. into the prepared composition of biologically active substances with temperature of 45 °C. Composition consisted of substances with bactericide and antioxidant effect: butylhydroxitoluol, lecithin and water extract of horse-reddish root. After drying fruits were put in box, covered with a polyethylene film, and stored in $7 \pm 0,5$ °C and relative humidity $95 \pm 1\%$.

Influence of heat and antioxidant treatments combination on the content of lipid peroxidation products, ascorbic acid, phenol substances and carotenoids was studied.

It was shown, that content of malondialdehyde in treated fruits is 1.7...2 times lower depending on hybrid in comparison with control groups. Heat treatment of pepper fruits with antioxidant composition inhibits oxidative activity of enzymes ascorbatoxidase and polyphenoloxidase, which leads to better maintenance of low-molecular antioxidant fund. Treated pepper fruit contain 20% more ascorbic acid and 10% more phenol substances. In pepper fruits, which were treated with heat and antioxidants, content of carotenoids is 20...30% higher comparing to the control group of fruit. Between the content of malondialdehyde and quantity of low-molecular antioxidants strong reverse correlative dependencies ($r=-0,90 \dots -0,92$) were found, which testify to their importance in reactive oxygen species utilization during the storage of sweet bell pepper fruits.

Keywords: pepper, storage, antioxidants, malondialdehyde, ascorbic acid, phenolics, carotenoids.

Вступ

Солодкий перець є важливою овочевою культурою. Високі споживчі властивості, наявність комплексу фітонутрієнтів, робить його незамінним компонентом у здоровому харчуванні. Проте, під час післязбиральної обробки і зберігання якість плодовоовочевої продукції швидко знижується. Це є природним наслідком через продовження метаболічних процесів та старіння плодівих тканин. Невід'ємною частиною післязбирального метаболізму є окисні процеси з утворенням таких активних кисневих інтермедіатів

синглетний кисень (1O_2), супероксид аніон ($O_2^{\cdot-}$), пероксид водню (H_2O_2), гідроксильний радикал (OH^{\cdot}), пероксинітрит ($ONOO^{\cdot}$). Усі ці реакційно здатні форми кисню відіграють важливу роль у передачі клітинних сигналів. Але зростання концентрації активних форм кисню (АФК) призводить до руйнування внутрішньоклітинних структур.

Для підтримання низького стаціонарного рівня АФК в рослинних тканинах сформовано систему антиоксидантного захисту з комплексу низькомолекулярних та високомолекулярних антиоксидантів. Низькомолекулярні антиоксиданти мають найбільше зна-

чення на ранніх етапах активації підвищеного утворення АФК. Ці речовини, віддаючи свій атом водню, перетворюють вільні радикали в стабільні молекули і попереджають розвиток ланцюгової реакції перекисного окиснення. Низькомолекулярні неферментативні антиоксиданти присутні у всіх органах рослин і включають аскорбінову кислоту, каротиноїди, фенольні сполуки та ін. [1].

Аскорбінова кислота (АК) володіє декількома антиоксидантними властивостями: діє як первинний субстрат в циклічному шляху ферментативної детоксикації АФК (H_2O_2), має здатність безпосередньо нейтралізувати супероксидні радикали, синглетний кисень, гідроксильний радикал та виступає як вторинний антиоксидант під час відновлення окисненої форми α - токоферолу [2]. АК також служить кофактором для багатьох ферментів і сприяє детоксикації АФК. Крім того, ендогенний рівень АК відіграє важливу роль в регуляції процесів старіння і захисту від патогенів [3]. Окремі овочі містять велику кількість АК. Однак, упродовж зберігання вміст АК, як правило, знижується. Втрати АК при зберіганні рослинної продукції пов'язані з ензиматичним метаболізмом та окисненням аскорбатоксидазою (АКО), локалізованою в клітинній стінці [4].

Рослинні каротиноїди відносяться до групи ліпофільних антиоксидантів і здатні нейтралізувати різні форми АФК. Каротиноїди (К) виступають головними утилізаторами синглетного кисню [5]. Вони захищають клітинні структури від впливу АФК, не тільки «гасячи» синглетний кисень, але також нейтралізують перекисні радикали обриваючи ланцюгові реакції вільнорадикального окиснення ненасичених карбонових кислот, перешкоджаючи перекисному окисненню ліпідних компонентів клітинних мембран. Високий рівень каротиноїдних сполук міститься у багатьох овочах. Після відділення від материнської рослини каротиногенез може тривати протягом певного періоду навіть у плодах червоного ступеня стиглості [6]. Проте, при подальшому зберіганні вміст каротиноїдів зменшується.

Фенольні речовини (ФР) це різноманітні вторинні метаболіти (флавоноїди, дубильні речовини, гідрокоричні складні ефіри і лігнін), які володіють антиоксидантними властивостями. Поліфеноли містять ароматичне кільце з декількома гідроксильними групами, що зумовлює їх біологічну активність, в тому числі антиоксидантну дію [1]. Вміст поліфенолів у рослинній продукції сильно корелює з їх антиоксидантною активністю [7]. Крім високої антиоксидантної дії, ФР відіграють надзвичайно важливу роль в захисті тканин від патогенів у післязбиральний період [8]. Рівень поліфенолів впродовж зберігання плодоовочевої продукції найчастіше знижується [9]. За окиснювальну деградацію фенольних речовин відповідають два ензими: поліфенолоксидаза (ПФО) та пероксидаза [9].

Тонка рівновага між АФК та антиоксидантами легко порушується за дії стресових факторів. Будь-

який адаптивний (до охолодження) або патологічний процес (перезрівання) перебігає на тлі утворення підвищеної кількості АФК та інтенсифікації вільнорадикального окиснення біосубстратів. Тож утилізація надлишків АФК впродовж зберігання плодоовочевої продукції є запорукою збереження якості продукції.

Зі зниженням температури зберігання відбувається сповільнення метаболізму, зниження інтенсивності дихання, зменшується виділення етилену, скорочуються втрати маси, що дозволяє продовжити термін зберігання плодоовочевої продукції [10, 11]. Однак, для багатьох видів плодоовочевої продукції зниження температури є небезпечним, оскільки викликає окисне пошкодження. Незважаючи на потужну ендогенну антиоксидантну систему [12], овочевий перець є досить чутливим до впливу холоду [13]. Теплові обробки композиціями антиоксидантних речовин дозволяють знизити рівень і важкість холодкових пошкоджень та подовжити термін зберігання перцю [14].

Оскільки аналіз функціонування антиоксидантного захисту в плодах перцю з тепловою обробкою антиоксидантами не розглядався це зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямку.

Мета роботи

Мета досліджень полягала у виявленні впливу теплової обробки композицією антиоксидантів на рівень утилізації АФК системою низькомолекулярних антиоксидантів під час зберігання плодів перцю.

Мета досліджень полягала у виявленні впливу теплової обробки розчинами антиоксидантних композицій на рівень утилізації АФК.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- простежити динаміку накопичення малонового діальдегіду (МДА) впродовж зберігання перцю;
- простежити динаміку аскорбінової кислоти, фенольних речовин та каротиноїдів впродовж зберігання перцю;
- встановити залежності між рівнем малонового діальдегіду та кількістю низькомолекулярних антиоксидантів під час зберігання перцю.

Матеріали та методи досліджень

У дослідженнях використовували плоди перцю гібридів Геркулес F1 і Нікіта F1, вирощені в умовах відкритого ґрунту. Для зберігання відбирали стандартні плоди, забарвлені в основний колір на 80...90%. Плоди занурювали в заздалегідь приготовану композицію антиоксидантних речовин з температурою 45 °C на 15 хв. До складу композиції входили речовини бактерицидно антиоксидантної дії: іонол (І), лецитин (Л) та водний екстракт кореня хрону (Хр): Хр+І+Л [15]. Після висихання плоди вкладали в ящики, вистелені поліетиленовою плівкою і зберігали при $7 \pm 0,5$ °C і відносній вологості $95 \pm 1\%$. Контролем слугували необроблені плоди, що зберігались за тих самих умов.

Розвиток окиснювального пошкодження оцінювали за вмістом малонового діальдегіду (МДА), який вважають маркером окисного стресу [16]. Вміст МДА визначали тіобарбітуровим методом [17]. Визначення низькомолекулярних антиоксидантів проводили за наступними методиками: вміст аскорбінової кислоти за відновленням реактиву Тільманса [18]; вміст фенольних речовин за допомогою реактиву Фоліна-Деніса, як описано в ДСТУ 4373:2005; загальний вміст каротиноїдів шляхом екстрагування пігментів ацетоном з наступним визначенням їх оптичної густини [17].

Розвиток окиснювального стресу під час зберігання перцю

Під час зберігання перцю при температурах вище порогу чутливості до холоду, рівень МДА постійно зростає [19, 20]. Така ж динаміка спостерігалась і в наших дослідженнях. Як видно з рис. 3, між досліджуваними гібридами перцю існують істотні сортові відмінності у фоновій кількості МДА.

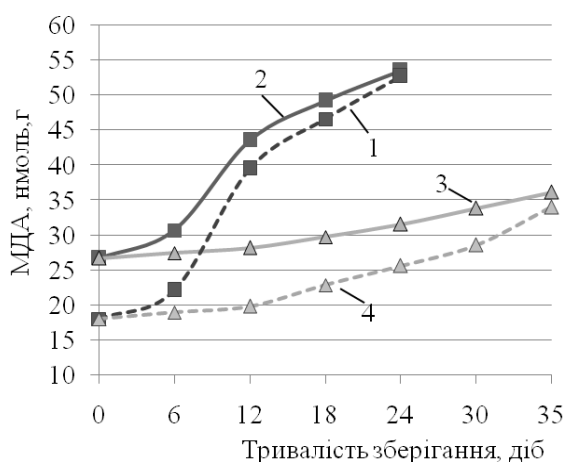


Рис. 1 – Динаміка кількості МДА під час зберігання перцю: 1 – без обробки Нікіта; 2 – без обробки Геркулес; 3 – теплова обробка Хр+І+Л Нікіта; 4 – теплова обробка Хр+І+Л Геркулес.

Швидкість процесів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) у перцю Нікіта вища порівняно з Геркулесом. Тому наприкінці зберігання кількість МДА однакова в обох гібридах.

За перші 6 днів зберігання рівень МДА в контрольних плодах лише має тенденцію до зростання (різниця у деякі роки статистично незначима). На 12 добу кількість МДА зростає в 1,6 рази у гібриду Геркулес та в 2,2 рази в гібриду Нікіта. Що є свідченням різкої інтенсифікації вільно радикальних процесів на цьому етапі зберігання. Така інтенсифікація збігається з початком підйому інтенсивності дихання перцю [21].

До кінця зберігання вміст продуктів ПОЛ в контрольних зразках збільшується в 2 рази у гібриду Геркулес та в 2,9 у Нікіті. Різниця у швидкості наро-

дження ПОЛ різними гібридами пояснюється нижчим антиоксидантним статусом перцю Нікіта.

Як видно з рис. 1, теплова обробка антиоксидантами змінює динаміку МДА плодів перцю. До 12 доби зберігання рівень ПОЛ залишається практично стабільним в обох гібридах. Далі, на кожному етапі зберігання, рівень МДА збільшується на 5...6% для гібриду Геркулес та на 12...15% для гібриду Нікіта. На 18 добу (втрата товарної якості контрольних зразків) рівень МДА в дослідних зразках в середньому нижче в 1,7 рази для гібриду Геркулес та в 2 рази для гібриду Нікіта, що підтверджує думку про інгібування екзогенними антиоксидантами процесів перекисного окислення ліпідів.

Динаміка низькомолекулярних АО під час зберігання перцю

Встановлено, що протягом перших 7 днів зберігання, навіть при 0 °С, кількість аскорбінової кислоти у перцю червоного ступеня стиглості збільшується на 5 % [22]. Припускають, таке зростання вітаміну С пов'язане з невеликим прогресуванням дозрівання. Подібні результати отримані і в наших дослідженнях (рис. 2).

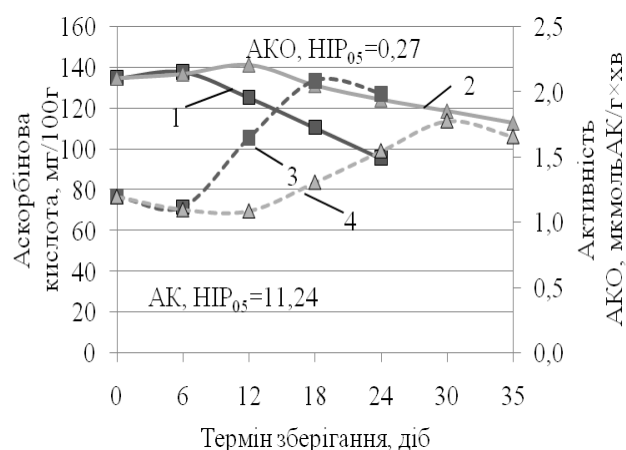


Рис. 2. – Динаміка кількості АК та активності АКО перцю Геркулес: 1 – АК контроль; 2 – АК теплова обробка Хр+І+Л; 3 – АКО контроль; 4 – АКО теплова обробка Хр+І+Л.

В контрольних плодах, за перший тиждень зберігання, враховуючи природний убуток маси, реальний приріст аскорбінової кислоти сягав близько 2 %. Таке збільшення кількості АК, перш за все, можливе за рахунок короточасного зниження активності АКО внаслідок охолодження. Надалі відбувалось нарощування активності АКО та відповідна поступова деградація аскорбінової кислоти, як закономірний процес під час старіння плоду [23]. На 18 добу зберігання контрольні плоди обох гібридів в середньому втрачають близько 20% від початкового вмісту АК.

Дещо інший характер динаміки АК спостерігається у плодів з тепловою обробкою трикомпонент-

ним антиоксидантом. Наростання кількості АК відбувається в обох гібридах до 12 доби зберігання. Як видно з рис. 9.11, у цей момент, АКО дослідних плодів все ще знаходиться на мінімальному рівні. Таке інгібування ферменту відповідального за окислення АК можливе завдяки синергетичній дії теплової обробки антиоксидантами та охолодження. Активність АКО в оброблених плодах на 12 добу зберігання нижче, ніж в контролі в 1,5 рази. Відтак відбувається посилення діяльності АКО та відповідне зниження кількості АК в дослідних перцях. Проте, швидкість руйнації АК в плодах з тепловою обробкою антиоксидантами суттєво нижча, ніж в контрольних зразках. На 30 добу зберігання дослідні перці містять на 7...8 % більше АК, ніж контрольні через 18 діб зберігання.

Аналіз кореляційних залежностей між МДА та АК дозволяє стверджувати, що АК відіграє важливу роль в системі захисту низькомолекулярних антиоксидантів (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Парні кореляційні залежності між МДА, низькомолекулярними АО та окислювальними ферментами під час зберігання перцю без обробки

Показник	МДА	АК	ФР	К	АКО	ПФО
МДА	1	-0,93	-0,97	-0,90	0,96	0,95
АК	-0,93	1	0,99	0,99	-0,91	-0,99
ФР	-0,97	0,99	1	0,98	-0,93	-0,99
К	-0,90	0,99	0,98	1	-0,90	-0,97
АКО	0,96	-0,91	-0,93	-0,90	1	0,90
ПФО	0,95	-0,99	-0,99	-0,97	0,90	1

Таблиця 2 – Парні кореляційні залежності між МДА, низькомолекулярними АО та окислювальними ферментами під час зберігання перцю з тепловою обробкою Хр+І+Л

Показник	МДА	АК	ФР	К	АКО	ПФО
МДА	1	-0,95	-0,99	-0,95	0,91	0,98
АК	-0,95	1	0,97	0,97	-0,95	-0,97
ФР	-0,99	0,97	1	0,97	-0,94	-1,00
К	-0,95	0,97	0,97	1	-0,93	-0,98
АКО	0,91	-0,95	-0,94	-0,93	1	0,95
ПФО	0,98	-0,97	-1,00	-0,98	0,95	1

Як видно з таблиць 1, 2, між АК та АКО існують тісні обернені зв'язки та підтверджує висновки вчених про АКО як основний фермент, що відповідає за деградацію АК в плодах перцю [23].

Під час зберігання перцю кількість ФР поступово знижується [24]. Аналогічна динаміка кількості ФР спостерігається і в наших дослідженнях (рис. 3).

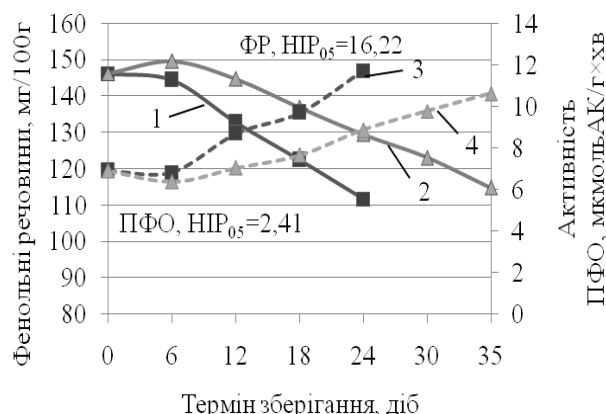


Рис. 3.– Динаміка кількості ФР та активності ПФО перцю Геркулес: 1 – АК контроль; 2 – АК теплова обробка Хр+І+Л, 3 – АКО контроль, 4 – АКО теплова обробка Хр+І+Л.

Сортова специфіка спостерігається тільки у кількості поліфенолів на початку зберігання. Динаміка вмісту ФР в обох гібридів подібна: кількість поліфенолів за 18 діб зберігання зменшується відносно початкового значення в середньому на 20 % для гібриду Геркулес та на 16 % для гібриду Нікіта. Зниження кількості фенольних речовин пов'язане зі зростанням активності поліфенолоксидази, яке зафіксоване в усіх досліджуваних зразках, а тісні кореляції між субстратом та ферментом (див. табл. 1,2) це підтверджують. Теплова обробка композицією антиоксидантів дещо змінювала динаміку ФР у плодах перцю. На першому тижні зберігання спостерігається приріст кількості фенольних сполук на приблизно 2 % відносно початкового значення. Такі ж результати описані дослідниками, які застосовували обробку плодів перцю сечовиною та речовинами, що обмежують транспірацію [24]. Зростання кількості ФР може бути пов'язане з обмеженням транспірації, сповільненням дихання та з гальмуванням ПФО, що у нашому випадку можливе через теплову обробку антиоксидантами. Адже екзогенні антиоксиданти сприяють збереженню фенольних речовин впродовж зберігання [25]. Подальше зберігання веде до скорочення кількості поліфенольних сполук. Однак швидкість деструкції ФР в оброблених плодах суттєво сповільнена по відношенню до контрольних зразків. На 18 добу зберігання, кількість ФР в плодах з обробкою, залежно від гібриду вища на 9...12%, ніж в необробленому перці. При довшому терміні зберігання (30 діб), концентрація поліфенольних сполук в перці з тепловою обробкою антиоксидантами знаходить на тому ж рівні, що і в контрольних зразках на 18 добу зберігання.

На підставі тісних обернених залежностей між кількістю ФР та МДА можна говорити про значну роль цих сполук у системі антиоксидантного захисту тканин перцю (див. табл. 1,2).

Під час зберігання перцю каротиногенез може продовжуватись [26]. У наших дослідженнях, динамі-

ка каротиноїдів у плодах перцю залежала від сортових особливостей (рис. 4).

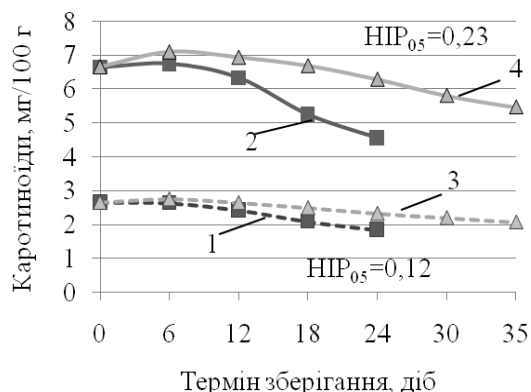


Рис. 4 – Динаміка кількості каротиноїдів під час зберігання перцю: 1 – без обробки Нікіта; 2 – без обробки Геркулес; 3 – теплова обробка Хр+І+Л Нікіта; 4 – теплова обробка Хр+І+Л Геркулес.

Після закладання на зберігання, каротиногенез продовжується до 6 доби у перцю гібриду Геркулес. Зростання кількості каротиноїдів у перцю гібриду Нікіта недостовірне. Подальша динаміка каротиноїдів виявлялась у стабільному зниженні каротиноїдних пігментів, що є закономірним процесом при старінні тканин. Теплова обробка композицією антиоксидантів не змінює динаміки каротиноїдів, однак, ефективно сповільнює швидкість їх деструкції. Використана обробка дозволяє гальмувати процеси розпаду каротиноїдів у середньому на 20...30 % порівняно з контрольними плодами. Після подовженого до 30 днів зберігання, рівень каротиноїдів в оброблених плодах на 5...10 % вищий, ніж в контролі після 18 днів зберігання. Свідченням антиоксидантних властивостей каротиноїдів є їх обернена корелятивність з рівнем МДА (див. табл. 1, 2).

Висновки

1. Теплова обробка композицією антиоксидантів суттєво сповільнює розвиток окиснювального стресу під час зберігання перцю. Рівень малонового діальдегіду в оброблених плодах нижче залежно від гібриду в 1,7...2 рази порівняно з контрольними групами.

2. Теплова обробка перцю композицією антиоксидантів інгібує діяльність окислювальних ферментів аскорбатоксидази та поліфенолоксидази, що призводить до кращого збереження фонду низькомолекулярних антиоксидантів. Оброблені плоди перцю містять на 20 % більше аскорбінової кислоти та на 10% більше фенольних речовин. В перці з тепловою обробкою композицією антиоксидантів вміст каротиноїдів у середньому на 20...30 % вище порівняно з контрольними плодами.

3. Між рівнем малонового діальдегіду та кількістю низькомолекулярних антиоксидантів встанов-

лені сильні обернені кореляційні залежності ($r=-0,90\dots-0,92$), що свідчить про їхню важливість в утилізації активних форм кисню під час зберігання перцю.

Список літератури

- 1 **Sharma, P.** Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions / **P. Sharma, A. B. Jha, R. S. Dubey, M. Pessarakli** // *Journal of Botany*. – 2012. – Article ID 217037. – 26 p. – doi:10.1155/2012/217037.
- 2 **Zhang, Y.** Biological role of ascorbate in plants / Yuyang Zhang // *Ascorbic acid in plants: biosynthesis, regulation and enhancement*. – New York Heidelberg Dordrecht London: Springer Science & Business Media. – 2013. – P. 7-28. – doi:10.1007/978-1-4614-4127-4_2.
- 3 **Mazid, M.** Occurrence, biosynthesis and potentialities of ascorbic acid in plants / **M. Mazid, T. A. Khan, Z. H. Khan** [et al.] // *International journal of plant, animal and environmental sciences*. – 2011. – Vol. 1, №2. – P. 167-184.
- 4 **Smirnoff, N.** Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule / **N. Smirnoff** // *Current opinion in plant biology*. – 2000. – Vol. 3, №3. – P. 229-235. – doi:10.1016/S1369-5266(00)80070-9
- 5 **Karuppanapandian, T.** Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms / **T. Karuppanapandian, J-C. Moon, C. Kim** [et al.] // *Aust J Crop Sci.* – 2011. – Vol. 5, № 6. – P. 709-725.
- 6 **Vicente, A. R.** UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper / **A. R. Vicente, C. Pineda, L. Lemoine** [et al.] // *Postharvest Biol. Technol.* – 2005. – Vol. 35. – P. 69-78. doi:10.1016/j.postharvbio.2004.06.001.
- 7 **Velioglu, Y. S.** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products / **Y. S. Velioglu, G. Mazza, L. Gao, B. D. Oomah** // *J. Agric. Food Chem.* – 1998. – Vol. 46, № 10. – P. 4113-4117. – doi:10.1021/jf9801973.
- 8 **Haard, N. F.** Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables / **N. F. Haard** // *Journal of chemical education*. – 1984. – Vol. 61, №4. – P. 277-283. – doi:10.1021/ed061p277.
- 9 **Tomás-Barberán, F. A.** Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables / **F. A. Tomás-Barberán, J. C. Espin** // *J Sci Food Agric.* – 2001. – Vol. 81, №9. – P. 853-876. doi:10.1002/jsfa.885
- 10 **Sugar, D.** Influence of temperature and humidity in management of postharvest decay / **D. Sugar** // *Stewart Posthar. Rev.* – 2009. – Vol. 5, № 2. – P. 1-5. – doi:10.2212/spr.2009.2.1.
- 11 **Kanlayanarat, S.** Horticultural chain management for countries of Asia and the Pacific region: a training package / **S. Kanlayanarat, R. Rolle, A. Jr. Acedo** – Rome, Italy: FAO, 2009. – 214 p. – (RAP Publication 2009 / 06).
- 12 **Priss, O.** Enzymatic antioxidants in tomatoes and sweet bell pepper fruits under abiotic factors / **O. Priss, V. Kalytka**. // *Ukrainian Food Journal*. – 2014. – Vol. 3, № 4. – P. 505-516.
- 13 **Lim, C. S.** Bell pepper (*Capsicum annum* L.) fruits are susceptible to chilling injury at the breaker stage of ripening / **C. S. Lim, S. M. Kang, J. L. Cho** [et al.] // *HortScience*. – 2007. – Vol. 42 (7). – P. 1659-1664.
- 14 **Прісс, О. П.** Вплив теплової обробки антиоксидантами на тривалість зберігання і якість солодкого перцю / **О. П. Прісс, В. В. Калитка** // *Восточно-европейский*

- журнал передових технологій. – 2014. – № 2/12 (68), часть 1. – С. 14-18. – doi:10.15587/1729-4061.2015.44240
- 15 Пат. 59733 України, МПК А 23 В 7/14. Антиоксидантна композиція для обробки плодів овочів перед зберіганням / О. П. Прісс, Т. Ф. Прокудіна, В. Ф. Жукова. – u 2010 13798; заявл. 19.11.10; опубл. 25.05.11, Бюл. №10.
 - 16 Del Rio, D. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and bio-logical marker of oxidative stress / D. Del Rio, A. J. Stewart, N. Pellegrini // *Nutr Me-tab Cardiovasc Dis.* – 2005. – № 15. – P. 316-328.
 - 17 Мусієнко, М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т.В. Паршикова, П.С. Славний. – К.: Фітосоціоцентр. – 2001. – 200 с.
 - 18 Найченко, В. М. Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства / В. М. Найченко. – К.: ФАДА ЛТД. – 2001. – 211 с.
 - 19 Xing, Y. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) / Y. Xing, X. Li, Q. Xu [et al.] // *Food Chemistry.* – 2011. – Vol. 124, №4. – P. 1443-1450. – doi:10.1016/j.foodchem.2010.07.105.
 - 20 Liu, D. Effect of ice-temperature and spermidine on chilling sensitivity of pepper / D. Liu, G. Sui, Y. He [et al.] // *Food and Nutrition.* – 2013. – Vol. 4. – P. 156-162. – doi:10.1016/fns.2013.42022.
 - 21 Прісс, О. П. Вплив теплової обробки біологічно активними речовинами на інтенсивність дихання перцю впродовж зберігання / О. П. Прісс, Г. М. Бандуренко // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія: "Нові рішення в сучасних технологіях".* – 2015. – №62 (1171). – С. 144-149.
 - 22 Martínez, S. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) / S. Martínez, M. López, M. González-Raurich, A. Bernardo Alvarez // *International journal of food sciences and nutrition.* – 2005. – Vol. 56 (1). – P. 45-51. – doi:10.1080/09637480500081936.
 - 23 Yahia, E. M. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence / E. M. Yahia, M. Contreras-Padilla, G. Gonzalez-Aguilar // *LWT-Food science and technology.* – 2001. – Vol. 34, №7. – P. 452-457. – doi:10.1006/fstl.2001.0790.
 - 24 Cuadra-Crespo, P. Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperature / P. Cuadra-Crespo, F. M. del Amor // *J. Sci. Food Agric.* – 2010. – Vol. 90, №15. – P. 2716-2722. – doi:10.1002/jsfa.4147.
 - 25 Сердюк, М. Є. Вплив екзогенної обробки антиоксидантами на динаміку фенольних речовин при зберіганні яблук / М. Є. Сердюк, В. В. Калитка, С. С. Байбєрова // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2014. – Вып. 5 /11 (71). – С. 17-22. – doi:10.15587/1729-4061.2014.27584.
 - 26 Kan, E. E. L. Changes in the postharvest quality of datil hot peppers as affected by storage temperature / E. E. L. Kan, S. A. Sargent, A. Simonne [et al.] // *Proc. Fla. State Hort. Soc.* – 2007. – Vol. 120. – P. 246-250.
 - 27 Vicente, A. R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A., & Chaves, A. R. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 35(1), 69-78, doi:10.1016/j.postharvbio.2004.06.001.
 - 28 Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1998, 46(10), 4113-4117, doi:10.1021/jf9801973.
 - 29 Haard, N. F. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. *Journal of Chemical Education*, 1984, 61(4), 277-283, doi:10.1021/ed061p277.
 - 30 Tomás-Barberán, F. A., & Espin, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2001, 81(9), 853-876, doi:10.1002/jsfa.885.
 - 31 Sugar, D. Influence of temperature and humidity in management of postharvest decay. *Stewart Postharvest Review*, 2009, 5(2), 1-5, doi:10.2212/spr.2009.2.1.
 - 32 Kanlayanarat, S., Rolle, R., & Acedo Jr, A. Horticultural chain management for countries of Asia and the Pacific region: a training package, *RAP Publication (FAO)*, 2009.
 - 33 Priss O., Kalytka V. Enzymatic antioxidants in tomatoes and sweet bell pepper fruits under abiotic factors, *Ukrainian Food Journal*, 2014, 3(4), 505-516.
 - 34 Lim, C. S., Kang, S. M., Cho, J. L., Gross, K. C., & Woolf, A. B. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits are susceptible to chilling injury at the breaker stage of ripeness, *HortScience*, 2007, 42(7), 1659-1664.
 - 35 Priss, O. P., Kalitka, V. V. Effect of hot treatment by antioxidants on the shelf life and quality of sweet pepper. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, 2(12 (68)), 14-18, doi:10.15587/1729-4061.2015.44240.
 - 36 Pat. 59733 Ukraine, IPC A 23 7/14 Antioxidant composition for the treatment of fruit vegetables before storage / Priss, O. P., Prokudina, T. F., Zhukova, V. F. // Antioxidant composition for the treatment of fruit vegetables before storage. 2011.
 - 37 Del Rio, D., Stewart, A. J., & Pellegrini, N. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases*, 2005, 15(4), 316-328.
 - 38 Musiienko, M. M., Parshykova, T. V. and Slavnyi, P. C. Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohiyi, biokhimiyi ta ekolohiyi roslyn [Spectrophotometric methods in practice, physiology, biochemistry and ecology of plants], *Kyiv, Fitosotsiotsentr*, 2001, 200 p.
 - 39 Naichenko, V. M. Praktykum z tekhnolohiyi zberihannya i pererobky plodiv ta ovochiv z osnovamy tovaroznavstva

Bibliography (transliterated)

- 1 Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pesarakli, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxi-

- [Workshop on Technology storage and processing of fruits and vegetables with the basics of commodity], Kyiv, *FADA LTD*, 2001, 211 p.
- 19 Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., & Tang, Y. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), *Food Chemistry*, 2011, **124**(4), 1443-1450, doi:10.1016/j.foodchem.2010.07.105.
- 20 Liu, D., Sui, G., He, Y., Liu, J., & Qin, W. Effect of ice-temperature and spermidine on chilling sensitivity of pepper, *Food and Nutrition*, 2013, **4**, 156-162, doi:10.1016/fns.2013.42022.
- 21 Priss, O., Bandurenko, G. Effect of heat treatment with biologically active substances on respiration during storage of sweet peppers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 144 - 149, ISSN 2079-5459.
- 22 Martínez, S., López, M., González-Raurich, M., & Bernardo Alvarez, A. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International journal of food sciences and nutrition*, 2005, **56**(1), 45-51, doi:10.1080/09637480500081936.
- 23 Yahia, E. M., Contreras-Padilla, M., & Gonzalez-Aguilar, G. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *LWT-Food Science and Technology*, 2001, **34**(7), 452-457, doi:10.1006/fstl.2001.0790.
- 24 Cuadra-Crespo, P., & del Amor, F. M. Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, **90**(15), 2716-2722, doi:10.1002/jsfa.4147
- 25 Serdyuk, M. Ye., Kalytka, V. V., & Baybyerova, S. S. Influence of exogenous treatment with antioxidants on dynamics of phenolic compounds during storage of apples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, **5**(11)68), 17-22, doi:10.15587/1729-4061.2014.27584.
- 26 Kan, E. E. L., Sargent, S. A., Simonne, A., Shaw, N. L., & Cantliffe, D. J. Changes in the postharvest quality of datil hot peppers as affected by storage temperature. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 2007, **120**, 246-250.

Сведения об авторах (About authors)

Прісс Олеся Петрівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, доцент кафедри технології переробки і зберігання продукції сільського господарства; м. Мелітополь, Україна, e-mail: olesyapriiss@gmail.com.

Olesia Priss – 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: olesyapriiss@gmail.com

Загорко Надія Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри технології переробки і зберігання продукції сільського господарства; м. Мелітополь, Україна,

Nadiya Zahorko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Head of Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Прісс, О. П. Вплив теплової обробки біологічно активними речовинами на функціонування системи низькомолекулярних антиоксидантів під час зберігання плодів перцю / **О. П. Прісс, Н. П. Загорко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 169-175. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.25.

Please cite this article as:

Priss, O., Zahorko, N. Effect of heat treatment with biologically active substances on the functioning of low-molecular antioxidant system during the storage of sweet bell pepper fruits. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 169-175, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Прісс, О. П. Влияние тепловой обработки биологически активными веществами на функционирование системы низькомолекулярных антиоксидантов при хранении перца / **О. П. Прісс, Н. П. Загорко** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 169-175. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.25.

АННОТАЦІЯ Исследовано влияние тепловой обработки биологически активными веществами бактерицидно антиоксидантного действия на утилизацию продуктов перекисного окисления липидов аскорбиновой кислотой, фенольными веществами и каротиноидами перца в течение хранения. Установлено, что совместное влияние тепловой обработки и антиоксидантных веществ тормозит развитие окислительного стресса в 1,7..2 раза в зависимости от гибрида перца. Обработка ингибирует влияние окислительных ферментов, что способствует сохранению на 20% больше аскорбиновой кислоты, на 10 % фенольных веществ и на 20...30% каротиноидов. Между уровнем малонового диальдегида и содержанием низькомолекулярных соединений установлена сильная обратная корреляционная связь ($r=-0,90...-0,92$), что свидетельствует об их участии в утилизации активных форм кислорода при хранении перца.

Ключевые слова: перец, хранение, антиоксиданты, малоновый диальдегид, аскорбиновая кислота, фенольные вещества, каротиноиды.

Надійшла (received) 08.03.2016

УДК 66: 533.9+004.9

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26

ХАРАКТЕРИСТИКИ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ КОБАЛЬТА ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

О. В. СЕРГЕЕВА^{1*}, А. А. ПИВОВАРОВ²

¹ Кафедра специализированных компьютерных систем, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепропетровск, УКРАИНА

² Кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепропетровск, УКРАИНА

*email: ov.sergeeva@mail.ru

АННОТАЦИЯ В данной работе рассмотрено получение высокодисперсных порошков кислородсодержащих соединений кобальта в водных средах. При использовании метода плазмохимической обработки раствора $\text{Co}(\text{OH})_2$ получены осадки размерные характеристики которых лежат в диапазоне от 8 до 110 нм. Из них более чем 80% в диапазоне 10-50 нм. Более крупные частицы представлены в виде агломератов 0,5-5 мкм. Осадки представлены в виде бета-формы гидроксида кобальта (II), CoO , Co_3O_4 , что подтверждают данные рентгеноструктурного анализа. Доказана возможность управления процессом синтеза частиц путем корректировки его параметров.

Ключевые слова: контактная неравновесная плазма, раствор, наноразмерные частицы, кислородсодержащие соединения кобальта

CHARACTERISTICS OF OXYGENATED COBALT COMPOUNDS OBTAINED BY PLASMA CHEMICAL TREATMENT OF AQUEOUS SOLUTIONS

O. V. SERGEEVA^{1*}, A. A. PIVOVAROV²

¹ Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

² Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

ABSTRACT. In this paper we consider obtaining superfine powders of oxygen-containing compounds of cobalt in aqueous media. The attractiveness of receipt of the cobalt oxide from aqueous solutions by plasma-chemical treatment is the ability for their preparation, with a minimum of processing steps. As a result of the contact of the non-equilibrium plasma of reduced pressure are transformed from cobalt hydroxide in a mixture of compounds of oxide-hydroxide type. When using by plasma treatment method of solution $\text{Co}(\text{OH})_2$ the precipitation dimensional characteristics of the precipitates are obtained which range from 8 to 110 nm. Of these, more than 80% in the range 10-50 nm. Larger particles are shown in the form of agglomerates 0,5-5 mm. The resulting precipitates were compounds which contain hydroxyl groups and water, which makes them promising in use as cathode materials in chemical current sources. X-ray analysis showed that the precipitates are shown in the form of beta-form of cobalt hydroxide (II), CoO , Co_3O_4 , and subject to processing parameters and drying the precipitation composition can be easily reproduced. By varying the application and drying conditions can be obtained the precipitates with certain characteristics. Thus, we can manage the process of synthesis of particles by adjusting the process parameters of plasma-chemical processing. The constructive design allows it and along with the ability to use very dilute solutions is advantage of this method. All of the above points to the prospects for the development of these studies.

Keywords: nonequilibrium plasma, solution of water, nanosized particles, oxygen-containing compounds of cobalt

Введение

Интерес к микро- и наноразмерным частицам обусловлен, прежде всего, широким спектром возможностей их практического применения, в которых используются специфические свойства как самих частиц, так и модифицированных ими материалов. В настоящее время наблюдается активность в области разработки катодных материалов на основе оксидных соединений. Оксиды кобальта известны как катализаторы многих химических процессов. Оксидные соединения Co в настоящее время широко применяются в технике, производстве керамики и красителей. Из способов их получения известны гидротермальный синтез в

магнитном поле [1], электрохимический синтеза оксидных соединений из водных растворов [2, 3] и т.п.

Среди способов получения микро- и наночастиц большие группы образуют методы химического [4], электрохимического [2, 3, 5], электроимпульсного [6] и плазмохимического [7, 8] синтеза, основанные на восстановлении ионов металла в растворах, в условиях, благоприятствующих последующей агрегации атомов и ионов с образованием наночастиц. Каждая из этих групп имеет свои достоинства и недостатки, но использование плазмоэлектрохимического метода (в частности метода с использованием обработки водных сред контактной низкотемпературной

неравновесной плазмой (ННТП) пониженного давления) позволяет использовать преимущества каждой из групп [10]. Привлекательность использования плазмохимического получения оксидных соединений кобальта из водных растворов состоит в возможности их получения, при минимальном количестве стадий обработки раствора и позволяющее исключить введение дополнительных лигандов [2, 3]. При этом возникает необходимость в дополнительных данных, характеризующих частицы, полученные вышеназванным способом.

Цель работы

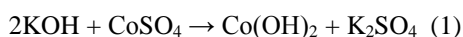
Под кислородсодержащими соединениями кобальта подразумевают в первую очередь оксиды и гидроксиды кобальта (II, III): CoO , Co_3O_4 , $\text{CoO}(\text{OH})$, $\text{Co}(\text{OH})_2$ [1, 11]. В данном исследовании рассматривался процесс получения частиц, полученных при плазмохимической обработке $\text{Co}(\text{OH})_2$ в дистиллированной воде. Целью данной работы являлось изучение процесса получения кислородсодержащими частиц в результате плазмохимической обработки жидкой среды и определение их характеристик. Для достижения поставленной цели изучался процесс получения осадка, образующегося в жидкости, проводилась оценка получившегося осадка, а также определялся состав и размеры полученных частиц.

Результаты исследований процесса получения и характеристик осадка

Исследования проводились с помощью плазмохимического реактора с водяным охлаждением. Электроды располагались следующим образом: анод – в газовой фазе, катод – заглублен в жидкость. Расстояние от поверхности до анода составляло от 4 до 7 мм. В качестве реагентов использовались: дистиллированная вода, KOH , $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

В реактор помещался $\text{Co}(\text{OH})_2$ в дистиллированной воде.

Получение $\text{Co}(\text{OH})_2$ проводилось по реакции (1) при обычной температуре и при осаждении небольшим избытком раствора KOH .



Далее с помощью центрифугирования отделялся $\text{Co}(\text{OH})_2$ и промывался дистиллированной водой.

Обработке подвергали как свежий раствор синего цвета (α -форма), так и отстоявшийся – розового (β -форма) (рис.1).



Рис. 1 – $\text{Co}(\text{OH})_2$ в воде. Синий цвет (α -форма)
Розовый (β -форма).

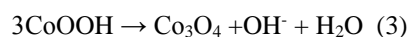
При обработке в реакторе в результате действия контактной неравновесной плазмы пониженного давления происходит превращение двухвалентного гидроксида в смесь соединений оксидно-гидроксидного типа, что проявляется в изменении цвета от светлого к темно-коричневому. При добавлении небольшого количества перекиси водорода в раствор α -форма практически сразу переходит в β -форму, а при плазмохимической обработке происходит появление коричневого оттенка уже через 15 с обработки. Таким образом, гидроокись кобальта окисляется с изменением цвета окраски из розового в коричневый. Окисление ускоряется добавлением перекиси водорода.

При этом, как обычно, процесс начинается с катодного пятна на разделе границы фаз газ – жидкость. Без добавления перекисных соединений раствор последовательно меняет окраску с синей на зеленую с последующим переходом к темно-коричневой и черной. Данное изменение окраски изображено на рис. 2.



Рис. 2 – Изменение окраски при обработке жидкой фазы ННТП. Продолжительность обработки 1-90с; 2-120с; 3-150с; 4-180с; 5-210с; 6-240с; 7-300; 8-360; 9-900с.

Примерный механизм процесса можно описать в виде реакций (2 - 5):



Полученный осадок, после окончания обработки отделяли от жидкости центрифугированием и затем сушили при комнатной температуре.

Осадки имели диапазон окраски от серо-зеленого до бурого и черного, в зависимости от времени обработки и введения добавок, что позволяет предположить наличие различных оксидных соединений кобальта (рис. 2). Например, Co_3O_4 , CoO .

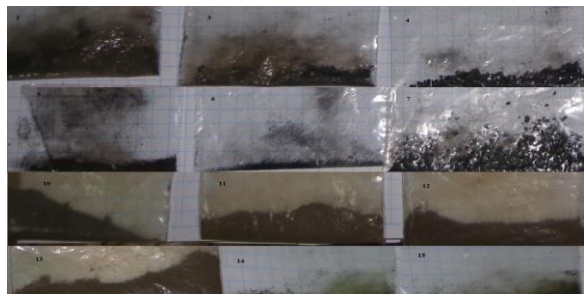


Рис. 3 – Внешний вид сухих осадков.

Наличие OH-группы указывает на возможное присутствие гидроксидов. Это подтверждают результаты рентгеноструктурного анализа, выполненного на установке ДРОН-3, показавшие наличие бета-формы гидроксида кобальта (II), CoO , Co_3O_4 . На рис. 4 приведены характеристики одного из осадков, полученного после обработки $\text{Co}(\text{OH})_2$ в дистиллированной воде в течение 180с.

Количество оксидных соединений растет при увеличении продолжительности обработки.

Содержание кобальта в исследуемом осадке определяли рентгенофлуоресцентным анализом. Термогравиметрический анализ был выполнен на оборудовании “Дериватограф – С”. Навеска составляла 40 мг, скорость нагрева $5^\circ\text{C}\cdot\text{мин}^{-1}$, общее количество воды и OH-групп оценивали, с помощью

термогравиметрических исследований исходя из потери веса в температурном интервале $20\text{--}600^\circ\text{C}$.

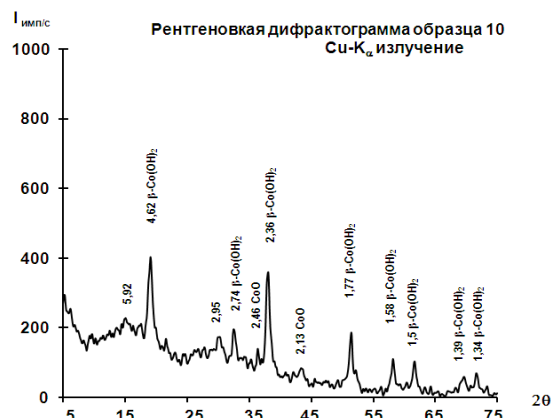


Рис. 4 – Рентгеновская дифрактограмма. Продолжительность обработки образца 180с.

Результаты анализа приведены в таблице. Показано, что исследуемые осадки являются соединениями, в которых содержится вода и гидроксильные группы, что делает их перспективными в использовании в качестве катодных материалов в химических источниках тока. Рентгеноструктурный анализ показал, что при соблюдении параметров обработки и сушки состав осадков легко воспроизводится. Также очевидно, что полученные результаты близки к полученным авторами работ [2 - 3], но при этом не требуют введения в раствор лиганда NH_4F .

Таблица. Состав кислородсодержащих соединений кобальта в зависимости от условий его получения

Состав после сушки, % масс				Длительность обработки раствора ННТП, с	Добавки	Цвет раствора перед обработкой	Цвет осадка	
Co	O	OH	H ₂ O				До сушки	После сушки
72.1	16	3	8,8	300	H ₂ O ₂ , 3%- 15мл/л	синий (α-форма Co(OH) ₂)	темно-коричневый	темно-коричневый
71.9	17	5	6,1	900	H ₂ O ₂ , 3%- 15мл/л	— // —	черный	черный
67,2	17	6,8	9,0	180	-	розовый (β-форма Co(OH) ₂)	светло-коричневый	светло-коричневый
67,1	16	7,1	9,5	120	-	— // —	светло-коричневый	светло-коричневый
68,6	16	7,3	8,1	300	-	— // —	светло-коричневый	светло-коричневый
48,1	22,9	12	16	150	-	синий (α-форма Co(OH) ₂)	зеленый	серо-зеленый
47,2	26,8	12	14	100	-	— // —	зелено-коричневый	коричнево-серый
47,9	24,1	13	15	120	-	— // —	зелено-коричневый	коричневый
48,4	26,6	12	12	240	-	— // —	коричневый	коричневый

Снимки частиц осадка, представлены на рис. 5

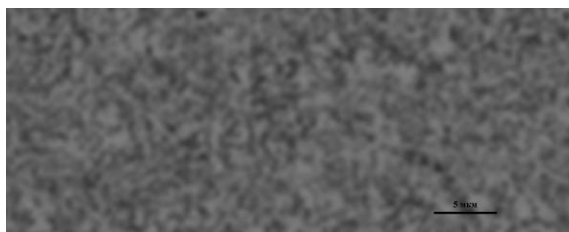


Рис. 5 – Частицы полученного осадка

Обсуждение результатов

Анализ результатов исследования литературных источников позволяют выделить как наиболее перспективный для получения обводненные соединения, в которых содержится вода и гидроксильные группы, а также CoO , Co_3O_4 . При заданных давлении и силе тока процесса, в реакторе образуются частицы, представленные на рис. 2 - 6.

На рис. 6 представлены размерные характеристики частиц, полученные при обработке данных рентгеноструктурного анализа. Можно отметить, что более чем 80% частиц лежат в диапазоне 10 - 50 нм. Однако, учитывая снимки частиц (рис. 5) можно говорить о размерах частиц большей частью входящих в более крупные агрегаты, размерность которых 0,5 - 5 мкм.

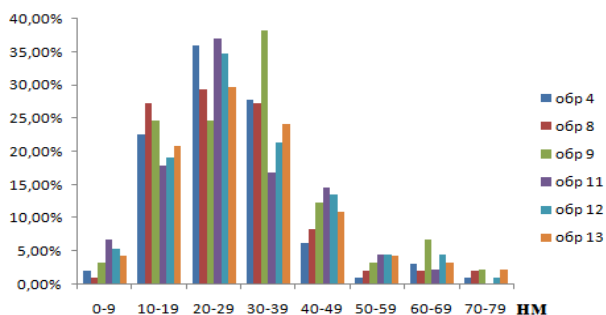


Рис. 6 – Размерные характеристики частиц, осадков, полученных при обработке раствора содержащего $\text{Co}(\text{OH})_2$ контактной ННТП

Выводы

Плазмохимическим методом синтезированы обводненные соединения, в которых содержится вода и гидроксильные группы, а также CoO , Co_3O_4 .

На основании проведенных исследований можно отметить, что величина полученных частиц осадка может изменяться в достаточно широких пределах. Варьируя параметры процесса плазмохимической обработки можно управлять получением каждого продукта. Изменяя условия сушки можно получать осадки с определенными характеристиками. Все вышперечисленное указывает на перспективность данных исследований для

разработок, включающих в себя разработку химических источников тока. Таким образом, возможно управление процессом синтеза частиц путем корректировки параметров процесса плазмохимической обработки, что благодаря его конструктивному оформлению не вызывает затруднений и является преимуществом данного метода.

Список литературы

1. **Rahman, M. M.** Hydrothermal synthesis of nanostructured Co_3O_4 materials under pulsed magnetic field and with an aging technique, and their electrochemical performance as anode for lithium-ion battery / **M. M. Rahman, J. Wang, X. Deng, Y. Li, H. Liu** // *Electrochimica Acta*. – 2009. – Vol. 55. – № 2. – P. 504-510. –doi:10.1016/j.electacta.2009.08.068.
2. **Иванова, Н. Д.** Электрохимический синтез наноструктурных оксидов Cr, Mo, Co и их свойства / **Н. Д. Иванова, Е. И. Болдырев, О. А. Стадник** и др. // *Доповіді НАН України*. – 2009. – № 2. – С. 131-134.
3. **Стадник, О. А.** Фотоэлектрохимические и электрокаталитические свойства нанодисперсных соединений на основе оксидов кобальта, синтезированных электрохимическим методом / **О. А. Стадник, В. С. Воробец, Г. Я. Колбасов** // *Украинский химический журнал*. – 2008. – т. 74, № 3. – С. 61-63.
4. **Ершов, Б. Г.** Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства / **Б. Г. Ершов** // *Российский химический журнал*. – 2001. – Т. XLV, № 3. – С. 20-30.
5. **Tronel, Fr.** Study of the electro-oxidation of CoO and $\text{Co}(\text{OH})_2$ at 90 °C in alkaline medium / **Fr. Tronel, L. Guerlou-Demourgues, L. Goubault, P. Bernard, Cl. Delmas** // *Journal of Power Sources*. – 2008. – Vol. 179. – P.837-847. – doi:10.1016/j.jpowsour.2008.01.005.
6. **Lee, W. M.** Metal/Water chemical reaction coupled pulsed electrical discharge / **W. M. Lee** // *Journal of Applied Physics*. – 1991. – Vol. 69, № 10. – P. 6945-6951. – doi:10.1063/1.348931.
7. **Рутберг, Ф. Г.** Исследование физико-химических свойств наночастиц, полученных с помощью импульсных электрических разрядов в воде / **Ф. Г. Рутберг, В. В. Гусаров, В. А. Коликов** и др. // *Журнал технической физики*. – 2012. – Т. 82, № 12. – С. 33-36.
8. **Лепешев, А. А.** Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокмозитов / **А. А. Лепешев, А. В. Ушаков, И. В. Карпов** // Красноярск: Сибирский федеральный университет. – 2012. – 328 с.
9. **Samukawa, S.** The 2012 Plasma Roadmap / **S. Samukawa, M. Hori, S. Rauf, K. Tachibana, P. Bruggeman, G. Kroesen** // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2012. – Vol. 45, № 25. – P. 253001. – doi:10.1088/0022-3727/45/25/253001.
10. **Сергеева, О. В.** Получение микро- и наноразмерных соединений меди путем плазмохимической обработки растворов / **О. В. Сергеева** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2014. – № 5/3 (19). – С. 19-22. – doi:10.15587/2312-8372.2014.27943.
11. **Tang, C. W.** Characterization of cobalt oxides studied by FT-IR, Raman, TPR and TG-MS / **C. W. Tang, C. B.**

Wang, S. H. Chien // *Thermochimica Acta.* – 2008. – Vol. 473. – P. 68 - 73. – doi:10.1016/j.tca.2008.04.015

Bibliography (transliterated)

1. Rahman, M. M., Wang, J., Deng, X., Li, Y., Liu, H. (2009). Hydrothermal synthesis of nanostructured Co₃O₄ materials under pulsed magnetic field and with an aging technique, and their electrochemical performance as anode for lithium-ion battery. *Electrochimica Acta*, 2009, **55**(2), 504-510, doi:10.1016/j.electacta.2009.08.068.
2. Ivanova, N. D., Boldyrev, E.I., Stadnik, O. A. Elektrokhimicheskiy sintez nano-strukturnykh oksidov Cr, Mo, Co i ikh svoystva [Electrochemical synthesis of nanostructured oxides of Cr, Mo, Co and their properties]. *Dopovidi NAN Ukraini [Extras. National Academy of Sciences of Ukraine]*, 2009, **2**, 131-134.
3. Stadnik, O. A., Vorobets, V. S., Kolbasov, G. Y. Fotoelektrokhimicheskie i elektrokataliticheskie svoystva nanodispersnykh soedineniy na osnove oksidov kobal'ta, sintezirovannykh elektrokhimicheskim metodom [Photoelectrochemical and electrocatalytic properties of nano-dispersed compounds based on cobalt oxide synthesized by electrochemical method]. *Ukrainskiy khimicheskii zhurnal [Ukr. Chem.]*, 2008, **74**(3), 61-63.
4. Ershov, B. G. Nanochastitsy metallov v vodnykh rastvorah: elektronnye, opticheskie i kataliticheskie svoystva. *Rossiiskii himicheskii zhurnal*, XLV, 2001, **3**, 20-30.
5. Tronel, Fr., Guerlou-Demourgues, L., Goubault, L., Bernard P., Delmas, Cl. Study of the electro-oxidation of CoO and Co(OH)₂ at 90 °C in alkaline medium. *Journal of Power Sources*. 2008, **179**, 837-847, doi:10.1016/j.jpowsour.2008.01.005.
6. Lee, W. M. Metal/Water chemical reaction coupled pulsed electrical discharge. *Journal of Applied Physics*, 1991, **69**(10), 6945-6951, doi:10.1063/1.348931.
7. Rutberg, F. G., Gusarov, V. V., Kolikov, V. A. et al. Issledovanie fiziko-himicheskikh svoistv nanochastits, poluchennykh s pomoshch'yu impul'snykh elektricheskikh razriadov v vode [Study of physico-chemical properties of the nanoparticles produced by pulsed electrical discharge in water]. *Zhurnal tehnicheckoi fiziki [Technical Physics]*, 2012, **82**(12), 33-36.
8. Lepeshev, A. A., Ushakov, A. V., Karpov, I. V. Plazmohimicheskii sintez nanodispersnykh poroshkov i polimernykh nanokompozitov [Plasma chemical synthesis of nanopowders and polymer nanocomposites]. *Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'niy universitet*, 2012, 328 p.
9. Samukawa, S., Hori, M., Rauf, S., Tachibana, K., Bruggeman, P., Kroesen, G. et al. (2012, June 7). The 2012 Plasma Roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2012, **45**(25), 253001, doi:10.1088/0022-3727/45/25/253001.
10. Sergeeva, O. V. Obtaining of micro- and nanoscale copper compounds by plasma-chemical treatment of solutions. *Technology Audit And Production Reserves*, 2014, **5**(3(19)), 19-22, doi:10.15587/2312-8372.2014.27943.
11. Tang, C. W., Wang, C. B., Chien, S. H. Characterization of cobalt oxides studied by FT-IR, Raman, TPR and TG-MS. *Thermochimica Acta*. 2008, **473**, 68 - 73, doi:10.1016/j.tca.2008.04.015.

Сведения об авторах (About authors)

Сергеева Ольга Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, доцент кафедры специализированных компьютерных систем, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: ov.sergeeva@mail.ru

Sergeyeva Olga – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Affiliation, Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, ov.sergeeva@mail.ru

Пивоваров Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: apivo@ua.fm

Pivovarov Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: apivo@ua.fm.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сергеева, О. В. Характеристики кислородсодержащих соединений кобальта полученных плазмохимической обработкой водных растворов / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров** // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 176-180. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26.

Please cite this article as:

Sergeyeva, O., Pivovarov, A. Characteristics of oxygenated cobalt compounds obtained by plasma chemical treatment of aqueous solutions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 176-180, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сергеева О. В. Характеристики кисень вмісних з'єднань кобальту які отримано плазмохімічною обробкою водних розчинів / **О. В. Сергеева, О. А. Пивоваров** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 176-180. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26.

АНОТАЦІЯ У даній роботі розглянуто отримання вискодисперсних порошків кисеньвмісних з'єднань кобальту в водних середовищах. При використанні методу плазмохімічної обробки розчину Co(OH)₂ отримані осади розмірні характеристики яких лежать в межах від 8 до 110 нм. З них більш ніж 80% в межах 10-50 нм. Більші частинки представлені у вигляді агрегатів 0,5-5 мкм. Осади представлено у вигляді бета-форми гідроксиду кобальту (II), CoO, Co₃O₄, що підтверджують результати рентгеноструктурного аналізу. Доведена можливість керування процесом синтезу частинок шляхом коригування його параметрів.

Ключові слова: контактна нерівноважна плазма, розчин, нанорозмірні частинки, кисеньвмісні з'єднання кобальту

Надійшла (received) 15.03.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ ПЛОДІВ ЯБЛУНІ

М. Є. СЕРДЮК*, Н. А. ГАПРИНДАШВІЛІ

Кафедра ТПЗПСГ, ТДАТУ, м. Мелітополь, УКРАЇНА
*email: igorserduk@mail.ru

АНОТАЦІЯ За допомогою інтерполяції експериментальних даних за методом Лагранжа була визначена збереженість плодів яблуни з виходом стандартної продукції не менше 90%. Отримані данні свідчать, що середня розрахункова збереженість плодів яблуни була децю нижчою порівняно з фактично отриманою. Максимальною збереженістю характеризувалися плоди яблуни сорту Флоріна, а мінімальною – сорту Голден Делішес. Основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуни є середні максимальні температури останнього місяця формування плодів.

Ключевые слова: збереженість, погодні умови, яблуна, втрати маси, стандартна продукція, хвороби, антиоксиданти.

DEFINITIONS OF APPLE FRUITS PRESERVATION

М. SERDYUK*, N. GAPRINDASHVILI

Department of technology of processing and storage of agricultural products, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, UKRAINE

ABSTRACT The study devoted to the definition of apple fruit preservation with the output of standard products above 90%. The four apple fruit varieties were selected for studies: Idared, Golden Delicious, ReinetteSimirenko, Florina. The fruits were collected in the harvesting stage of maturity from the orchard entered the trade fruiting season with the normal yield and good phytosanitary condition. The temperature in the storage chamber was $0\pm 1^{\circ}\text{C}$, relative humidity 90 ... 95%. The methods of variation statistics were used in the data analysis and processing and model prediction value of the final result. By using interpolation method Lagrange in the evaluation of experimental data the survival time of apple fruits was accurately determined with the output of standard production above 90%. The obtained data show that the average estimated survival time of apple fruit was slightly lower compared with the actually received. A maximum preservation characterized the apple fruits of variety Florina and minimal - the Golden Delicious variety. The main weather factor that has the most significant impact on the safety of apple fruits is average of maximum temperature during last month of the fruit formation. The dominant influence on the preservation of ReinetteSimirenko apple fruits was a ratio phenol / polyphenol oxidase activity (Ph / PHO), while antioxidant enzymes are crucial for the preservation of Idared and Florina varieties. The excessive weight losses during storage of the fruits of apple varieties Golden Delicious caused an imbalance of antioxidant defense system and significantly reduce survival time.

Keywords: survival time, weather, apple, weight loss, standard products, disease, antioxidants.

Вступ

Плоди яблуни вважаються дієтичним продуктом, який володіє не тільки поживною, а й лікувально-профілактичного дією. Поживні якості яблук обумовлені вмістом вуглеводів, кислот, фенольних речовин, ферментів, тощо. У їх складі виявлено понад десяти вітамінів, необхідних для людини [1, 2].

Отже для забезпечення населення країни плодами яблуни протягом цілого року у межах науково-обґрунтованих норм необхідно не тільки збільшити їх виробництво, а й значно скоротити втрати при зберіганні [3].

Особлива цінність плодів яблуни обумовлена здатністю зберігатися протягом тривалого періоду з максимальним збереженням якості [4].

Під якістю плодів розуміється їх біологічна цінність, яка визначається хімічним складом і товарністю, що характеризується виходом стандартної продукції та втратами маси. В багатьох роботах зазначено, що на формування якісних показників

яблук впливають багато факторів: умови вирощування, агротехнічні заходи, метеорологічні умови вегетаційного періоду, ступінь стиглості під час знімання, стійкість сортів до хвороб і шкідників, умови зберігання тощо [5 - 9].

У виробничих умовах раціональним та економічно обґрунтованим вважається термін зберігання плодів з виходом стандартної продукції не менше 90%. З погляду на це, термін зберігання плодів з загальними втратами не більше 10% в практиці зберігання прийнято називати збереженістю плодів.

На сьогоднішній день визначення раціональної збереженості плодів є достатньо складною задачею. Справа в тому, що перегляди стану плодів – контрольні ревізії – проводять під час зберігання зимових сортів яблук на початку процесу – через 2...3 місяці, а наприкінці – щомісяця. Частіші ревізії сприяють збільшенню теплопритоків до холодильної камери та порушенню температурного режиму зберігання. Таким чином виникає ситуація, коли вихід стандартної продукції під час передостанньої ревізії перевищує 90 %, а під час останньої зменшується до

70...80%, що значно зменшує економічну ефективність зберігання.

З погляду на це, питання визначення раціональної збереженості плодів яблуни є досить актуальним. Розроблена раніше методика прогнозування величини втрат маси та швидкості зростання кількості фізіологічних розладів та мікробіологічних захворювань при зберіганні плодів яблуни дають змогу вирішити цю задачу [10].

Мета роботи

За допомогою методів інтерполяції отриманих експериментальних даних визначити збереженість плодів яблуни з виходом стандартної продукції не менше 90%.

Викладення основного матеріалу

Дослідження проводилися у 2003-2012 роках в Мелітопольському районі Запорізької області. Для дослідження були обрані плоди яблуни чотирьох сортів, які внесені до Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні: Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренко, Флоріна. Плоди були зібрані у знімальній стадії стиглості з садів, що вступили у пору товарного плодоношення, з нормальної урожайністю, та добрим фіто санітарним станом.

На зберігання закладалася продукція 1 товарного сорту. Температура у камері зберігання плодів $0 \pm 1^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 90...95%.

При аналізі та обробці експериментальних даних і прогнозуванні кінцевого результату використовували методи варіаційної статистики: проводили математичну обробку, парний і множинний кореляційний і регресивний аналізи - за Б. А. Доспеховим [11], використовуючи комп'ютерні програми "MS office Excel 2007", пакет "Statistica 6" і персональний комп'ютер.

Результати та їх обговорення

За результатами наших досліджень середня тривалість зберігання плодів яблуни становила 214 днів з виходом стандартної продукції 85%. Мінливість аналізованого показника оцінювалась як середня ($V=19,1\%$).

Максимальною і найбільш стабільною тривалістю зберігання з середнім виходом стандартної продукції 88,6%, характеризувалися плоди яблуни сорту Флоріна (рис. 1).

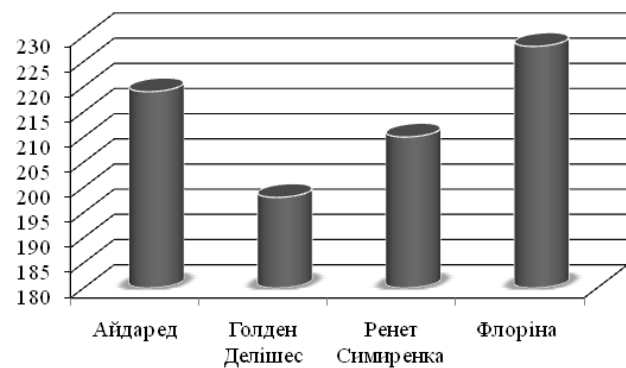


Рис. 1 – Тривалість зберігання плодів яблуни, днів (середні 2003 – 2012 рр.)

Найменша тривалість зберігання зафіксована для плодів яблуни сорту Голден Делішес. При цьому вихід стандартної продукції плодів даного сорту становив приблизно 85%. Більш високою мінливістю даного показника відрізнялися плоди сортів Айдаред та Ренет Симиренко.

З метою визначення збереженості плодів яблуни досліджуваних сортів з виходом стандартної продукції 90% був проведений регресійний аналіз та за його результатами отримані поліноміальні залежності 3...6 порядку. Але встановити збереженість плодів за такими залежностями є досить складною задачею, а отримані результати мають значну похибку. Тому, для встановлення точних результатів нами була проведена інтерполяція даних

$$Y = Y_1 \frac{(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)} + Y_2 \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)} + Y_3 \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_1)(x_3-x_2)}$$

за методом Лагранжа [12].

Для інтерполяції за експериментальними даними були обрані 3 суміжні точки, між якими, ймовірно, буде знаходитися шукане значення збереженості плодів. Інтерполяцію виконували за формулою Лагранжа, яка має вигляд:

Після перетворення даної формули отримували рівняння виду: $Y = ax^2 + bx + c$, та розв'язували його при $Y=10$. Результати розрахунків представлені на рисунку 2.

Наведені дані свідчать про те, що середня розрахункова збереженість плодів яблуни була дещо нижчою порівняно з фактично отриманою. Максимальною збереженістю характеризувалися плоди яблуни сорту Флоріна, а мінімальною – сорту Голден Делішес. Плоди яблуни сорту Голден Делішес мали і найбільшу мінливість даного показника ($V=28,5\%$).

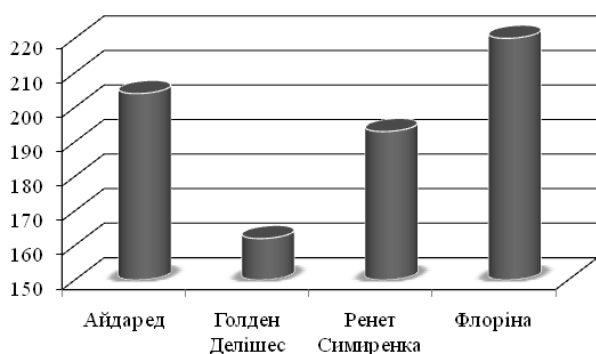


Рис. 2 – Середня збереженість плодів яблуні, встановлена інтерполяцією за методом Лагранжа, діб (середнє 2003 – 2012 рр.)

Загальновідомо, що на збереженість істотний вплив мають як погодні умови вегетаційного періоду, так і компоненти хімічного складу, накопичені плодом за період вегетації.

Для встановлення погодних чинників, які мають найбільший вплив на збереженість плодів яблуні були проведені множинний кореляційний і регресійний аналізи. Результатами кореляційного аналізу встановлено, що збереженість плодів яблуні сорту Айдаред сильно корелює з 6 погодними чинниками, сорту Голден Делішес – з 2, сорту Ренет Смиренка – з 7, а сорту Флоріна – з 3 погодними чинниками (рис.3). Середня збереженість плодів яблуні сильно корелює з двома погодними чинниками: середні максимальні температури ($r=0,87$) та середні температури останнього місяця формування плодів ($r=0,68$).

За результатами множинного регресійного аналізу було отримано наступне рівняння залежності збереженості плодів яблуні від погодних чинників:

Айдаред

$$Y = 0,162X_1 - 0,085X_2 + 14,381X_3 + 10,362X_4 - 4,408X_5 - 3,099X_6 - 420,454$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – САТ за вегетаційний період, °С (в межах від 3111 до 3622 °С),

X_2 - СЕТ вище 10°С, °С, (в межах від 1515 до 2268 °С),

X_3 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С),

X_4 – середні мінімальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 11 до 16 °С),

X_5 – середні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 17 до 21 °С),

X_6 – середня ВВП останнього місяця формування плодів, % (в межах від 58 до 74 %)

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,96, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,92, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,77, критерій $F(6,3) = 6,0159$, рівень значимості – 0,08467, при стандартній помилці оцінки – 19,231.

Після виключення з рівняння чинників, які у незначній мірі впливають на результат, а також колінеарних, підсумкове рівняння прийняло вигляд:

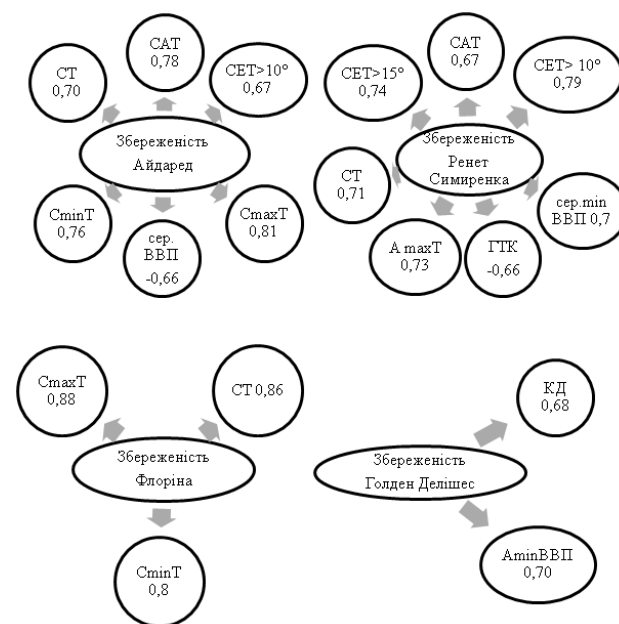


Рис. 3 – Кореляційні зв'язки між збереженістю плодів яблуні та погодними чинниками, середні 2003 – 2012рр.: САТ – сума активних температур за вегетаційний період, °С; СЕТ>10° - сума ефективних температур вище 10°С, °С; СЕТ>15°С – сума ефективних температур вище 15°С, °С; ГТК – гідротермічний коефіцієнт за вегетаційний період; КД – кількість днів з опадами більше 1 мм; умови останнього місяця формування плодів: СТ – середні температури, °С; SmaxT – середні максимальні температури, °С; SminT – середні мінімальні температури, °С; AmaxT – абсолютні максимальні температури, °С; сер. ВВП – середня ВВП; AminВВП – абсолютна мінімальна ВВП.

$$Y = 0,117X_1 + 16,113X_3 - 607,927,$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – САТ за вегетаційний період, °С (в межах від 3111 до 3622 °С),

X_3 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,91, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,82, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,77, критерій $F(2,7) = 15,896$, рівень значимості – 0,0025, при стандартній помилці оцінки – 19,306.

Приватні коефіцієнти еластичності обох факторів більше 1 (фактор $X_1 = 1,93$, $X_3 = 2,04$), що свідчить про їх істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Айдаред з виходом стандартної продукції не менше 90%.

Голден Делішес

$$Y = 1,7613X_1 + 5,0706X_2 - 684308,$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – кількість днів з опадами більше 1 мм, днів, (в межах від 54 до 94),

X_2 – абсолютна мінімальна ВВП останнього місяця формування плодів, %, (в межах від 13 до 30).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,86, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,74, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,67, критерій $F(2,7) = 9,9874$, рівень значимості – 0,0089, при стандартній помилці оцінки – 27,364.

Приватні коефіцієнти еластичності фактору X_1 менше 1 (0,04), а фактору X_2 – більше 1 (1,64), що свідчить про його більш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Голден Делішес з виходом стандартної продукції не менше 90%.

Отже, основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Голден Делішес є абсолютна мінімальна відносна вологість повітря останнього місяця формування плодів.

Ренет Симиренко

$$Y = 0,054X_2 - 0,061X_1 - 0,056X_3 - 76,164X_4 + 23,481X_5 - 6,390X_6 + 1,974X_7 - 237,083$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – САТ за рік, °С (в межах від 3430 до 4281 °С),

X_2 – СЕТ вище 10°С, °С, (в межах від 1515 до 2268 °С),

X_3 – СЕТ вище 15°С, °С, (в межах від 670 до 1300 °С),

X_4 – ГТК за вегетаційний період, в.о., (в межах від 0,39 до 1,22 в.о.),

X_5 – абсолютні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 31 до 40 °С),

X_6 – середні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 17 до 21 °С).

X_7 – середня мінімальна ВВП останнього місяця формування плодів, %, (в межах від 35 до 48 %)

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,88, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,77, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,13, критерій $F(7,2) = 0,96$, рівень значимості – 0,59801, при стандартній помилці оцінки – 42,931.

Підсумкове рівняння для даного сорту має вигляд:

$$Y = 18,252X_5 - 76,953X_4 - 219,787,$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_4 – ГТК за вегетаційний період, в.о., (в межах від 0,39 до 1,22 в.о.),

X_5 – абсолютні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 31 до 40 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,87, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,75, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,68, критерій $F(2,7) = 10,445$, рівень значимості – 0,00792, при стандартній помилці оцінки – 24,011.

Приватні коефіцієнти еластичності фактору X_4 менше 1 (0,29 в.о.), а фактору X_5 – більше 1 (2,41), що свідчить про його більш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Ренет Симиренко з виходом стандартної продукції не менше 90%.

Отже, основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Ренет Симиренко є абсолютні температури останнього місяця формування плодів.

Флоріна

$$Y = 17,596X_1 + 15,552X_2 + 1,416X_3 - 472,239$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С),

X_2 – середні мінімальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 11 до 16 °С),

X_3 – середні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 17 до 21 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,95, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,90, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,85, критерій $F(3,6) = 18,036$, рівень значимості – 0,00209, при стандартній помилці оцінки – 15,236.

Підсумкове рівняння має вигляд:

$$Y = 18,257X_1 + 16,375X_2 - 472,888,$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С),

X_2 – середні мінімальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 11 до 16 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,95, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,90, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,87, критерій $F(2,7) = 31,436$, рівень значимості – 0,00032, при стандартній помилці оцінки – 14,131.

Приватний коефіцієнт еластичності фактору X_2 менше 1 (0,99), а фактору X_1 – більше 1 (2,14), що свідчить про його більш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Флоріна з виходом стандартної продукції не менше 90%.

Отже, основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуні сорту Флоріна є середні максимальні температури останнього місяця формування плодів.

Середнє по яблудкам

$$Y = 19,004X_1 - 1,776X_2 - 260,926$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С),

X_2 – середні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 17 до 21 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,87, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,76,

скорегований коефіцієнт детермінації – 0,69, критерій $F(2,7) = 10,844$, рівень значимості – 0,00718, при стандартній помилці оцінки – 15,568.

Середньосортове підсумкове рівняння має вигляд:

$$Y = 17,716X_1 - 262,125,$$

де Y – збереженість плодів яблуні, діб,

X_1 – середні максимальні температури останнього місяця формування плодів, °С, (в межах від 23 до 28 °С).

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції (R) дорівнював 0,87, коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,76, скорегований коефіцієнт детермінації – 0,72, критерій $F(1,8) = 24,509$, рівень значимості – 0,001129, при стандартній помилці оцінки – 14,625.

Отже, основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуні є середні максимальні температури останнього місяця формування плодів.

Для встановлення визначального чинника серед компонентів хімічного складу та якісних показників плодів у формуванні їх збереженості, була проведена комплексна інтегральна оцінка та визначені значення пріоритетів кожного показника.

Комплексна інтегральна оцінка виконувалась за методом аналізу ієрархій Т. Саати [13]. Матриці парних порівнянь були розроблені на основі коефіцієнтів кореляції між компонентами хімічного складу плодів та їх збереженістю. Отримані в результаті розрахунків вектори пріоритетів наведені на рисунку 4.

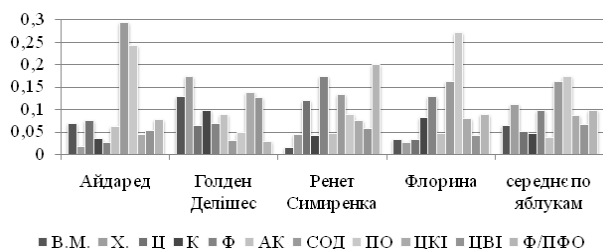


Рис. 4 – Вектори пріоритетів компонентів хімічного складу та показників якості плодів яблуні:

$V.M.$ – втрати маси, X – хвороби, C – цукри, K – органічні кислоти, AK – аскорбінова кислота, $СОД$ – активність супероксиддисмутази, $ПО$ – активність пероксидази, $ЦКІ$ – цукрово-кислотний індекс, $ЦВІ$ – цукрово-вітамінний індекс, $Ф/ПФО$ – феноли/поліфенолоксидаза.

Отримані пріоритети свідчать, про домінуючий вплив показника феноли/поліфенолоксидаза (Ф/ПФО) на збереженість плодів яблуні сорту Ренет Симиренка. Вагомий вплив на аналізований показник для плодів даного сорту мають також і низькомолекулярні антиоксиданти (феноли (Ф), цукри (Ц)) та активність СОД. Для збереженості плодів яблуні сортів Флоріна і Айдаред визначальною є дія антиоксидантних ферментів, причому для яблук сорту

Флоріна – домінуючою є активність пероксидази (ПО), а сорту Айдаред – СОД. Крім того, збереженість яблук сорту Флоріна значною мірою залежить від вмісту фенольних сполук та вільних кислот.

Що стосовно плодів яблуні сорту Голден Делішес, то їх збереженість в першу чергу залежить від рівня мікробіологічних захворювань та фізіологічних розладів, які є наслідком надмірних втрат маси.

Таким чином, можна зробити висновки, що розраховані вектори пріоритетів впливу компонентів хімічного складу та показників якості на збереженість плодів яблуні цілком узгоджуються з розрахованими векторами пріоритетів антиоксидантного статусу (рис.5) [14].

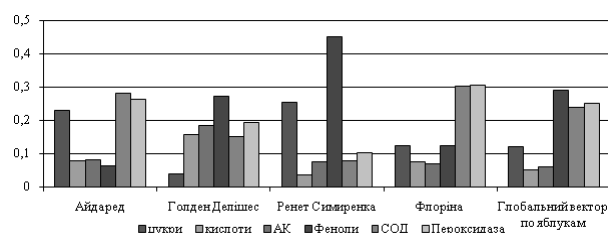


Рис. 5 – Вектори пріоритетів компонентів антиоксидантної системи плодів яблуні

Виключення становлять плоди яблуні сорту Голден Делішес, в яких надмірні втрати маси викликають розбалансування антиоксидантної системи захисту, послаблюють природну стійкість до захворювань та істотно знижують збереженість.

Висновки

1. Інтерполяція експериментальних даних за методом Лагранжа дала змогу точно визначити збереженість плодів яблуні з виходом стандартної продукції не менше 90%.
2. Основним погодним чинником, який має найбільш істотний вплив на збереженість плодів яблуні є середні максимальні температури останнього місяця формування плодів.
3. Домінуючий вплив на збереженість плодів яблуні сорту Ренет Симиренка має показник, який характеризує відношення вмісту фенолів до активності поліфенолоксидази (Ф/ПФО), натомість для сортів Флоріна і Айдаред визначальною є дія антиоксидантних ферментів.
4. Надмірні втрати маси при зберіганні плодів яблуні сорту Голден Делішес викликають розбалансування їх антиоксидантної системи захисту та істотно знижують збереженість.

Список литературы

Bibliography (transliterated)

- 1 **Гурин, А. В.** Предварительная оценка влияния способа хранения на показатели сохраняемости плодов яблони белорусского ассортимента и их биохимический состав / **А. В. Гурин** // *Вести национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук.* – 2005. – № 5. – С. 150-152.
- 2 **Fourie, P. C.** Fruit and human nutrition / **P. C. Fourie** // *Fruit Processing.* – 1996. – P. 20-39. – doi:10.1007/978-1-4615-2103-7_2.
- 3 **Jijakli, M. H.** State of the Art and Challenges of Post-harvest Disease Management in Apples / **M. H. Jijakli, P. Lepoivre** // *Fruit and Vegetable Diseases.* – 2004. – № 1. – P. 59-94. – doi:10.1007/0-306-48575-3_3.
- 4 **Jan, I.** Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars / **I. Jan, A. Rab** // *J. of Animal & Plant Sciences.* – 2012. – № 22(3). – P. 708-714.
- 5 **El-Ramady, H. R.** Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage / **H. R. El-Ramady, É. Domokos-Szabolcsy, N. A. Abdalla, H. S. Taha, M. Fári** // *Sustainable Agriculture Reviews.* – 2015. – № 15. – P. 65-152. – doi:10.1007/978-3-319-09132-7_2.
- 6 **Paul, V.** Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability-a review/ **V. Paul, R. Pandey** // *J. of Food Science and Technology.* – 2014. – № 51. – P. 1223-1250. – doi:10.1007/s13197-011-0583-x.
- 7 **Прісс, О. П.** Скорочення пошкодження холодом під час зберігання томатів з тепловою обробкою антиоксидантами / **О. П. Прісс** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий.* – 2015. – № 1/6 (73). – С. 38-43. – doi:10.15587/1729-4061.2015.37171.
- 8 **Mitropoulos, D.** “Delicious Pilafa” apple density changes as a quality index of mass loss degradation during storage / **D. Mitropoulos, G. Lambrinos** // *J. of Food Quality.* – 2007. – № 30. – P. 527-537. – doi:10.1111/j.1745-4557.2007.00140.x.
- 9 **Paull, R. E.** Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality / **R. E. Paull** // *Postharvest Biology and Technology.* – 1999. – V. 15. Issue 3. – P. 263-277. – doi:10.1016/0925-5214(98)00090-8.
- 10 **Сердюк, М. Є.** Прогнозування втрат маси плодів яблуні під час холодильного зберігання / **М. Є. Сердюк, І. Г. Величко, С. С. Байберова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62 (1171). – С. 160-165. – ISSN 2079-5459.
- 11 **Доспехов, Б. А.** Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / **Б. А. Доспехов.** – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
- 12 **Половко, А. М.** Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации / **А. М. Половко, П. Н. Бутусов.** – СПб.: БХВ – Петербург. – 2004. – 320 с.
- 13 **Saati, T.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / **Т. Саати.** – М.: Радио и связь. – 1993. – 226 с.
- 14 **Сердюк, М. Є.** Окисний стрес і антиоксидантна система захисту плодів яблуні / **М. Є. Сердюк, С. С. Байберова** // *Харчова наука та технологія.* – 2015. – № 31. – С. 79 - 85.
- 1 **Gurin, A. V.** Predvaritel'naja ocenka vlijanija sposoba hranenija na pokazateli sohranjaemosti plodov jabloni belorusskogo assortimentu i ih biohimicheskij sostav [Preliminary assessment of the effect of storage method on apple fruits indicators keeping the Belarusian assortment and their biochemical composition] *Vesti nacional'noj akademii nauk Belarusi. Serija agrarnyh nauk [Conduct of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Agrarian Sciences],* 2005, **5**, 150-152.
- 2 **Fourie, P. C.** Fruit and human nutrition. *Fruit Processing.* 1996. 20-39, doi:10.1007/978-1-4615-2103-7_2.
- 3 **Jijakli, M. H., Lepoivre P.** State of the Art and Challenges of Post-harvest Disease Management in Apples. *Fruit and Vegetable Diseases,* 2004, **1**, 59-94, doi:10.1007/0-306-48575-3_3.
- 4 **Jan, I., Rab, A.** Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars. *J. of Animal & Plant Sciences,* 2012, **22(3)**, 708-714.
- 5 **El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, E., Abdalla, N. A., Taha, H. S., Fári, M.** Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. *Sustainable Agriculture Reviews,* 2015, **15**, 65-152, doi:10.1007/978-3-319-09132-7_2.
- 6 **Paul, V., Pandey, R.,** Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability-a review. *J. of Food Science and Technology,* 2014, **51**, 1223-1250, doi:10.1007/s13197-011-0583-x.
- 7 **Priss, O. P.** Chilling-injury reduction during the storage of tomato fruits by heat treatment with antioxidants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 2015, **1/6(73)**, 38-43, doi:10.15587/1729-4061.2015.37171.
- 8 **Mitropoulos, D., Lambrinos, G.** “Delicious Pilafa” apple density changes as a quality index of mass loss degradation during storage. *J. of Food Quality,* 2007, **30**, 527-537, doi:10.1111/j.1745-4557.2007.00140.x.
- 9 **Paull, R. E.** Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology,* 1999, **15(3)**, 263-277, doi:10.1016/0925-5214(98)00090-8.
- 10 **Serdyuk, M., Velichko, I., Baiberova, S.** Prediction of mass losses of apple fruit during cold storage. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015, **62(1171)**, 160-165, ISSN 2079-5459.
- 11 **Dosphehov, B. A.** Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methods of field experience (with the fundamentals of statistical processing of the results of research)], Moskov: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- 12 **Polovko, A. M., Butusov, P. N.** Interpoljacija. Metody i komp'juternye tehnologii ih realizacii [Interpolation. Methods and computer technology implementation], SanktPeterburg: BHV Peterburg, 2004, 320 p.
- 13 **Saati, T.** Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij [Making decisions. The method of analysis of hierarchies], Moscov: Radio i svjaz', 1993, 226 p.
- 14 **Serdyuk, M., Velichko, I., Baiberova, S.** Okysnyj stres i antyoksydantna systema zakhystu plodiv iabluni [Oxidative stress and antioxidant system protecting fruit apple], *Kharchova nauka ta tekhnolohiia [Food science and technology],* 2015, **31**, 79 - 85.

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: igorserduk@mail.ru

Serdyuk Marina – 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: igorserduk@mail.ru.

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

Gaprindashvili Nona – 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.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сердюк, М. Є. Визначення збереженості плодів яблуни / **М. Є. Сердюк, Н. А. Гапріндашвілі** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 181-187. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.27.

Please cite this article as:

Serdyuk, M., Gaprindashvili, N. Definitions of apple fruits preservation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 181-187, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.27.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сердюк, М. Е. Определение лежкоспособности плодов яблони / **М. Е. Сердюк, Н. А. Гаприндашвили** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 181-187. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.27.

АННОТАЦИЯ С помощью интерполяции экспериментальных данных по методу Лагранжа была определена лежкоспособность плодов яблони с выходом стандартной продукции не менее 90%. Полученные данные свидетельствуют, что средняя расчетная лежкоспособность плодов яблони была несколько ниже по сравнению с фактически полученной. Максимальной лежкоспособностью характеризовались плоды яблони сорта Флорина, а минимальной - сорта Голден Делишес. Основным погодным фактором, который имеет наиболее существенное влияние на лежкоспособность плодов яблони является средняя максимальная температура последнего месяца формирования плодов.

Ключевые слова: лежкоспособность, погодные условия, яблоня, потери массы, стандартная продукция, болезни, антиоксиданты.

Надійшла (received) 11.03.2016

УДК 665.1

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.28

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ГЛІЦЕРАТУ КАЛІЮ ЯК КАТАЛІЗАТОРУ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ ЖИРІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ**Н. С. СИТНИК^{1*}, І. М. ДЕМИДОВ¹, К. В. КУНИЦЯ²**

¹ Лабораторія досліджень хімії жирів олійно-жирових виробництв, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України (УкрНДІОЖ НААН), м. Харків, Україна

² Кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

*email: natalya.sytnik.87@mail.ru

АНОТАЦІЯ. Досліджено вплив найважливіших факторів, таких як температура та тривалість процесу, на ефективність гліцерату калію як каталізатору переетерифікації жирів. В якості жирової сировини використовувався пальмовий олеїн, для оцінки активності каталізатору визначалася температура плавлення. Обробка результатів з метою встановлення залежності температури плавлення пальмового олеїну від температури та тривалості процесу у присутності гліцерату калію проводилася з використанням методу математичного планування експерименту.

Ключові слова: переетерифікація, каталізатор, пальмовий олеїн, температура плавлення, математичне планування, рівняння регресії.

DOSLIDZHENNYA AKTYVNOSTI GLICERATU KALIYU YAK KATALIZATORU PEREETERYFICACII ZHYRIV ZA RIZNYH UMOV PROVEDENNYA PROCESSU**N. SYTNIK^{1*}, I. DEMYDOV¹, E. KUNITSA²**

¹ Laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Technology of fats and fermentation products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The influence of the most important factors, such as temperature and duration of the process, on the effectiveness of potassium glycerate as a catalyst for the interesterification of fats was researched. The same dosage of catalyst was used for all experiments according to the planning matrix. The catalyst was prepared under laboratory conditions using glycerol and potassium hydroxide. As raw fat palm olein was used, to evaluate the activity of the catalyst the melting point was determined. Selection of palm olein is justified by the fact that a change of the triacylglycerol composition of lipid feedstock during the interesterification accompanied by a significant increase in its melting point, which allows to assess changes in the fat during the interesterification using the simple analysis. Processing of the results to establish the dependence of the temperature and duration of the process on the melting point of palm olein in the presence of potassium glycerate was carried out using mathematical method of experimental design. Based on experimental data the regression equation obtained representing the dependence of the melting point of palm olein from these factors, based on which the image is built using the program Mathcad. On the basis of these findings conclusions have been made with respect to the received efficiency and the possibility of using the catalyst in the industry under certain conditions. Depending on the desired properties of the interesterified fat (melting point, hardness, ductility, etc.) various modes can be applied using proposed interesterification catalyst potassium glycerate. At the same time it is possible to obtain this substance directly at the enterprise.

Keywords: interesterification, catalyst, palm olein, melting point, mathematical planning, regression equation.

Вступ

Жири, олії та жирові продукти на їх основі займають важливе місце у харчуванні людини. Розвиток галузей харчової промисловості поставило перед олійножировою галуззю задачу зміни асортименту за рахунок створення нових жирових продуктів. Одне з перспективних напрямлень – це випуск олійножирових продуктів, функціональних за призначенням, а також лікувально-профілактичних продуктів. На сьогоднішній день провідні світові виробники розширюють свій асортимент саме за рахунок удосконалення корисних продуктів харчування [1, 2].

Великі групи жирових продуктів складають маргарини, спреди, кулінарні, кондитерські жири, заміники молочного жиру (ЗМЖ). Останні широко використовуються у виробництві молокозмісних та продуктів дитячого харчування. При збереженні калорійності молочного жиру ЗМЖ включають в себе харчову цінність рослинних олій (лінолеву та ліноленову кислоти); володіють оптимальним співвідношенням поліненасичених та насичених жирних кислот [2].

У виробництві олійножирової продукції широко застосовуються модифіковані жири [3, 4, 5]. Основними методами модифікації жирів є

фракціонування, гідрогенізація та переетерифікація [6].

Фракціонування являє собою процес розділення жирів на групи триацилгліцеролів за температурою плавлення. За допомогою цього процесу отримують продукти з унікальними функціональними характеристиками:

- еквіваленти какао-масла;
- лауринові та нелауринові замінники какао-масла;
- кондитерські жири;
- триацилгліцероли, що містять жирні кислоти із середньою довжиною вуглеводневого ланцюга (продукт являє собою фракції лауринових олій, які включають насичені жирні кислоти C6:0, C8:0 і C10:0, що здатні розчинятися як у водних, так і в жирових системах);

- високостабільні до окиснювального руйнування рідкі олії, одержані модифікацією олій шляхом сполучення гідрування з фракціонуванням.

Задачею гідрогенізації є зміна жирнокислотного, а отже і триацилгліцерольного складу вихідного жиру в результаті приєднання водню в присутності каталізатора до ненасичених залишків жирних кислот, що входять до складу ацилгліцеролів рідких олій (соняшникової, соєвої, рапсової та ін.). Гідрогенізація олій та жирів служить для підвищення стійкості природних жирів до окиснення під час зберігання та переробки, зміни консистенції та підвищення температури плавлення до заданого рівня.

В результаті гідрогенізації відбувається зміна просторової конфігурації жирних кислот та поява транс-ізомеризованих кислот (в окремих випадках до 40 %), які є небезпечними для здоров'я людини.

Переетерифікація є одним із основних методів модифікації триацилгліцерольного складу жирової сировини. При цьому склад жирних кислот не змінюється, відбувається їх перерозподіл в суміші триацилгліцеролів, що призводить до зміни фізико-хімічних властивостей жирових сумішей.

Переетерифікація також використовується в поєднанні з іншими технологічними процесами. Наприклад, суміщення процесів низькотемпературної переетерифікації і кристалізації (фракціонування) використовується для виробництва кулінарних жирів (шортенінгів) на основі свинячого жиру, а також стабілізованих салатних олій. Суміщення високотемпературної статистичної переетерифікації і селективної гідрогенізації використовується при виробництві пластичних харчових жирів з зниженим вмістом транс-ізомерів методом гідропереетерифікації сумішей тваринних жирів з оліями [6].

Тверді пластичні компоненти (гідровані та переетерифіковані жири) є структуроутворювачами у композиції жирів маргаринів [7].

Метод переетерифікації дозволяє отримувати високоякісну жирову сировину, яка використовується

для виробництва багатьох видів олійножирової продукції, з необхідними властивостями, зі зведеним до мінімуму вмістом транс-ізомерів жирних кислот [8, 9, 10].

В якості каталізаторів переетерифікації широко використовуються алкоксиди (метилат та етилат натрію). Але застосування цих каталізаторів пов'язане з певними труднощами, наприклад, швидким псуванням внаслідок високої реакційної здатності. Крім того, ці речовини в Україні не виробляються і є потреба в їх імпортуванні [11].

Аналіз стану питання

В попередніх дослідженнях [11] було запропоновано новий каталізатор переетерифікації – гліцерат калію – та встановлено, що в процесі хімічної переетерифікації пальмового олеїну у присутності гліцерату калію відбувається зміна триацилгліцерольного складу. Проведено порівняння зміни триацилгліцерольного складу пальмового олеїну після переетерифікації з гліцератом калію та метилатом натрію, в результаті чого з'ясувалося, що триацилгліцерольний склад пальмового олеїну є більш наближений до статистично рівноважного у випадку використання гліцерату калію. Також було показано, що в результаті процесу переетерифікації, проведеного в рекомендованих в літературі лабораторних умовах, не досягається статистично рівноважний триацилгліцерольний склад пальмового олеїну. Отже становить інтерес варіювання таких параметрів процесу, як температура та тривалість процесу. Зважаючи на недоліки найбільш поширених каталізаторів хімічної переетерифікації, а також доведену ефективність нового каталізатору – гліцерату калію, є актуальним вивчення закономірностей протікання процесу переетерифікації у присутності даного каталізатору, дослідження впливу умов проведення процесу на його ефективність та пошук раціонального режиму протікання реакції.

Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження – каталітична реакція хімічної переетерифікації жирів з використанням гліцерату калію.

Метою проведених досліджень було встановлення впливу умов проведення процесу переетерифікації пальмового олеїну на ефективність гліцерату калію як каталізатору та визначення раціональних умов проведення реакції.

Ефективність каталізатору переетерифікації оцінювалася за температурою плавлення пальмового олеїну, суттєва зміна якої в процесі переетерифікації дозволяє за допомогою простого аналізу відслідкувати зміну властивостей жиру під час проведення серії експериментів [12].

Для досягнення поставленої мети:

- сплановано факторний експеримент другого порядку для пошуку оптимальних умов;
- проведено серію експериментів згідно з планом досліджень;
- отримано математичну модель, що характеризує вплив обраних факторів на ефективність гліцерату калію як каталізатору.

Матеріали та методи дослідження

В даному дослідженні використовувалися наступні реактиви та матеріали:

- гліцерин (кваліфікація – фармакопейний, вміст гліцерину – 99,8 %);
- гідроксид калію (кваліфікація – ч. д. а.);
- пальмовий олеїн (рафінований відбілений дезодорований, згідно з ДСТУ 4438:2005).

Каталізатор гліцерат калію отримано в лабораторних умовах реакцією гліцерину та гідроксиду калію за методикою, викладеною в [11]. Дозування каталізатору було постійним для всіх дослідів і складало 0,1 % в перерахунку на метал. Реакція переестерифікації проводилася при залишковому тиску (0,4-0,9) кПа. Залишок каталізатору з реакційної маси було видалено за допомогою адсорбційного очищення.

Для визначення параметру відгуку в кожному досліді визначалася температура плавлення пальмового олеїну у відкритому капілярі згідно з ДСТУ ISO 6321:2003.

Результати дослідження зміни температури плавлення пальмового олеїну під час реакції переестерифікації

В даній роботі досліджувався вплив температури та тривалості процесу переестерифікації на вихідний параметр - температуру плавлення пальмового олеїну (температура плавлення вихідного зразка складає 22,4 °С). Використовувався ортогональний план другого порядку. Задачею факторного експерименту другого порядку є проведення оптимального плану досліджень, отримання нелінійної моделі та її статистичний аналіз [13].

В таблиці 1 наведено основний рівень та інтервали варіювання факторів, в таблиці 2 – ортогональну матрицю композиційного плану для двох факторів, а також експериментальні значення (у експ.) та розраховані (у розрах.) значення функції відгуку.

Обробку одержаних результатів проведено за алгоритмом ортогонального плану другого порядку, наведеним в [13] та отримано рівняння регресії, яке є адекватним за критерієм Фішера та має наступний вигляд у фізичних перемінних:

$$y = 96,02604 - 1,70938 \cdot x_1 + 4,2 \cdot x_2 + 0,01002 \cdot x_1^2$$

Таблиця 1 – Основний рівень та інтервали варіювання змінних у плані

Основний рівень, x_j^0	Фактори	
	Температура процесу x_1 , °С	Тривалість процесу x_2 , год.
	100	1
Інтервали варіювання, Δx	15	0,5

Таблиця 2 – Ортогональна матриця композиційного плану

№ досліду	x_0	x_1	x_2	у експ.	у розрах.
1	1	1	-1	34,30	34,12
2	1	1	0	36,40	36,22
3	1	1	1	38,40	38,32
4	1	0	-1	28,00	27,43
5	1	0	0	29,13	29,53
6	1	0	1	31,90	31,63
7	1	-1	-1	25,80	25,26
8	1	-1	0	26,30	27,36
9	1	-1	1	30,40	29,46

На рисунку 1 наведено графічне зображення поверхні відгуку. Проекцію поверхні відгуку наведено на рисунку 2.

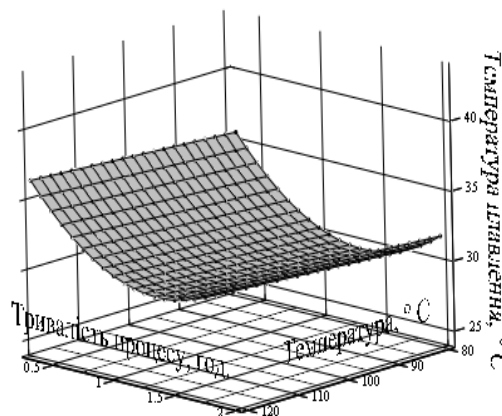


Рис. 1 – Залежність температури плавлення пальмового олеїну від температури та тривалості процесу

На рисунку 3 наведено залежність температури плавлення пальмового олеїну від тривалості процесу при фіксованому значенні температури процесу 115 °С (максимальне значення в експерименті), на рисунку 4 – залежність температури плавлення пальмового олеїну від температури процесу при фіксованому значенні тривалості процесу 1,5 год. (максимальне значення в експерименті).

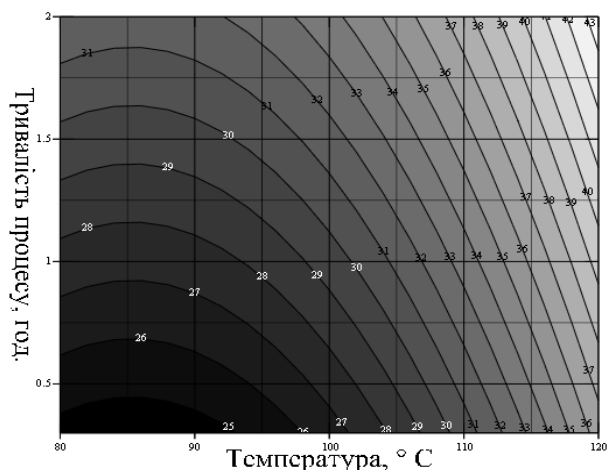


Рис. 2 – Проекція поверхні відгуку

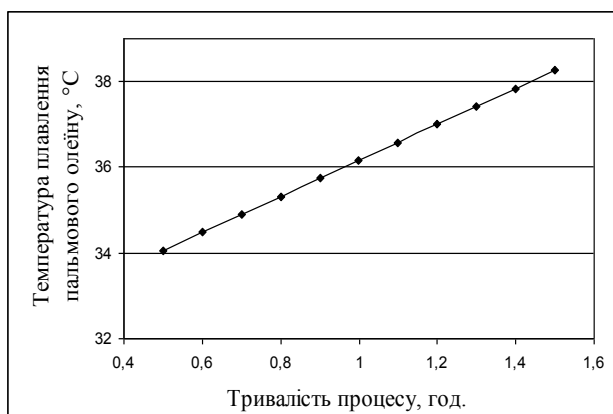


Рис. 3 – Залежність температури плавлення пальмового олеїну від тривалості процесу при фіксованому значенні температури процесу 115 °C

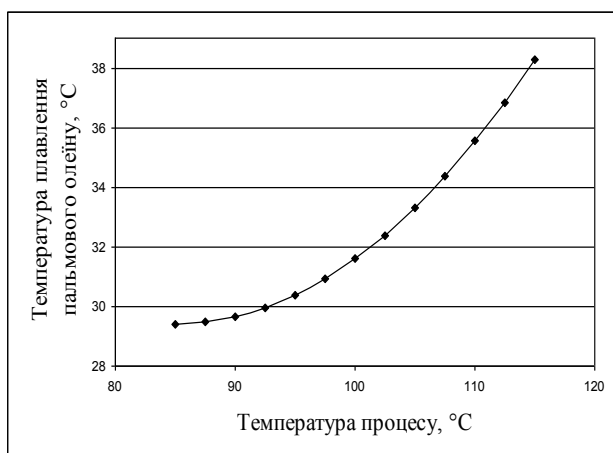


Рис. 4 – Залежність температури плавлення пальмового олеїну від температури процесу при фіксованому значенні тривалості процесу 1,5 год.

На основі вищенаведених залежностей можна зробити висновок, що умовами, за яких досягається максимальна температура плавлення пальмового олеїну, тобто гліцерат калію як каталізатор

переетерифікації є максимально ефективним при даному дозуванні, є наступні: температура процесу 115 °C, тривалість процесу 1,5 год. При збільшенні тривалості процесу переетерифікації температура плавлення пальмового олеїну лінійно підвищується.

Як видно з таблиці 2, в даних умовах експерименту різниця між максимальними експериментальними значеннями температури плавлення пальмового олеїну складає 2 °C (досліди 2 і 3). Ця величина перевищує різницю між значеннями в паралельних дослідах в нульовій точці факторного простору (температура 100 °C, тривалість 1 год.), тобто виходить за межі похибки. Таким чином, з даної серії дослідів неможна стверджувати, чи досягла функція відгуку максимального значення. Оскільки в цьому дослідженні інтервали варіювання факторів обрано згідно з даними щодо режимів переетерифікування жирів в промисловості у присутності найбільш поширених каталізаторів – метилату та етилату натрію [6], є доцільним пошук раціональних умов переетерифікації у присутності нового каталізатору – гліцерату калію – за цих значеннях температури і тривалості процесу, але з урахуванням ще одного фактору – концентрації каталізатору.

Обговорення результатів дослідження

Підвищення температури в процесі переетерифікації може призводити до небажаних процесів, наприклад, полімеризація, ізомеризація, а застосування каталізаторів служить для зниження енергетичного бар'єру активації, зниження температури та прискорення процесу. Отже підвищення температури та подовження тривалості процесу є недоцільним.

В роботі [13] було показано, що зміна температури плавлення пальмового олеїну на (12-14) °C вказує на те, що застосований каталізатор є ефективним та процес переетерифікації відбувся, що підтверджено зміною триацилгліцерольного складу, визначеного за допомогою газорідинної хроматографії. У випадку використання гліцерату калію за умов даного експерименту вказана різниця температур досягається за температури 115 °C та тривалості 1 год., а також за температури 115 °C та тривалості 1,5 год., що вказує на ефективність застосування гліцерату калію за цих умов.

Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Вперше було встановлено залежність ефективності нового каталізатору жирів (гліцерату калію) від основних параметрів – температури та тривалості процесу – з використанням ортогонального плану другого порядку.

2. Показано, що температура плавлення пальмового олеїну, яку було прийнято у якості

функції відгуку, є максимальною за температури процесу 115 °С та тривалості 1,5 год., але в ході дослідження було з'ясовано, що значення температури плавлення за цих умов може не бути максимальним, а, як свідчать результати роботи, може збільшуватися із збільшенням величин параметрів, що розглядаються (температура, тривалість).

3. В подальших дослідженнях потрібно також враховувати концентрацію каталізатору та визначити, за якої концентрації в даних умовах функція відгуку приймає максимальне значення та чи є концентрація каталізатору 0,1 % в перерахунку на метал достатньою для досягнення максимальної каталітичної активності гліцерату калію.

4. Отже в промисловості незважаючи на те, що при збільшенні значень факторів температура плавлення зростає, гліцерат калію можна ефективно використовувати за умов, коли різниця температур плавлення вихідного та переестерифікованого пальмового олеїну становить (12-14)°С, тобто за температури 115 °С та тривалості від 0,8 до 1,5 год.

Список літератури:

1. **Нечаев, А. П.** Растительные масла функционального назначения / **А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова** // *Масложировая промышленность*. – 2005. – №3. – С. 20-21.
2. **Курзина, М. Н.** Жиры специального назначения / **М. Н. Курзина** // *Масложировая промышленность*. – 2012. – №2. – 15 с.
3. **Berry, S. E. E.** Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acid-rich fats: an overview and implications for cardiovascular disease / **S. E. E. Berry** // *Nutrition Research Reviews*. – 2009. – P. 1-15. – doi:10.1017/S0954422409369267.
4. **Waheed, A.** Effect of interesterified palm and cottonseed oil blends on cookie quality / **A. Waheed, G. Rasool, A. Asghar** // *Agric. Biol. J. N. Am.* – 2010. – № 1(3). – P. 402-406. – doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01178.x.
5. **Osorio, N. M.** Lipase/acyltransferase-catalysed interesterification of fat blends containing n-3 polyunsaturated fatty acids / **N. M. Osorio, E. Dubreucq, M. Manuela R. de Fonseca, S. Ferreira-Dias** // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* – 2009. – № 111. – P. 120-134. – doi:10.1002/ejlt.200800109.
6. **Гладкий, Ф. Ф.** Технологія модифікованих жирів / **Ф. Ф. Гладкий, В. К. Тимченко, І. М. Демидов та ін.** – Харків: Підручник НТУ «ХПІ». – 2014. – 214 с.
7. **Тимченко, В. К.** Технологія м'яких маргаринів / **В. К. Тимченко**. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. – 128 с.
8. **Soekopitojo, S.** Enzymatic interesterification of palm oil midfraction blends for the production of cocoa butter equivalents / **S. Soekopitojo, P. Hariyadi, T. R. Muchtadi and N. Andarwulan** // *As. J. Food Ag-Ind.* – 2009. – P. 807-816. – doi:10.3923/jas.2011.3750.3754.
9. **Fauzi, H.** Effects of enzymatic interesterification on the physicochemical, polymorphism and textural properties of palm stearin, palm kernel oil and soybean oil blends / **S. H. M. Fauzi, N. A. Rashid, Z. Omar** // *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. – 2013. – V. 3. – №. 4. – P. 398-403. – doi:10.7763/IJBBS.2013.V3.242.
10. **Rodriguez, A.** Interesterification of tallow and sunflower oil / **A. Rodriguez, E. Castro, M. C. Salinas, R. Lopez, M.**

Miranda // *J. Am. Oil Chem. Soc.* – 2001. – V. 78. – N. 4. – P. 431-433. – doi:10.1007/BF02545309.

11. **Ситнік, Н. С.** Дослідження ефективності нового каталізатору переестерифікації олій та жирів з використанням хроматографічного аналізу / **Н. С. Ситнік, І. М. Демидов, К. В. Куниця** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 6/4(26). – С. 8-13.
12. **Голодняк, В. А.** Определение активности каталитатора химической переестерификации жиров / **В. А. Голодняк, И. Н. Демидов, В. С. Мазаева, Н. С. Сытник, П. Ф. Петик** // *Уральский научный вестник*. – 2014. – №8 (87). – С. 187-193.
13. **Бондарь, А. Г.** Планирование эксперимента при оптимизации процесов химической технологии / **А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха, И. А. Потяженко**. – Киев: Вища школа. – 1980. – 264 с.

Bibliography (transliterated):

1. **Nechaev, A. P., Kochetkova, A. A.** Rastitelnye masla funkcionalnogo naznachenija [Vegetable oil functionality]. *Maslozhirovaja promyshlennost [Oilseed industry]*, 2005, **3**, 20-21.
2. **Kurzina, M. N.** Zhiry specialnogo naznachenija [Fats for special purposes]. *Maslozhirovaja promyshlennost [Oilseed industry]*, 2012, **2**, 15.
3. **Berry, S. E. E.** Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acid-rich fats: an overview and implications for cardiovascular disease. *Nutrition Research Reviews*, 2009, 1-15, doi:10.1017/S0954422409369267.
4. **Waheed, A., Rasool, G., Asghar, A.** Effect of interesterified palm and cottonseed oil blends on cookie quality. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2010, **1(3)**, 402-406, doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01178.x.
5. **Osorio, N. M., Dubreucq, E., Manuela R. de Fonseca, M., Ferreira-Dias, S.** Lipase/acyltransferase-catalysed interesterification of fat blends containing n-3 polyunsaturated fatty acids. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2009, **111**, 120-134, doi:10.1002/ejlt.200800109.
6. **Gladkyy, F. F.** Tehnologiya modyfikovanyh zhyriv [Tech modified fats]. *Kharkiv: Pidruchnyk NTU «KhPI»*, 2014, 214 p.
7. **Tymchenko, V. K.** Tehnologiya m'yakych margaryniv [Tech soft margarines]. *Kharkiv: NTU «KhPI»*, 2002, 128 p.
8. **Soekopitojo, S., Hariyadi, P., Muchtadi, T. R., Andarwulan, N.** Enzymatic interesterification of palm oil midfraction blends for the production of cocoa butter equivalents. *As. J. Food Ag-Ind.*, 2009, 807-816, doi:10.3923/jas.2011.3750.3754.
9. **Fauzi, H., Rashid, N. A., Omar, Z.** Effects of enzymatic interesterification on the physicochemical, polymorphism and textural properties of palm stearin, palm kernel oil and soybean oil blends. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2013, **3(4)** 398-403, doi:10.7763/IJBBS.2013.V3.242.
10. **Rodriguez, A., Castro, E., Salinas, M. C., Lopez, R., Miranda, M.** Interesterification of tallow and sunflower. *Am. Oil Chem. Soc.*, 2001, **78(4)**, 431-433, doi:10.1007/BF02545309.
11. **Sytник, N. S., Demydov, I. M., Kunytsya, K. V.** Doslidzhennya efektyvnosti novogo katalizatoru pereesteryfikatsiyi oliy ta zhyriv z vykorystanniam khromatohrafichnogo analizu [Investigation of the effectiveness of the new catalyst transesterification of oils

- and fats using chromatographic analysis]. *Tekhnolohicheskij audit i rezervy proizvodstva [Technological audit and production of reserves]*, 2015, 6/4(26), 8-13.
12. **Golodnjak, V. A., Demidov, I. N., Mazaeva, V. S., Sytnik, N. S., Petik, P. F.** Opredelenie aktivnosti katalizatora himicheskoy pereeterifikacii zhirov [Determination of catalyst activity chemical interesterification of fats]. *Uralskij nauchnyj vestnik [Ural Scientific Gazette]*, 2014, 8(87), 187-193.
13. **Bondar, A. G., Statjuha, G. A., Potjazhenko, I. A.** Planirovanie eksperimenta pri optimizacii processov himicheskoy tehnologii [An experiment in the optimization of chemical engineering processes]. *Kiev: Vishha shkola*, 1980, 264 p.

Відомості про авторів (About authors)

Ситнік Наталія Сергіївна – молодший науковий співробітник, лабораторія досліджень хімії жирів олійно-жирових виробництв, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, тел. 067-78-10-453, e-mail: natalya.sytnik.87@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3970-086X>.

Sytnik Natalia – Jr. Researcher, Laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine tel. 067-78-10-453, e-mail: natalya.sytnik.87@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3970-086X>.

Демидов Ігор Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторією, Лабораторія досліджень хімії жирів олійно-жирових виробництв, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, тел. 098-44-28-614, e-mail: demigon@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5854-0833>.

Demydov Igor – Professor, Doctor of technical sciences, head of the laboratory, Laboratory of studies of fats chemistry of oils and fats production, Ukrainian Research Institute of Oils and Fats National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, tel. 098-44-28-614, e-mail: demigon@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5854-0833>.

Куніца Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, науковий співробітник, кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», тел. (057) 707-64-95, e-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5577-7026>.

Kunitsa Ekaterina – Candidate of Technical Sciences, Scientific Worker, Department of Technology of fats and fermentation products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", tel.: (057) 707-64-95, e-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5577-7026>.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ситнік, Н. С. Дослідження активності гліцерату калію як каталізатору переетерифікації жирів за різних умов проведення процесу / **Н. С. Ситнік, І. М. Демидов, К. В. Куніца** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 188-193. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.28.

Please cite this article as:

Sytnik, N., Demydov, I., Kunitsa, K. Doslidzhennya aktyvnosti gliceratu kaliyu yak katalizatoru pereeterifikacii zhyriv za riznyh umov provedennya processu. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 12 (1184), 188-193, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.28.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сытник, Н. С. Исследование активности глицерат калия как катализатора переэтерификации жиров при различных условиях проведения процесса / **Н. С. Сытник, И. М. Демидов, К. В. Куніца** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 188-193. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.28.

АННОТАЦИЯ. Исследовано влияние важнейших факторов, таких как температура и продолжительность процесса, на эффективность глицерата калия как катализатора переэтерификации жиров. В качестве жирового сырья использовался пальмовый олеин, для оценки активности катализатора определялась температура плавления. Обработка результатов с целью установления зависимости температуры плавления пальмового олеина от температуры и продолжительности процесса в присутствии глицерата калия проводилась с использованием метода математического планирования эксперимента.

Ключевые слова: переэтерификация, катализатор, пальмовый олеин, температура плавления, математическое планирование, уравнение регрессии.

Надійшла (received) 03.02.2016

УДК 663.81:634.511

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.29

ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ НАПОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХУ

І. С. ТЮРІКОВА^{1*}, М. І. ПЕРЕСІЧНИЙ², Н. В. РОГОВА³, О. О. НЕПОМ'ЯЩА¹¹ Кафедра технологій харчових виробництв і ресторанного господарства, ПУЕТ, м. Полтава, УКРАЇНА² Кафедра готельно-ресторанного бізнесу, НУХТ, м. Київ, УКРАЇНА³ Кафедра готельно-ресторанного бізнесу, ПУЕТ, м. Полтава, УКРАЇНА

*email: inna-tyurikova@yandex.ru.

АНОТАЦІЯ У статті обґрунтована роль харчування у житті людини. Розглянуто доцільність використання малопоширеної рослинної сировини в технології напоїв – топінамбура, аличі та волоського горіха. Обґрунтовано вибір та проведено фізико-хімічні дослідження вихідної сировини. Підтверджено компонентну сумісність топінамбуру, аличі, полуниці та горіхових екстрактів. На основі фізико-хімічних і органолептичних показників визначено раціональний вміст горіхової добавки у складі напою. Підібрано рецептурне співвідношення компонентів. Досліджено фізико-хімічні та органолептичні показники експериментальних напоїв. Доведена їх біологічна цінність

Ключові слова: технологія, напої, волоський горіх, молочно-воскова стиглість, екстракти, топінамбур, алича

CREATING TECHNOLOGY OF DRINKS WITH THE USE OF WALNUTS

I. TIURIKOVA^{1*}, M. PERESICHNYI², N. ROGOVAJA³, O. NEPOMIASHCHA¹^{1*} Department of Food Production and Restaurant Business, Higher Educational Institution of Ukoopspilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava, UKRAINE² Department of Hotel and Restaurant Business, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE³ Department of Hotel and Restaurant and Resort Business, Higher Educational Institution of Ukoopspilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava, UKRAINE

*email: inna-tyurikova@yandex.ru.

ABSTRACT The article substantiates the role of nutrition in human life. We consider the expediency of a rarely used plant material in technology of drinks – Jerusalem artichoke, cherry plum and walnut. The article substantiates the choice and physical and chemical studies of raw materials have been made. Component compatibility of Jerusalem artichoke, cherry plum, strawberry and walnut extracts has been confirmed. On the basis of the physical and chemical and organoleptic parameters rational content of nut additive in the composition of the drink has been specified: on the sugar basis - 3%, on alcohol - 1.8%. Compounding ratio of food components has been found: puree of Jerusalem artichoke, cherry plum and / or strawberry syrup and walnut extract on the sugar or alcohol basis. The choice of herbal compositions is justified by the fact that the high acidity of cherry plum and well expressed strawberry flavor will allow to achieve a pleasant taste and aroma of the finished product by diluting weakly acidic puree of artichoke. Physical and chemical and organoleptic properties of the experimental drinks have been studied. It is proved that the use extracts of walnut of milky ripeness in technology of the fruit and vegetable drinks can increase their biological value by substances-antioxidants such as ascorbic acid and phenolic pectin's. Organoleptic study confirmed the high consumer properties of the finished product. Drinks made according to the worked out technology can be recommended for the daily diet of people who lead a healthy lifestyle. Further studies are promising in the sphere of expanding the range of beverages for recreational purposes with the use of walnut.

Keywords: technology, drinks, walnuts, milk-wax of ripeness, extracts, artichoke, cherry plum

Вступ

Здоров'я сучасної людини в значній мірі визначається характером, рівнем і структурою харчування. Головним фактором, який наносить невідправну, на декілька порядків більш сильну, ніж екологічні забруднення, шкоду нашому здоров'ю є порушення структури харчування.

Практично всі реальні харчові продукти (ХП) не є збалансованими для дорослої здорової людини, тобто не містять незамінних нутрієнтів у необхідних кількостях і співвідношеннях, дуже відрізняються за складом. Це означає, що адекватний раціон харчування повинен включати досить велику

кількість різних ХП. При цьому, чим більш різноманітний раціон харчування за набором і складом продуктів, тим більш висока ймовірність постачання організму всіх незамінних компонентів харчування. З іншого боку, саме різноманітність харчування при несприятливому наборі споживаних продуктів створює передумови для надлишкового споживання окремих нутрієнтів та енергії і, таким чином, підвищує фактор ризику надлишкового харчування [1].

Рівень вживання ХП та структура раціонів харчування підлягають безперервній зміні у процесі соціально-економічного та соціально-культурного розвитку суспільства і залежить від багатьох

факторів: умов виробництва та розподілу їжі, звичок у харчуванні, кулінарних засобів, уявлення про престижність, переваги в якості тих чи інших продуктів, ступеня поінформованості про раціональне харчування, склад харчових продуктів тощо.

На думку В. М. Позняковського, "Кожна людина повинна володіти необхідною інформацією про раціональне харчування, речовини, що складають їжу, про їхню роль у життєдіяльності здорового і хворого організму. Все це формує культуру харчування, що є невід'ємною часткою культури суспільства" [2].

Поліпшення структури харчування населення України передбачає збільшення виробництва харчових продуктів завдяки удосконаленню існуючих і створенню новітніх технологій харчової продукції функціонального призначення [3-4]. Такі продукти повинні мати збалансований хімічний склад, невисоку енергетичну цінність, знижений вміст цукру і насичених жирних кислот, підвищений вміст корисних для здоров'я інгредієнтів функціонального і оздоровчо-профілактичного призначення, і бути абсолютно безпечними для людини. Зазначені заходи можна ефективно реалізовувати в умовах організованого харчування через систему закладів ресторанного господарства [1].

В концепції здорового харчування населення передбачено створення технологічної основи для виробництва якісно нових продуктів, які не тільки задовольняють фізіологічні потреби організму людини в харчових речовинах і енергії, але й які виконують профілактичні і лікувальні функції, а також передбачені заходи зі зміни структури харчування, розроблення технологій виробництва інноваційних продуктів, що відповідають потребам організму, збільшення частки продуктів масового споживання з високою харчовою і біологічною цінністю. Таким вимогам відповідають функціональні продукти, а саме напої, які є найбільш зручною, природною формою внесення і збагачення організму людини мікронутрієнтами: вітамінами, мінеральними речовинами, мікроелементами та іншими мінеральними компонентами.

Організм людини, який складається на 60 % із води, постійно потребує відповідного насичення рідиною, особливо при несприятливих кліматичних умовах, стресових ситуаціях, надмірних фізичних навантаженнях тощо. Серед інших методів гідратації споживачу надається можливість використовувати функціональні напої. Основна особливість таких напоїв – це наявність одного або кількох функціональних "активних" компонентів, які здатні впливати на здоров'я, витривалість, адаптацію до різних умов та настроїв людини [5-6].

Тому в раціоні людини необхідні напої, які є свого роду природними біокоректорами для організму, здатними викликати не тільки приємні смакові відчуття, але і збагатити його природними компонентами, проникаючи в кожен клітинний

організму, будуть активізувати процеси оздоровлення та очищення від чужорідних йому речовин.

Мета роботи

Перспективи формування напоїв, які відповідають вимогам підвищеної користі для здоров'я населення, залежать від рівня ефективності використання природних джерел біологічно активних речовин, розроблення нових композицій інгредієнтного складу, технологічного вдосконалення виробництва, підвищення споживчих якостей за рахунок поліпшення смаку.

Нажаль, асортимент напоїв представлений винятково напоями з використанням традиційної плодоовочевої сировини [7]. Розроблення і впровадження новітніх технологій, підбір харчових композицій з використанням нетрадиційної рослинної сировини, а саме волоського горіха молочно-воскової стиглості (МВС), є актуальним.

Метою роботи є розроблення інноваційної технології напоїв підвищеної біологічної цінності з використанням екстрактів волоського горіха молочно-воскової стиглості.

Викладення основного матеріалу

В Україні багато джерел рослинної сировини, а саме, топінамбур, алича, волоський горіх, які є цінною харчовою і біологічною сировиною, що мало поширена у використанні в харчовій промисловості і, особливо, у безалкогольній галузі.

Бульби топінамбуру містять: полісахарид інулін (16...18 %); азотисті речовини (2...3 %); вітаміну С - 108,1 мг/100г. Мінеральний склад (мкг/100г): В₁ - 1,0; В₂ - 4,0; В₃ - 8,8; В₅ - 0,86; В₆ - 0,20; В₇ - 20. Топінамбур містить комплекс фруктанів та мікроелементи [8-10].

Топінамбур ефективно застосовується в лікувальному харчуванні при таких захворюваннях, як цукровий діабет, виразка шлунку та дванадцятипалої кишки, панкреатит, гіпертонія і сечокам'яна хвороба. Топінамбур ефективно допомагає впоратися із запорами, ожирінням, він стимулює імунітет, служить профілактикою інфекційних захворювань, доброякісних і онкологічних пухлин. Топінамбур допомагає швидко впоратися з наслідками інтоксикацій, дії радіонуклідів, важких металів, дисбактеріозу. Люди, що вживають топінамбур регулярно, відзначають, що він допомагає підвищити працездатність і бадьорість, підняти життєвий тонус, нормалізувати тиск і серцеву діяльність.

Плоди аличі містять органічні кислоти, цукри (до 5 г на 100 г продукту), клітковину (0,5 г), пектини (0,65 г), а також значну кількість вітамінів (С, РР, В₁, В₂, Е) і мінералів (калію, заліза, магнію, кальцію). Всі біологічно активні речовини знаходяться в плодах у дуже вдалому поєднанні, яке сприяє засвоєнню в

організмі жирної м'ясної їжі. Як і інші види слив, вона є прекрасним послаблюючим засобом. Високий вміст клітковини стимулює перистальтику кишечника, дубильні речовини і смоли володіють антибактеріальною дією і сприяють запобіганню в ньому гнильних процесів. Велика кількість пектинів допомагає очищати організм від важких металів та радіонуклідів, магній і залізо покращують склад крові, калій зміцнює серцевий м'яз. Вітамін С у поєднанні з провітаміном А є потужним антиоксидантом, підвищує імунітет і запобігає авітамінозу. Харчова цінність аличі: жири – 0,1 г, білки – 0,2 г, клітковина – 1,8 г, вуглеводи – 7,9 г. Калорійність продукту – 34 ккал на 100 г плодів.

У плодах полуниці містяться аскорбінова кислота (20...50 мг/100 г), каротин, сліди вітаміну В₁, фолієва кислота, цукру (до 9,5 %), яблучна, саліцилова та інші кислоти, невелика кількість дубильних речовин, ефірна олія (що додає полуниці приємний аромат), пектинові речовини (1,5 %), антоціанові сполуки (3-галактозид пеларгонідін і 3-глікозид ціанідін), солі заліза, фосфору, кальцію, кобальту, марганцю, багато калію.

Волоський горіх – цінна високопоживна рослина, багата біологічно активними речовинами. Навколоплідник горіху волоського містить аскорбінову кислоту – 0,44 %, вільні органічні кислоти – 9,0 %, дубильні речовини – 4,15 %, каротиноїди – 3,0 %, юглон, мікро- і мікроелементи, в тому числі кобальт, мідь, цинк, марганець, молібден, хром, фосфор. У навколопліднику горіхів МВС встановлений максимальний рівень каротиноїдів, а в плодах таких горіхів максимальний вміст вітаміну Р. Із оболонки виділений бетаситостерол. У шкірці містяться фенолкарбонові кислоти, дубильні речовини і кумарини, у пеликулі (тонкій бурій шкірці, що покриває плід) – стероїди, фенолкарбонові кислоти, дубильні речовини та кумарини [7].

Біологічно активні речовини, що містяться у волоському горісі, покращують всмоктування природних вітамінів і мікроелементів їжі, а також сприяють нормалізації різних метаболічних процесів в організмі. Крім того, усувають дефіцит вітамінів, пов'язаний із їх неповноцінним надходженням із шлунково-кишкового тракту (при хронічній діареї, порушенні рівноваги мікрофлори кишечника та ін.), підвищеною потребою вітамінів (у період росту, вагітності, лактації, стану емоційного та фізичного напруження) [7].

Протягом останніх років науковцями проводяться ґрунтовні дослідження з впровадження використання горіху волоського МВС в харчовій промисловості. Розроблено спосіб отримання екстрактів на водно-спиртовій і цукровій основах [11-12]. За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи отримано позитивний висновок на ТУ У 10.8-01597997-001:2016 "Екстракти із волоського горіха".

Аличу і топінамбур використовували у свіжому вигляді. Зберігання проводили у холодильній камері за температури +1 °С. Полуницю збирали в середині червня. Для подовження терміну використання і збереження БАР полуницю і аличу піддавали заморожуванню за температури -18 °С, після чого зберігали у холодильній камері за температури -10 °С.

Підбір харчових компонентів обґрунтований тим, що висока кислотність аличі і яскраво виражений аромат полуниці дозволить досягти приємного смаку і аромату готового продукту шляхом розведення слабо кислого пюре топінамбуру.

Досліджено основні фізико-хімічні показники свіжої сировини та напівфабрикатів на її основі (табл. 1).

Підтверджено, що обрана для досліджень основна сировина містить значну кількість аскорбінової кислоти, пектинових речовин та органічних кислот.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники досліджуваної сировини

Назва сировини	Масова частка, %			Масова концентрація, мг/100г		рН
	сухих речовин	пектинових речовин	титрованих кислот	L-аскорбінової кислоти	фенольних речовин	
Горіх волоський МВС	14,8	0,46	0,643	1697,0	3900	3,60
Екстракт спиртовий	12,0	0,35	0,396	486,99	1125	4,50
Екстракт цукровий	37,0	0,23	0,402	498,60	765	4,15
Топінамбур	23,0	0,92	0,260	15,48	не визначали	6,20
Алича свіжа	12,9	0,18	4,820	5,63	не визначали	3,10
Полуниця	11,5	0,37	0,940	24,20	не визначали	3,30

Поєднання плодовоовочевої сировини обґрунтовано низькою кислотністю топінамбуру (рН=6,20), високою кислотністю аличі та полуниці (рН =3,10 та 3,30 відповідно), а також приємним ароматом ягоди. Горіх волоський МВС у свіжому вигляді містить високу концентрацію вітаміну С та поліфенолів (1967,0 мг/100 г та 3900 мг/100 г відповідно). Їх уміст у виготовлених напівфабрикатах значно менший від свіжої сировини, однак залишається високим, що дозволяє використовувати їх для підвищення біологічної цінності готового продукту (табл.1).

Біологічно-цінні горіхові екстракти на основі 70 % водно-спиртового екстракту і 50 % цукрового сиропу використовували для збагачення топінамбурного соку. Визначали вплив концентрації екстрактів на зміни біологічної цінності соку і смакові властивості. Визначено, що збільшення концентрації екстракту значно підвищує вміст аскорбінової кислоти і поліфенолів, але добавка неоднозначно впливає на органолептичні властивості готового продукту. Для визначення максимально допустимої добавки у напоях провели їх дегустаційну оцінку (рис.1).

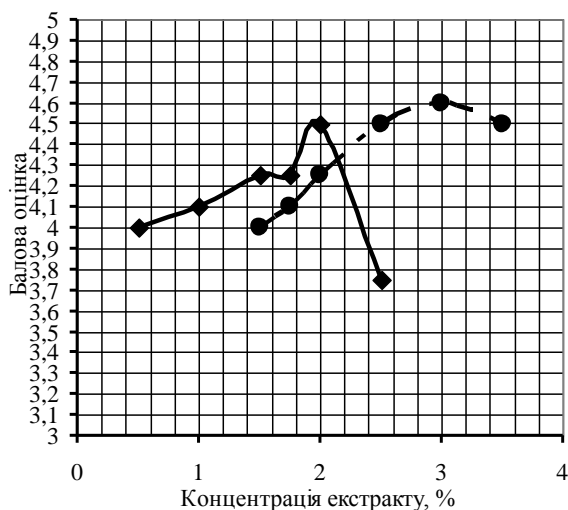


Рис.1 - Вплив концентрації екстрактів на органолептичну оцінку

Визначено, що при додаванні етилового горіхового екстракту в межах 0,5...2 % балова оцінка в концентраціях 1,5; 1,75; 2 % була стабільною і складала 4,25. Варіанти напоїв мали бурий колір, з відчутним горіховим запахом і незначною гіркотою, притаманною вихідній сировині. Враховуючи, що цукровий горіховий екстракт має кращі смакові властивості експеримент проводили з додаванням екстракту в межах 1,5...3,5 %. Гранична межа обґрунтована тим, що при концентрації 3,5 % також була відчутна незначна гіркота. Але напої мали вищу балову оцінку - 4,6 (рис.1).

Купажовані напої виготовляли у тридцяти варіаціях, змінюючи співвідношення харчових

компонентів, проводили органолептичне оцінювання. Контролем слугували напої без додавання екстрактів із волоського горіху МВС. Обрано оптимальні варіанти напоїв, які отримали найвищу балову оцінку (4,9...5,0). Рецептне співвідношення харчових компонентів розроблених напоїв наведені на рис. 2-5.

Отримані напої піддавали пастеризації за температури 60 °С. Зберігали за кімнатної

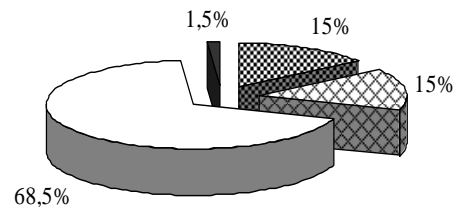


Рис.2 - Рецептне співвідношення харчових компонентів напою з горіховою добавкою спиртовою

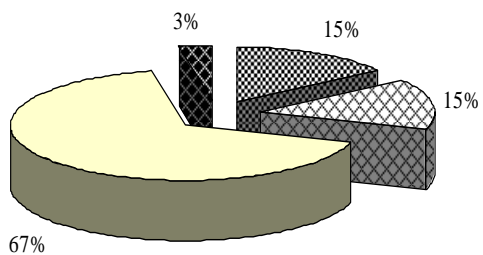


Рис.3 - Рецептне співвідношення харчових компонентів напою з горіховою добавкою цукровою

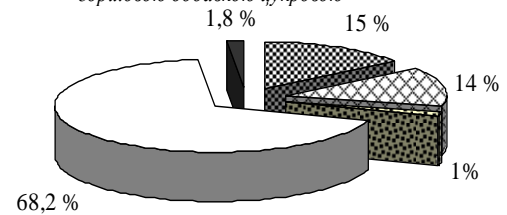


Рис.4 - Рецептне співвідношення харчових компонентів напою з горіховою добавкою фруктовим

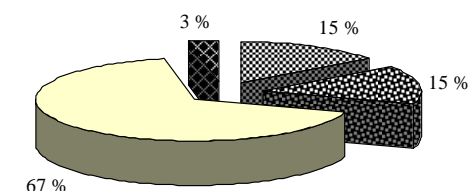


Рис.5 - Рецептне співвідношення харчових компонентів напою з горіховою добавкою горіховою

температури протягом шести місяців. Досліджували напоїв (табл.2).
основні фізико-хімічні показники плодоовочевих

Таблиця 2 – Основні фізико-хімічні показники плодоовочевих напоїв

Назва напою	Масова частка, %			Масова концентрація мг/100г		pH
	сухих речовин	пектинових речовин	титрованих кислот	L-аскорбінової кислоти	фенольних речовин	
Топінамбурно-аличевий з цукром (контроль)	15,6	0,184	0,580	1,76	60,0	3,7
Топінамбурно-аличевий з екстрактом горіховим цукровим	17,0	0,552	0,640	7,04	78,75	3,5
Топінамбурно-аличевий з екстрактом горіховим спиртовим	16,1	0,276	0,603	4,22	77,25	3,6
Топінамбурно-полуничний з цукром (контроль)	16,0	0,368	0,402	1,14	60,0	3,8
Топінамбурно-аличевий з екстрактом горіховим цукровим	17,2	0,368	0,140	8,80	82,5	5,0
Топінамбурно-фруктовий (контроль)	16,2	0,552	0,120	2,82	56,25	4,8
Топінамбурно-фруктовий з екстрактом горіховим спиртовим	17,1	0,368	0,560	4,30	76,5	4,1

Доведено, що напої, виготовлені за розробленою технологією з використанням горіхових екстрактів мають підвищену біологічну цінність. У порівнянні з контрольними зразками вміст аскорбінової кислоти збільшився не менше ніж у 2 рази у напоях з екстрактом горіховим спиртовим та в 4 - 7,7 раз у напоях з екстрактом цукровим. Запропоновані харчові композиції дозволили збагатити готовий продукт фенольними і пектиновими речовинами. Масова частка сухих речовин відповідає встановленим межах стандарту, за яким найменша масова частка сухих речовин має бути не менше 10 %.

Обговорення результатів

У теперішній час саме рослинна сировина визнається перспективним джерелом для виробництва різних продуктів багатоцільового напрямлення, особливо продуктів функціонального призначення [1]. Отримані на їх основі нові продукти харчування нарівні з рядом корисних властивостей набувають, як правило, особливі органолептичні характеристики, які формуються у процесі перероблення. У цьому випадку харчовий продукт може набувати лікувальних, лікувально-профілактичних або дієтичних властивостей.

Отже, створення напоїв із рослинної плодоовочевої сировини, а саме, топінамбура, аличі,

полуниці, волоського горіха, яка містить широкий набір нутрієнтів резистентного напрямлення, при використанні у щоденному раціоні сприятиме покращенню і збереженню здоров'я.

Використання обраної рослинної сировини дозволило поєднати кисло-солодкі харчові компоненти й отримати цікаві смакоароматичні композиції, а додавання горіхових екстрактів на основі 70 %-го спиртового екстракту і 50 %-го цукрового сиропу підвищити біологічну цінність топінамбурно-фруктових композицій.

Органолептичний аналіз різних варіантів купажів підтвердив, що для створення напоїв із підвищеним умістом БАР доцільно використовувати горіхові екстракти як на цукровій, так і на спиртовій основах у концентраціях не більше 3 та 1,8 % відповідно.

Висновки

Таким чином, розроблено технологію новітніх напоїв із малопоширеної у безалкогольній галузі рослинній сировині. Підтверджено компонентну сумісність топінамбура, аличі, полуниці та горіхових добавок. Доведено, що використання біологічно-цінних горіхових добавок позитивно впливає на фізико-хімічні показники та органолептичні властивості напоїв. Запропонована технологія топінамбурно-фруктових напоїв дозволить розширити

асортимент безалкогольної продукції, урізноманітнити щоденний раціон харчування людини, збагатити організм БАР, що сприятиме підвищенню його опірності до захворювань і несприятливих факторів довкілля. Застосування екстрактів із волоського горіха МВС у технології напоїв підтвердило доцільність їх використання для збагачення готового продукту біологічно цінними речовинами та перспективність подальших досліджень для створення цікавих оригінальних композицій.

Список літератури

1. **Пересічний, М. І.** Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / **А. А. Мазаракі, М. Ф. Кравченко** та ін.; за ред. **М. І. Пересічного**. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: *Київ. нац. торг.-екон. ун-т.* – 2012. – 1116 с.
2. **Позняковский, В. М.** Пищевые и биологически активные добавки / **В. М. Позняковский, А. Н. Австриевских, А. А. Вековцев** // *Кемерово*. – 2005. – 275 с.
3. **Vidigal, M. C. T. R.** Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: A case study in Brazil / **M. C. T. R. Vidigal, V. P. R. Minim, A. A. Simiqueli, P. H. P. Souza, D. F. Balbino, L. A. Minim** // *LWT – Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 60, Issue 2, Part 1. – P. 832-840. – doi:10.1016/j.lwt.2014.10.058.
4. **Ferreira, M. P.** Bioactive Prairie Plants and Aging Adults: Role in Health and Disease / **M. P. Ferreira, F. Gendron, K. Kindscher** // *Bioactive Food as Dietary Interventions for the Aging Population*. – Elsevier BV. – 2013. – P. 263-275.
5. **Лемзякова, Т. Г.** Місце функціональних напоїв у харчуванні людини / **Т. Г. Лемзякова, О. О. Аліфер, Ю. Ю. Тимошенко** // *Ліки України*. – 2015. – №2 (188). – С. 25-28.
6. **Siegrist, M.** Worlds apart. Consumer acceptance of functional foods and beverages in Germany and China / **M. Siegrist, J. Shi, A. Giusto, C. Hartmann** // *Appetite*. – 2015. – Vol. 92. – P. 87-93. – doi:10.1016/j.appet.2015.05.017.
7. **Тюрікова, І. С.** Технологія харчової продукції з використанням волоського горіха: теорія і практика: монографія / **І. С. Тюрікова** // *Полтава: ПУЕТ*. – 2015. – 203 с.
8. **Yang, L.** The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production / **L. Yang, Q. S. He, K. Corcadden, C. C. Udenigwe** // *Biotechnology Reports*. – 2015. – Vol. 5. – P. 77 - 88. – doi:10.1016/j.btre.2014.12.004.
9. **Radovanovica, A.** Valentina Stojceskab, Andrew Plunkett et al. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index / **A. Radovanovica, V. Stojceskab, A. Plunkett, D. Vilovanovic, S. Cupara** // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 177. – P. 81-88. – doi:10.1016/j.foodchem.2014.12.096
10. **Morris, C.** The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory

properties of bread and their role in weight management: A review / **C. Morris, G. A. Morris** // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 133, № 2. – P. 237-248. – doi:10.1016/j.foodchem.2012.01.027.

11. **Pat. України № 77238 МПК В01D 11/02** Спосіб отримання екстракту із волоського горіха молочно-воскової стадії стиглості / **І. С. Тюрікова** – № у 2012 07487; заявл. 19.06.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 4 с.
12. **Pat. України № 88192 МПК В01D 11/02** Спосіб отримання біологічно активної добавки із волоського горіха молочно-воскової стадії стиглості / **І. С. Тюрікова** – № у 2013 08452; заявл. 5.07.2013; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. – 2 с.

Bibliography (transliterated)

1. **Mazaraki, A. A., Peresichnyi, M. I., Kravchenko, M. F** et al.; In: **Peresichnyi, M. I.** Technology of functional foods [Food Technology functionality]. Ed. 2, *Kyiv National University of Trade and Economics*, 2012, 1116 p.
2. **Poznyakovskiy, V. M.** Pischevyie i biologicheski aktivnyie dobavki [Food and dietary supplements]. *Kemerovo*, 2005, 275 p.
3. **Minim, V. P. R., Simiqueli, A. A., Souza, P. H. P., Balbino, D. F., Minim, L. A.** Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: A case study in Brazil. *LWT – Food Science and Technology*, 2015, **60**(2), 832-840, doi:10.1016/j.lwt.2014.10.058.
4. **Ferreira, M. P., Gendron, F., Kindscher, K.** Bioactive Prairie Plants and Aging Adults: Role in Health and Disease. *Bioactive Food as Dietary Interventions for the Aging Population*. Elsevier BV, 2013, 263-275.
5. **Lenzyakova, T. G., Alifer, O. O., Timoshenko, Yu. Yu.** Mistse funktsional'nikh napoiv u kharchuvanni lyudini [Place in functional beverages nutrition]. *Liki Ukraini [Medicines Ukraine]*, 2015, **2**(188), 25-28.
6. **Siegrist, M., Shi, J., Giusto, A., Hartmann, C.** Worlds apart. Consumer acceptance of functional foods and beverages in Germany and China. *Appetite*, 2015, **92**, 87-93, doi:10.1016/j.appet.2015.05.017.
7. **Tyurikova, I. S.** Teknologiya xarchovoyi produkciyi z vy`kory`stanniam volos`kogo gorixa: teoriya i prakty`ka [Food Technology using walnut: Theory and Practice: Monograph]. *Poltava: PUET*, 203 p.
8. **Yang, L., He, Q. S., Corcadden, K., Udenigwe, C. C.** The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 2015, **5**, 77-88, doi:10.1016/j.btre.2014.12.004.
9. **Radovanovica, A., Stojceskab, V., Plunkett, A., Vilovanovic, D., Cupara, S.** The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. *Food Chemistry*, 2015, **177**(15), 81-88, doi:10.1016/j.foodchem.2014.12.096.
10. **Morris, C., Morris, G. A.** The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. *Food Chemistry*, 2012, **133**(2), 237-248, doi:10.1016/j.foodchem.2012.01.027.
11. **Pat. of Ukraine № 77238, MPK V01D 11/02** Sposib otrymannya ekstraktu iz volos`kogo gorixa molochno-voskovoyi stadiyi sty`glosti [Method of extract of walnut milk-wax stage of ripeness] **I. S. Tyurikova**, Appl. № u 2012 07487. Filed 19/06/2012. Byul. № 3,4.

12. Pat. of Ukraine № 88192, MPK V01D 11/02. Sposib otrimannya biologichno aktivnoyi dobavki Iz voloskogo gorlha molochno-voskovoYi stadiYi stiglosti [Method

dietary supplement with walnut milk-wax stage of ripeness]. I. S. Tyurikova, Appl. № u 2013 08452. Filed 05/07/2013. Byul. № 5, 2 p.

Сведения об авторах (About authors)

Тюрікова Інна Станіславівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій харчових виробництв і ресторанного господарства, Вищий навчальний заклад Укоопспілки “Полтавський університет економіки і торгівлі”, м. Полтава, Україна; e-mail: inna-tyurikova@yandex.ru.

Tyurikova Inna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Food Production and Restaurant Business, Higher Educational Institution of Ukoopspilka “Poltava University of Economics and Trade”, Poltava, Ukraine; e-mail: inna-tyurikova@yandex.ru.

Пересичний Михайло Іванович – доктор технічних наук, професор, кафедра готельно-ресторанного бізнесу, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; e-mail: pmi52@ukr.net.

Peresichnyi Mykhailo – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Hotel and Restaurant Business, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: pmi52@ukr.net.

Рогова Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, кафедра готельно-ресторанної та курортної справи, Вищий навчальний заклад Укоопспілки “Полтавський університет економіки і торгівлі”, м. Полтава, Україна; e-mail: nataljarogovaja@rambler.ru.

Rogovaja Natalja – Candidate of Technical Sciences, Department of Hotel and Restaurant and Resort Business, (Ph. D.), Higher Educational Institution of Ukoopspilka “Poltava University of Economics and Trade”, Poltava, Ukraine; e-mail: nataljarogovaja@rambler.ru.

Непом'яца Олена Олександрівна – здобувач кафедри технологій харчових виробництв і ресторанного господарства, Вищий навчальний заклад Укоопспілки “Полтавський університет економіки і торгівлі”, м. Полтава, Україна; e-mail: len878@yandex.ua.

Nepomiashcha Olena – Department of Food Production and Restaurant Business, Higher Educational Institution of Ukoopspilka “Poltava University of Economics and Trade”, Poltava, Ukraine; e-mail: len878@yandex.ua.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Тюрікова, І. С. Технологія створення напоїв з використанням волоського горіху / **І. С. Тюрікова, М. І. Пересичний, Н. В. Рогова, О. О. Непом'яца** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 194-200. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.29.

Please cite this article as:

Tyurikova, I., Peresichnyi, M., Rogovaja, N., Nepomiashcha, O. Creating technology of drinks with the use of walnuts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 194-200, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.29.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Тюрікова, І. С. Технология создания напитков с использованием грецких орехов / **И. С. Тюрікова, М. И. Пересичный, Н. В. Роговая, А. А. Непом'яца** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 194-200. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.29.

АННОТАЦИЯ В статье обоснована роль питания в жизни человека. Рассмотрена целесообразность использования малораспространенного растительного сырья в технологии напитков - топинамбура, алычи и грецкого ореха. Обоснован выбор и проведены физико-химические исследования исходного сырья. Подтверждено компонентную совместимость топинамбура, алычи, клубники и ореховых экстрактов. На основе физико-химических и органолептических показателей определено рациональное содержание ореховой добавки в составе напитка. Подобрано рецептурное соотношение компонентов. Исследованы физико-химические и органолептические показатели экспериментальных напитков. Доказана их биологическая ценность.

Ключевые слова: технология, напитки, грецкий орех, молочно-восковая спелость, экстракты, топинамбур, алыча.

Поступила (received) 14.03.2016

УДК 663.253.3

doi:10.20998/2413-4295.2016.12.30

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БЕЛЫХ И РОЗОВЫХ ВИНОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА

Е. В. ЦЫГАНКОВА*, М. В. БИЛЬКО

Кафедра биотехнологии продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, УКРАИНА,

**email: cygankova@ukr.net*

АННОТАЦИЯ Представлены результаты исследований ароматического и фенольного комплексов белых и розовых сухих виноматериалов из перспективных для Украины сортов винограда Санджовезе, Сира, Пти Вердо, Буковинка и влияния на них рас дрожжей. Установлено, что ароматический комплекс виноматериалов обусловлен альдегидами, сложными эфирами, высшими и терпеновыми спиртами. Наиболее ароматным сортом является Буковинка, о чем свидетельствуют высокие значения терпеновых спиртов. Розовые виноматериалы содержат большее количество монофлавоноидов. Проведен сравнительный анализ органолептических и оптических показателей качества виноматериалов.

Ключевые слова: виноматериалы, Санджовезе, Сира, Пти Вердо, Буковинка, расы дрожжей.

STUDY QUALITY CHARACTERISTICS OF WHITE AND ROSE WINE FROM GRAPES PROMISING

E. V. TSYGANKOVA*, M. V. BIL'KO

Department of Biotechnology of fermentation products and winemaking, National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to study the effect of yeast races on the aromatic and phenolic complexes wine stocks from prospective for Ukraine grapes Sangiovese, Syrah, Petit Verdot, Bukovynka. The methods of solution are the following: organoleptic and physico-chemical parameters of the quality, the mass concentration of phenolic substances and their forms, the optical characteristics, the mass concentration of aromatic substance were studied in the wine stock samples prepared. It is found that the aromatic complex of wine is conditional on aldehydes, esters, higher alcohols, terpene alcohols. Grape variety and yeast race influence the aromatic substance proportion. It is shown that such grapes as Sangiovese, Syrah, Petit Verdot cause interesting aromatics in wines and the Enoferm bouquet yeast race accentuates their varietal potential. Wine stocks from the Bukovynka grape are characterized with bright intense aroma with notes of nutmeg. It is proved that the grape variety has larger effect on the phenolic substances forms ratio and on the white and rosé wines colour formation than the yeast race has. Bukovynka contains the greatest amount of phenolic substances polymer fractions, which may point at the ability of the given grape variety to burn the flavonoids. The varieties Syrah and Petit Verdot contain the lowest number of phenolic substances polymers. It was found that the greatest number of red colours were in the Petit Verdot and Sangiovese varieties. Yellow colours predominate in the Bukovynka grape. It was found that the use of Vitilevuer LB rouge race yeast contributes to synthesis pink wine stocks with low concentrations of phenolic substances polymeric forms and preservation of red hues in the colour that contributes to colour stability and wines value.

Key words: wine stocks, Sangiovese, Syrah, Petit Verdot, Bukovynka, strains of yeast.

Введение

В условиях современного рынка для расширения ассортимента натуральных столовых вин и для привлечения потребителей, многие небольшие хозяйства начинают культивировать малораспространенные в Украине сорта винограда для получения оригинальных вин. Применение нетрадиционных для отечественного виноделия, но признанных в мире, сортов винограда дало бы им дополнительные возможности [1].

Сорт Буковинка дает легкие и нежные белые вина. Из винограда сортов Сира, Пти Вердо и Санджовезе в условиях Украины получают качественные розовые вина с интересными оттенками в аромате и цвете в зависимости от способа переработки винограда [2, 3].

Формирование качества столовых вин зависит от многочисленных факторов, среди которых большое

значение имеет правильно проведенный процесс брожения, который в значительной мере предопределяется используемой расой дрожжей. Одним из способов, позволяющих сохранить чистоту культуры дрожжей в ходе ее хранения и подготовки к использованию, является применение сухих препаратов чистой культуры дрожжей [4].

Многочисленными научными исследованиями установлены вещества, отвечающие за аромат винограда. Они локализованы в кожице винограда и прилегающих к ней слоях мякоти. В основном это терпеновые спирты, которые вместе со своими производными составляют основу так называемого эфирного масла винограда [5, 6, 7, 8].

В винах с законченным алкогольным брожением терпеновые спирты подвергаются существенным изменениям, но их концентрация остается достаточно высокой для восприятия органами чувств.

В процессе брожения под действием дрожжей образуются вторичные продукты, к которым относятся сложные эфиры, высшие спирты, кетоны, ацетали, летучие кислоты и альдегиды. Они являются главными фоновыми компонентами аромата вин, и в сочетании с терпеновыми спиртами формируют аромат вина [5, 6, 7, 8].

Сложные эфиры придают вину фруктово-плодовые оттенки. К эфирам, имеющим фруктово-цветочные ароматы, относятся изоамилацетат, изоамилбутират, изоамилкаприлат, изобутиллаурат, этилкаприлат, этилкаприлат и др.

Высшие спирты – бутанолы и пентанолы составляют 85 % всего комплекса сивушных масел, участвующих в формировании аромата вин. Большие концентрации этих спиртов придают вину грубость. Ароматобразующие спирты β -фенилэтанол и n -оксифенилэтанол положительно влияют на вкус и букет вина.

Исследователи указывают на немаловажную роль альдегидов, как ароматобразующих компонентов. В состав алифатических альдегидов винограда входят уксусный, пропиловый, масляный, валерьяновый, капроновый альдегид, терпеновый альдегид цитраль и др. В концентрированном состоянии они имеют очень резкий запах, а при разведении запах становится приятно-фруктовым.

Альдегиды в столовых винах на 90 % представлены ацетальдегидом. В молодых столовых винах уксусный альдегид не может существенно влиять на аромат вин, так как его концентрация не превышает пороговую. При высоких концентрациях ацетальдегида вина приобретают тона окисленности, что существенно снижает качество столовых вин [9].

Немаловажным фактором является формирование фенольного комплекса вин, так как соотношение его форм обуславливает цвет вина [10, 11], биологическую ценность [2], окисленность и др. [5, 7, 11].

Многочисленные научные исследования указывают на влияние дрожжей на изменение фенольного комплекса в процессе брожения.

Исходя из вышесказанного, исследования ароматического и фенольного комплекса столовых виноматериалов из перспективных для Украины сортов винограда представляют научный интерес.

Цель работы

Цель работы заключается в исследовании влияния рас дрожжей на ароматический и фенольный комплексы белых и розовых виноматериалов из перспективных сортов винограда.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: приготовить белые и розовые столовые сухие виноматериалы из сортов винограда Буковинка, Сира, Пти Вердо, Санджовезе с использованием различных рас дрожжей; исследовать влияние различных рас дрожжей на формирование

органолептических показателей качества виноматериалов; сравнить ароматический и фенольный комплекс полученных виноматериалов.

Изложение основного материала

Материалами исследования являются виноматериалы столовые сухие, приготовленные из винограда сортов Буковинка, Сира, Санджовезе, Пти Вердо в условиях микровиноделия.

Для сбраживания суслу использовали расы АСД Витилевюр DV-10, Витилевюр LB rouge (Мартин виаллат, Франция), Эноферм Букет (Эрбслё Гайзенхайм, Германия) с добавлением препарата для подкормки дрожжей Витамол Комби (Эрбслё Гайзенхайм, Германия).

Виноград перерабатывали при температуре 18...20 °С «по белому» способу, полученное сусло сульфитировали путем внесения Каdifита из расчета 75 г общего содержания $SO_2/дм^3$. Сусло отстаивали в течение 18...24 часов при температуре 15...18 °С. После снятия с осадка его направляли на брожение. Дрожжи вносили в сусло из расчета 0,3 г/дм³ суслу. Сухие дрожжи предварительно активировали. Доза препарата Витамол Комби составляла 0,2 г/дм³. В процессе брожения поддерживали температуру на уровне 18...20 °С. Контроль за брожением осуществляли по методике [12].

После осветления и снятия с дрожжей, в виноматериалах поддерживали массовую концентрацию свободного диоксида серы на уровне 25...30 мг/дм³.

В приготовленных образцах виноматериалов исследовали органолептические и физико-химические показатели качества, массовую концентрацию фенольных веществ и их форм, оптические характеристики, массовую концентрацию альдегидов, сложных эфиров, высших и терпеновых спиртов, согласно принятым в виноделии методикам [12].

Долю красных и желтых пигментов в хроматической структуре виноматериалов определяли как процент оптической плотности при длине волн 420 и 520 соответственно от суммы оптических плотностей, измеряемых при длине волн 420, 520 и 620.

Органолептическую оценку проводили по 8 – бальной шкале [13].

Обсуждение результатов

Органолептический анализ показал, что виноматериалы, приготовленные на расе дрожжей Витилевюр DV-10 имели хорошую осветляемость, а на расе Эноферм Букет – яркую ароматику.

Результаты органолептической оценки качества виноматериалов приведены в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати органолептичної оцінки столових виноматеріалів

Сорт винограда	Раса дрожжей	Характеристика	Балл
Буковинка	I	светло-соломенный цвет, нежный цветочный аромат с легким мускатным тоном, чистый вкус, легкая горчинка	7,65
	II	светло-соломенный цвет, с легким мускатным тоном, с тонами груши, дыни, айвы, во вкусе легкая горчинка	7,70
	III	светло-соломенный цвет, аромат интенсивный, вкус полный, гармоничный	7,80
Сира	I	нежный розовый цвет с персиковым оттенком, в аромате ягодные тона, но слегка окисленный, легкая горчинка в послевкусии	7,65
	II	нежный розовый цвет с телесным оттенком, аромат свежий, тонкий, травянистый тон, гармоничный, легкая горчинка в послевкусии	7,70
	III	нежный розовый цвет с телесным оттенком, аромат свежий, тонкий, вкус гармоничный, легкая горчинка в послевкусии	7,75
Санджовезе	I	светло-малиновый цвет с блеском, в аромате тона зеленого яблока, вкус простой, непродолжительное послевкусие	7,65
	II	светло-малиновый цвет, яркий ягодный аромат, вкус мягкий гармоничный	7,70
	III	светло-малиновый цвет, аромат с тонами ежевики, вкус гармоничный, тельный	7,75
Пти Вердо	I	нежный цвет лепестков роз, ягодный аромат, вкус мягкий, простой, непродолжительное послевкусие	7,60
	II	нежный цвет лепестков роз, яркий ягодный аромат, вкус простой, непродолжительное послевкусие	7,63
	III	нежно-розовый цвет, лепестков роз, яркий ягодный аромат, вкус свежий, сбалансированный	7,65
Примечание: I - Витилевюр DV-10; II - Витилевюр LB rouge; III - Эноферм Букет			

Физико-химические показатели всех исследуемых образцов соответствуют требованиям нормативной документации, предъявляемых для данного вида продукции. Объемная доля этилового спирта варьировала в диапазоне 11,3...13,5 %;

массовая концентрация сахаров не превышала 3,0 г/дм³, титруемых кислот – 6,8...8,2 г/дм³, приведенного экстракта – 16,2...18,8 г/дм³; летучих кислот – не превышала 0,42 г/дм³, значения pH лежали в диапазоне 3,0...3,2.

На рис. 1 представлены результаты исследования фенольного комплекса виноматериалов в виде процентного соотношения их форм.

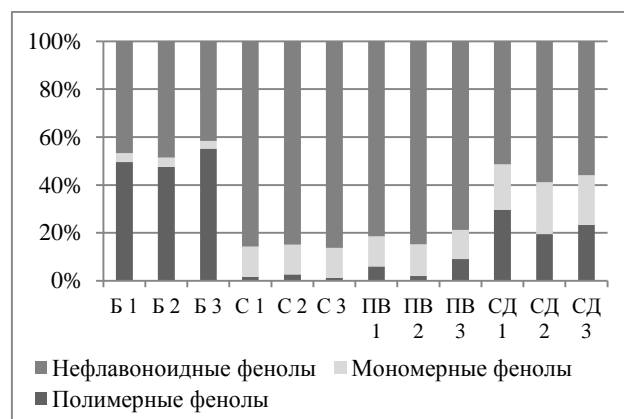


Рис. 1 – Процентное соотношение форм фенольных веществ в виноматериалах: Б – Буковинка, С – Сира, ПВ – Пти Вердо, СД – Санджовезе; расы дрожжей: 1 – Витилевюр DV-10, 2 – Витилевюр LB rouge, 3 – Эноферм Букет

Из данных рисунка видно, что виноматериалы из винограда сорта Буковинка содержат наибольшее количество полимерных фракций, что указывает на способность данного сорта к быстрому окислению флавоноидов и уменьшению биологической ценности виноматериала. Розовые виноматериалы, приготовленные из винограда Сира и Пти Вердо, отличались меньшим содержанием полимерных фракций. Несколько выше этот показатель у виноматериалов из Санджовезе. Содержание монофлавоноидов у Санджовезе на уровне 27 % от суммы нетаниновых фенолов, в виноматериалах Сира и Пти Вердо – 13...13,5 %, Буковинке – 7,5 %.

Результаты исследования показали, что на соотношения форм фенольных веществ расы дрожжей не оказывают существенного влияния. Однако, следует отметить, раса дрожжей Витилевюр LB rouge, которая рекомендована производителем для красного виноделия, способствует получению виноматериалов с меньшим содержанием полимерных форм фенольных веществ. Ароматический комплекс виноматериалов представлен альдегидами, сложными эфирами, высшими и терпеновыми спиртами. Процентные соотношения этих веществ в виноматериалах представлены на рис. 2.

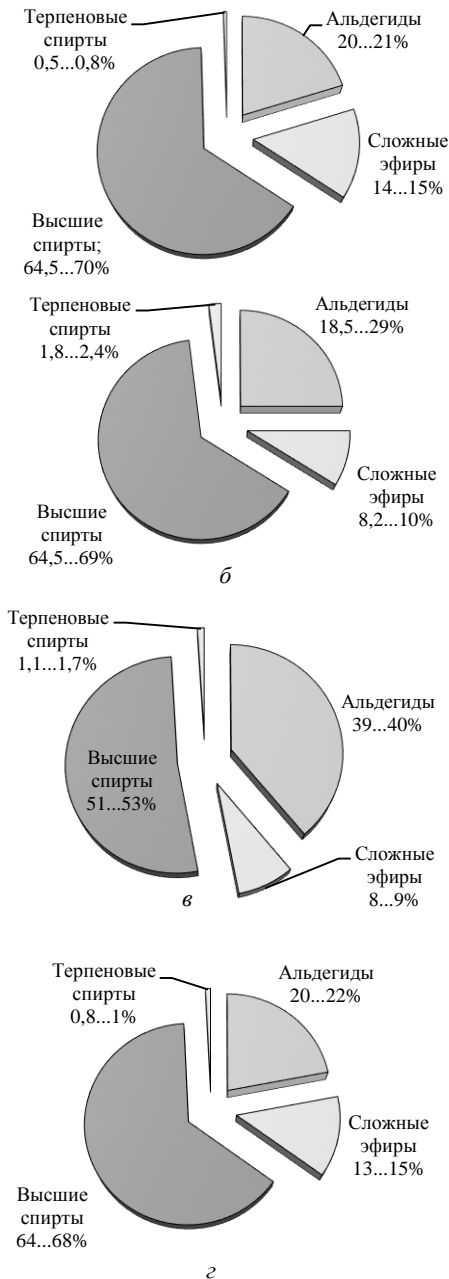


Рис. 2 – Процентное соотношение ароматических веществ в виноматериалах: а – Санджовезе, б – Буковинка, в – Сира, г – Пти Вердо.

Из данных рисунка 2 и 3 видно, что в виноматериалах из всех ароматобразующих веществ, преобладают высшие спирты, доля которых составляла 52,0...70,0 %, терпеновые спирты – 0,5...2,4 %, однако они имеют низкие пороговые концентрации, поэтому наиболее ароматным сортовым виноматериалом является Буковинка, на что указывает большая доля терпеновых спиртов в сравнении с другими образцами. В виноматериалах Пти Вердо, Санджовезе процент сложных эфиров составлял 13...15 %, а в виноматериалах из Сира и Буковинка в 1,5 раза меньше – 8...10 %.

Сравнительная характеристика массовых концентраций терпеновых спиртов в образцах,

представленная на рис. 3, позволила установить, что виноматериалы, приготовленные на расе дрожжей Витилевюр DV-10, характеризовались высокими значениями этого показателя во всех образцах. Также, следует отметить, что наибольшее количество сложных эфиров было синтезировано на этой расе в образце белого виноматериала Буковинка. В розовых виноматериалах большие концентрации эфиров давала раса Энoferм Букет.

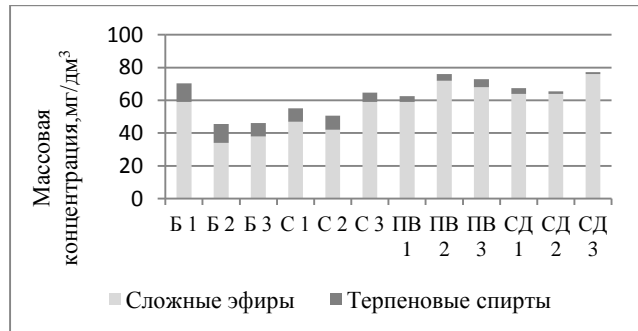


Рис. 3 – Массовая концентрация терпеновых спиртов и сложных эфиров в виноматериалах: Б – Буковинка, С – Сира, ПВ – Пти Вердо, СД – Санджовезе; расы дрожжей: 1 – Витилевюр DV-10, 2 – Витилевюр LB rouge, 3 – Энoferм Букет

Как отмечали выше, дрожжи способны сорбировать фенольные и красящие вещества и, тем самым, снижать их концентрации в виноматериалах, что приводит к изменению показателей интенсивности и оттенка цвета.

Выбранные нами расы дрожжей не оказывали существенного влияния на изменения красных и желтых оттенков в цвете виноматериалов. Сбраживание сула на расе Витилевюр LB rouge приводило к увеличению красных оттенков на 5...8 % во всех образцах розовых виноматериалов. Больше влияние на формирование цвета вин оказывает сорт винограда, чем раса дрожжей. Соотношение желтых и красных оттенков в зависимости от используемой расы дрожжей, представлено на рис. 4.

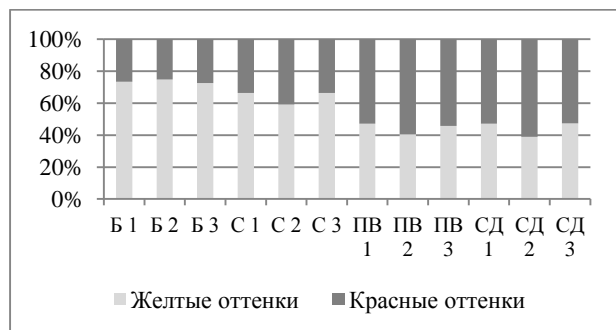


Рис. 4 – Соотношение красных и желтых оттенков в виноматериалах, выработанных на разных расах дрожжей: Б – Буковинка, С – Сира, ПВ – Пти Вердо, СД – Санджовезе; расы дрожжей: 1 – Витилевюр DV-10, 2 – Витилевюр LB rouge, 3 – Энoferм Букет

Так, наибольшее количество красных оттенков в виноматериалах Пти Вердо и Санджовезе. Желтые оттенки преобладают в виноматериалах из Буковинки.

Выводы

Использование расы дрожжей Эноферм Букет приводит к получению белых и розовых виноматериалов из винограда сортов Буковинка и Пти Вердо, Сира и Санджовезе соответственно, с ярким чистым ароматом.

Раса дрожжей Витилевюр LB rouge способствует получению розовых виноматериалов с низкими концентрациями полимерных форм фенольных веществ и сохранению красных оттенков, что способствует стабильности цвета и ценности вин. Большее влияние на формирование цвета вин оказывает сорт винограда, чем раса дрожжей.

Список литературы

- 1 Шольц, Е. П. Виноделие по-новому / Е. П. Шольц, ред. Г. Г. Валуйко // Симферополь: Таврида. – 2009. – 320 с.
- 2 Цыганкова, Е. В. Изучение малораспространенных сортов винограда, выращенных в горно-долинной зоне Крыма для производства столовых вин в аспекте их биологической ценности / Е. В. Цыганкова, М. В. Билько // Сборник научных трудов SWorld. Сер. Технические науки. – 2014. – № 4 (37), том 10. – С. 3-10.
- 3 Полянина, Т. С. Реактивирование активных сухих дрожжей, используемых в виноделии / Т. С. Полянина, М. В. Степура, Н. Ю. Качаева и др. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2009. – № 2-3. – С. 51-53.
- 4 Иванова, Е. В. Технологическая оценка препаратов сухих дрожжей и активаторов брожения для их использования в производстве столовых виноматериалов / Е. В. Иванова, П. А. Пробейголова, М. В. Остроухова // Виноград. – 2009. – № 5 (16). – С. 53-55.
- 5 Berger, R. G. Flavours and Fragrances. Chemistry bioprijsing and sustainability / R. G. Berger // Spinger-Verlag Berlin Heidelberg. – 2007. – 648 с. –doi:10.1007/978-3-540-49339-6.
- 6 Styger, G. Wine flavor and aroma / G. Styger, B. Prior, F. F. Baner // J. Ind Microbiol Biotechnol. –2011. – № 8 (9). – С. 1145-1159. – doi:10.1007/s10295-011-1018-4.
- 7 Aznar, M. Prediction of aged red wine aroma properties from aroma chemical composition. Partial least squares regression models / M. Aznar, R. Lypez, J. Cacho, V. Ferreira // J. Agric Food Chem. – 2003. – № 51 (9). – С. 2700 - 2707. – doi:10.1021/jf026115z.
- 8 Билько, М. В. Некоторые технологические аспекты управления ароматом столовых вин / М. В. Билько, В. Г. Гержикова // Виноград. – 2008. – № 3.– С. 26-27.
- 9 Формирование аромата и букета вин / Виноделие и виноградарство. – 2016. [Режим доступа]: <http://vinograd-vino.ru/biotekhnologiya-vin/232-formirovanie-aromata-i-buketa-vin.html>.
- 10 Negro, C. Phenolic compounds and antioxidant activity from red grape marc extracts / C. Negro, L. Tommasi, A.

- Miceli // Bioresource Technology. – 2003. – № 87. – С. 41-44. – doi:10.1016/S0960-8524(02)00202-X.
- 11 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.
- 12 Гержиковой, В. Г. Методы технохимического контроля в виноделии / В. Г. Гержиковой // Симферополь: Таврида. – 2009. – 304 с.
- 13 Валуйко, Г. Г. Теория и практика дегустации вин (2е издание) / Г. Г. Валуйко, Е. П. Шольц-Куликов // Симферополь: Таврида. – 2012. – 253 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 Sholts E. P., ed. Valujko G. G. Vinodelie po-novomu [Winemaking in a new way]. Simferopol', Tavrida, 2009, 320 p.
- 2 Tsygankova, E. V., Bil'ko, M. V. Izuchenie malorasprostranennyh sortov vinograda, vyrashhennyh v gorno-dolinnoy zone Kryma dlja proizvodstva stolovyh vin v aspekte ih biologicheskoy cennosti [The study of less common grape varieties grown in upland-lowland zone of the Crimea for table wines production in the context of their biological value]. Sbornik nauchnyh trudov SWorld. Ser.: Tehnicheskie nauki [Collection of scientific papers SWorld. Series: Tech'nical science]. Ivanovo, Markova AD, 2014, 10(4(37)), 3-10.
- 3 Poljanina, T. S., Stepuro, M. V., Kachaeva, N. Ju., Stribizheva, L. I. Reaktivirovanie aktivnyh suhih drozhzhej, ispol'zuemyh v vinodelii [Reactivation of active dru yeasts that used in wine - making]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija. [Proceedings of the higher educational institutions. Food technology]. Krasnodar, Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Kubanskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet", 2009, 2-3, 51-53.
- 4 Ivanova, E. V., Probejgolova, P. A., Ostrouhova, M. V. Tehnologicheskaja ocenka preparatov suhih drozhzhej i aktivatorov brozhenija dlja ih ispol'zovanija v proizvodstve stolovyh vinomaterialov [Technological assessment of preparations of dry yeast and fermentation activators for use in the production of table wine]. Vinograd. [Grapes]. Kiev, OOO "Izdatel'skij Dom "VinoGrad", 2009, 5(16), 53-55.
- 5 Berger, R. G. Flavours and Fragrances. Chemistry bioprijsing and sustainability. Spinger-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, 648 p., doi:10.1007/978-3-540-49339-6.
- 6 Styger, G., Prior, B., Baner, F. F. Wine flavor and aroma. J. Ind Microbiol Biotechnol, 2011, 8(9), 1145-1159, doi:10.1007/s10295-011-1018-4.
- 7 Aznar, M., Lypez, R., Cacho, J., Ferreira, V. Prediction of aged red wine aroma properties from aroma chemical composition. Partial least squares regression models. J. Agric Food Chem, 2003, 51(9), 2700 - 2707. doi:10.1021/jf026115z.
- 8 Bil'ko, M. V., Gerzhikova, V. G. Nekotory tehnologicheskije aspekty upravlenija aromatom stolovyh vin [Some technological aspects of management flavor of table wine] Vinograd [Grapes] Moscow, 2008, 3, 26-27.
- 9 Formirovanie aromata i buketa vin. [Formation of flavor and bouquet of wine], 2016, [Web] [http://vinograd-](http://vinograd-vino.ru/biotekhnologiya-vin/232-formirovanie-aromata-i-buketa-vin.html)

- vino.ru/biotekhnologiya-vin/232-formirovanie-aromata-i-buketa-vin.html.
- 10 **Negro, C., Tommasi, L., Miceli, A.** Phenolic compounds and antioxidant activity from red grape marc extracts. *Bioresource Technology*, 2003, **87**, 41-44. doi:10.1016/S0960-8524(02)00202-X.
- 11 **Gutierrez, I. H., Sanchez-Palomo Lorenzo, E., Vicario, A.** Espinosa 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.
- 12 **Gerzhikova, V. G.** ed. *Metody tehnimicheskogo kontrolja v vinodelii* [Methods of technochemical control in winemaking]. *Simferopol', Tavrida*, 2009, 304 p.
- 13 **Valujko, G. G., Sholts, E. P.** Teorija i praktika degustacii vin [Theory and practice of wine tasting]. *Simferopol', Tavrida*, 2012, 253 p.

Сведения об авторах (About authors)

Цыганкова Елена Викторовна – аспирант, кафедра биотехнологии продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина; e-mail: cygankova@ukr.net.

Tsygankova Elena Viktorovna – Postgraduate Chair of Biotechnology of fermentation products and winemaking, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: cygankova@ukr.net.

Билько Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехнологии продуктов брожения и виноделия, Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина; e-mail: aromat@ukr.net.

Bil'ko Marina Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Chair of Biotechnology of fermentation products and winemaking, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; e-mail: aromat@ukr.net.

Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Цыганкова, Е. В. Исследование качественных характеристик белых и розовых виноматериалов из перспективных сортов винограда / **Е. В. Цыганкова, М. В. Билько** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 201-206. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.30.

Please cite this article as:

Tsygankova, E. V., Bil'ko, M. V. Study quality characteristics of white and rosé wine from grapes promising./ *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 201-206, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.30.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Цыганкова, О. В. Дослідження якісних характеристик білих і рожевих виноматеріалів з перспективних сортів винограду / **О. В. Цыганкова, М. В. Билько** // *Вісник НТУ «ХП»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – № 12 (1184). – С. 201-206. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.30.

АНОТАЦІЯ Представлені результати досліджень ароматичного і фенольного комплексів столових білих і рожевих сухих виноматеріалів з перспективних для України сортів винограду Санджовезе, Сіра, Пті Вердо, Буковинка і впливу на них рас дріжджів. Встановлено, що ароматичний комплекс виноматеріалів обумовлений альдегідами, складними ефірами, вищими спиртами, терпеновими спиртами. Найбільш ароматним сортом є Буковинка, про що свідчать високі значення терпенових спиртів. Рожеві виноматеріали містять більшу кількість монофлавоноїдів.

Ключові слова: виноматеріали, Санджовезе, Сіра, Пті Вердо, Буковинка, раси дріжджів.

Поступила (received) 15.03.2016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ БИОДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОСФОГИПСА

Е. Ю. ЧЕРНЫШ, Е. Н. ЯХНЕНКО*

Кафедра прикладной экологии, Сумской государственной университет, Сумы, УКРАИНА
*email: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

АННОТАЦИЯ Описаны результаты экспериментальных исследований режимных параметров работы биофильтра и проведена их оптимизация для повышения эффективности биологического удаления высоких концентраций сероводорода из газового потока в процессе иммобилизации сульфидоокисляющих бактерий на минеральном носителе из фосфогипса. Влияние времени удержания и значения pH системы на эффективность очистки газового потока от сероводорода были аппроксимированы уравнениями регрессии, также был определен режим промывки биофильтра для удаления элементарной серы как продукта газоочистки.

Ключевые слова: биологическая очистка, серосодержащие газовые потоки, сульфидоокисляющие бактерии, минеральный носитель, фосфогипс

DETERMINATION OF REGIME PARAMETERS OF HEAVY LOADED OF BIO- DESULFURIZATION SYSTEM WITH PHOSPHOGYPSUM USING

E. CHERNISH, E. YAKHNENKO

Department of applied ecology, Sumy state University (SSU), Sumy, UKRAINE

ABSTRACT This paper focuses on the study the possibility of phosphogypsum utilization in the bio-desulfurization system for hydrogen sulfide removal from gases flows with high hydrogen sulfide concentration (10%, 20% and 30% of the gas total volume). The optimal parameters of the process of granulation dihydrate phosphogypsum were determined. The depending of the gas cleaning efficiency under immobilization of the thiobacillus on the surface support medium was analyzed from such regime parameters as residence time and pH of system. The main optimal parameters of the gas cleaning process were determined. The degree of H₂S removal (10% w/w) from a gas stream was 99,8% at pH=5,0 and optimum empty bed residence time of 10 h. With increasing H₂S content to 30% of the gas total volume the purification efficiency decreases to 97.6% at other equal conditions. The possibility of the phosphogypsum using as a new type of mineral support medium for the associations of sulfide-oxidizing bacteria developing was determined in the process of biological gases purification from sulfur compounds. Bacterial desulphurization of H₂S increases with increase of residence time (10 h.) and then declines at 15 h. This was due to the accumulation of metabolic products of bacteria. The period of lag phase of growth Thiobacillus sp. initially depended on the concentration of H₂S in the system. Further lowering the pH to 4,0 did not lead to an increase in the degree of hydrogen sulfide removal. Effects of residence time and pH on the efficient of hydrogen sulfide removal were approximated regression equations. The biofilter washing mode to remove elemental sulfur was also determined.

Keywords: biological purification, sulfur-containing gases flows, sulfide-oxidizing bacteria, mineral carrier, phosphogypsum

Введение

Современной общемировой проблемой является образование отходов промышленной переработки природного сырья и пополнение их отходов, что угрожает устойчивому функционированию природных экосистем разного уровня и представляет угрозу вторичного загрязнения окружающей среды.

Большое количество отходов в виде фосфогипса образуется при производстве экстракционной фосфорной кислоты. Так, ежегодные объемы его накопления в мире составляют до 130 млн. т. [1], по современным данным на территории Украины уже накоплено больше 90 млн. тонн [2], а на территории Сумской области – свыше 14 млн. т

фосфогипса, причем ежегодно в области его образуется около 100 тыс. т. [3].

Хранение и утилизация фосфогипсовых отходов является актуальной и нерешенной проблемой, что связано не только с отчуждением земель под хранение отвала, но и с воздействием на прилегающие территории из-за пыления, испарения в атмосферу, воздействие на почвы прилегающих ландшафтов. Так, негативное воздействие отвалов фосфогипса, особенно «свежей очереди», может проявляться в загрязнении подземных и поверхностных вод, почвенно-растительного покрова токсичными веществами в результате их испарения и вымывания из стенок отвала атмосферными осадками, при попадании в атмосферу под действием выветривания и пыления. Отвал может стать

источником гидродинамического воздействия на окружающую среду, вызывая изменение уровня подземных вод, что может приводить к отрицательным явлениям в близлежащей селитебной зоне, происходит отчуждение и загрязнение значительных площадей земельных участков, трансформация природного ландшафта [4 - 6].

Существуют различные способы возможной утилизации фосфогипсовых отходов, что делает возможным уменьшение негативного воздействия на ОС [7, 8]. Достаточно новыми среди них являются способы использования фосфогипса в технологиях защиты окружающей среды. Так, разработанным перспективным направлением с использованием фосфогипса является переработка осадков сточных вод в системах анаэробной микробиологической деградации с осаждением тяжелых металлов биогенным сероводородом – продуктом жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий, где гранулированный фосфогипс выступает иммобилизационным субстратом для бактериальной культуры [9].

Одним из возможных способов утилизации фосфогипсовых отходов является использование в технологиях биоочистки газовых потоков от соединений серы с помощью ассоциации сероокисляющих микроорганизмов. При этом использование тиобактериями как субстрата компонентов фосфогипса приводит к формированию стойкой биопленки, что было изучено в [10].

К серосодержащим газовым потокам относятся все газы нефтепереработки (крекинга, риформинга, гидроочистки и т. д.), генераторный, сланцевой переработки, коксовый и природный. Сероводород присутствует также в биогазе, который образуется в процессе анаэробного сбраживания органических отходов. Биологической очистки могут поддаваться газовые потоки различного происхождения [11 - 13]. Однако большинство систем биодесульфуризации используется для очистки газовых потоков с содержанием сероводорода начиная от 25 до 750 ppm [11 - 14], что ограничивает возможные направления использования систем биологической газоочистки.

Сероводород, который может содержаться в газовых потоках в разных количествах и, как следствие, замедлять или останавливать каталитические процессы, в результате биоочистки выводится из технологической схемы и может быть переработан в товарный продукт – элементарную серу. Также извлечение сероводорода или иных серосодержащих соединений уменьшает возможность попадания данных веществ в атмосферу и способствует уменьшению негативного техногенного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, актуальным является разработка экологически безопасного направления использования фосфогипса в высоконагруженных системах биологической газоочистки.

Цель работы

Целью данной работы является изучение зависимости процесса биологического удаления высоких концентраций сероводорода из газового потока от ряда режимных параметров в процессе иммобилизации тиобактерий на минеральном носителе из фосфогипса. Задания, на решение которых направлена работа:

- экспериментальное исследование зависимости степени эффективности газоочистки от концентрации сероводорода в газовой смеси, времени удержания газовой смеси в биофильтре и значения pH системы;
- построение регрессионной модели процесса биологической газоочистки;
- оптимизация процесса промывки биофильтра для удаления элементарной серы из поверхности гранул фосфогипса.

Изложение основного материала

Экспериментальное моделирование процесса биологической газоочистки с применением минеральной загрузки на основе фосфогипса. Лабораторные эксперименты проводились в биофильтре (рис.1), представляющем собой колонну из оргстекла (1) с гранулированной минеральной загрузкой (2), изготовленной из дигидратного фосфогипса, которую предварительно инокулировали биомассой сульфидокисляющих бактерий (*Thiobacillus sp.*), выделенной в накопительную культуру из активного ила.

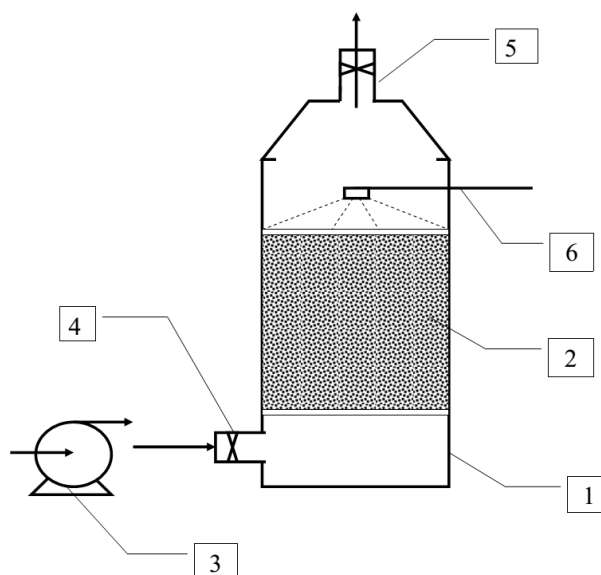


Рис. 1 – Экспериментальная лабораторная установка: 1 – колонна из оргстекла; 2 – гранулированная загрузка из фосфогипса; 3 – компрессор; 4 – штуцер для подачи газовой смеси; 5 – штуцер для отвода очищенного газа; 6 – ороситель-спринклерный

При исследовании степени удаления сероводорода газовую смесь известного состава (содержащую не менее 10% H₂S по объему) нагнетали компрессором (3) в нижнюю часть колонны через штуцер (4). В верхней части колоны был расположен штуцер (5) для отведения газа, который прошел очистку, и отбора проб для анализа. Для орошения в биофилт্রে использовали ороситель спринклерный (6) для подачи водопроводной воды.

Проводилось измерение концентрации H₂S на выходе из биофилтра через регулярные промежутки времени (5, 10, 15 ч.), также осуществлялся контроль физико-химических характеристик гранулированной загрузки из фосфогипса (рН и влажность). Биогазоочистка проводилась в мезофильном режиме (303К).

Исследования газовой фазы проводились на лабораторном газовом хроматографе СЭЛМИХРОМ-1 (Сумы, Украина). Были использованы три последовательно подключенные колонки: предварительная PLOT колонка с «PorqPLOT Q»; балластная колонка с «Хроматон N-AW-DMCS»; HP-PLOT колонка с молекулярным ситом Mole Sieve. В качестве газа-носителя был использован аргон, скорость потока 25 см³/мин. Был применен детектор теплопроводности (катарометр). Для градуировки и определения времени удерживания газа использовалась аттестованная поверочная газовая смесь (ПГС) (ТУ 24.1-025681820016200): Ar-CO₂-H₂S (40-30-30%); Ar-CO₂-H₂S (50-30-20%); Ar-CO₂-H₂S (60-30-10%); Ar-CH₄-H₂S (35-45-20%).

Вариацией длины колонки, температурного режима и скорости газа-носителя были выбраны такие условия анализа:

- предварительная PLOT-колонка 1 – внутренний диаметр 0,32-мм, длина 10 м;
- сорбент «PorqPLOT Q» – 10⁻³ мм;
- колонка 2 - внутренний диаметр 3-мм, длина 5 м;
- сорбент «Хроматон N-AW-DMCS» – 0,20–0,25 мм;
- HP-PLOT-колонка 3 – внутренний диаметр 0,32 мм, длина 10 м;
- молекулярные сита Mole Sieve – 4·10⁻⁷ мм;
- температура колонок – 333 К;
- ток моста – 220·10⁻³ А.

Определение экстремумов функции $M(Y)$ в области переменных режимных параметров $X(f)$ процесса удаления сероводорода из газовой смеси. Математическое ожидание критерия оптимизации Y является функцией от вектора X входных управляемых переменных (факторов варьирования):

$$M(Y) = f(\bar{X}) = f(X_1; X_2; \dots; X_n), \quad (1)$$

где n – число факторов, то задача сводится к поиску таких значений факторов

$\bar{X}^* = f(X_1^*; X_2^*; \dots; X_n^*)$, при которых целевая функция достигает экстремума.

Таким образом, математическое ожидание можно подать регрессионным уравнением вида

$$M(Y) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_1^2 + a_4 X_2^2 + a_5 X_1 X_2 + \dots, \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2, \dots – коэффициенты регрессии при соответствующих переменных.

В качестве критерия отклика было взято наибольшее значение Y_1 , что соответствует максимальной эффективности удаления сероводорода из газового потока.

Статистическая обработка результатов осуществлялась в программе MS Excel. Математическая обработка результатов экспериментов проводилась с помощью пакета программы Statistica 6.0.

Обсуждение результатов

При определении оптимальных сочетаний таких факторов, как время удержания (X_1) и значение рН (X_2), была построена диаграмма трехмерной поверхности (рис. 2), которая объединяет набор значений данных по сериям экспериментов с варьированием значений рН в диапазоне от 4,0 до 6,5 с интервалом 0,5 ед. при содержании сероводорода в газовой смеси 20%.

Влияние времени удержания (X_1) и значения рН (X_2) на эффективность очистки газового потока от сероводорода (Y) аппроксимируется следующими уравнениями регрессии для разных концентраций сероводорода в газовой смеси:

– при содержании сероводорода 30% от общего объема газовой смеси

$$M(Y_1) = -360,45 + 36,05X_1 + 102,55X_2 - 1,46X_1^2 - 10,38X_2^2; \quad (3)$$

коэффициент детерминации составил 0,9678, стандартная ошибка оценки – 0,1780;

– при содержании сероводорода 20%

$$M(Y_1) = -310,83 + 36,95X_1 + 80,11X_2 - 1,52X_1^2 - 8,15X_2^2; \quad (4)$$

коэффициент детерминации составил 0,9641, стандартная ошибка оценки – 0,1920;

– при содержании сероводорода 10%

$$M(Y_1) = -279,17 + 35,59X_1 + 69,47X_2 - 1,44X_1^2 - 7,17X_2^2. \quad (5)$$

коэффициент детерминации составил 0,9745, стандартная ошибка оценки – 0,1890;

С увеличением времени удержания (X_1) газовой смеси в пространстве биофилтра происходит увеличение эффективности конверсии сероводорода в соответствии с регрессионными уравнениями (3-5) с первоначальной лагфазой в течении 5 первых часов (рис. 2) и стабилизацией оптимальной степени очистки на 10–12 часов.

Наименьшая степень очистки газового потока происходит при значениях рН=6,5 и в среднем составляет 65 % при содержании сероводорода 30% от объема газового потока.

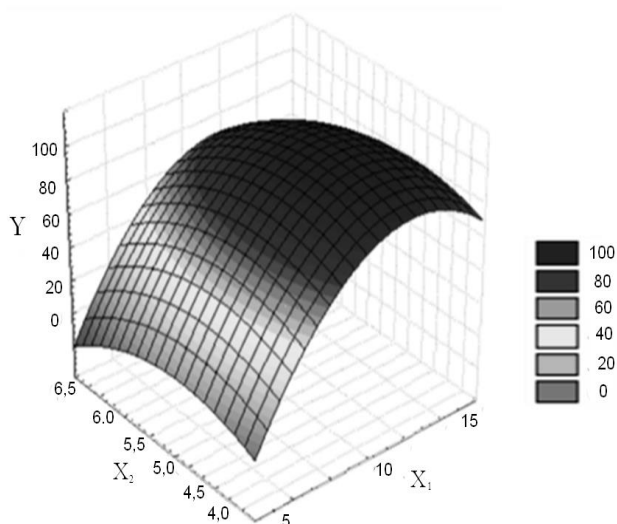


Рис. 2 – Зависимость эффективности удаления сероводорода (Y_1) от времени удержания (X_1) газовой смеси и pH раствора в биофилт্রে (X_2)

Наиболее высокая эффективность биоочистки (99,8%) газовой смеси достигается при концентрации в нем H_2S 10% при pH=5 и времени удержания газовой фазы в биофилт্রে 10 часов (рис. 2). С увеличением содержания H_2S до 30% эффективность очистки снижается до 97,6 % при других одинаковых условиях.

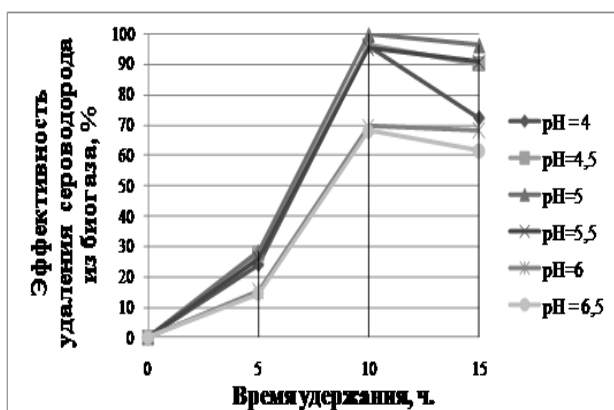


Рис. 3 – Зависимость степени удаления сероводорода из газового потока в биофилт্রে от времени удержания при разных значениях pH

Таким образом, для оптимального развития ацидофильной ассоциации видов сульфидокисляющих бактерий значение pH должно находиться в пределах от 4,5 до 5. Как видно из рис. 3 в течении первых пяти часов бактерии адаптируются к условиям среды биофилтра (лаг фаза), начинают постепенно поглощать сероводород, преобразуя его в серу (степень удаления H_2S до 30%). Затем следующие 5 часов происходит наращивание биомассы на поверхности гранул фосфогипса с

образованием стойкой биопленки, что усиливает потребность бактерий в веществах и энергии, и способствует максимально эффективной газоочистке (97-99,8%). Снижение эффективности очистки до 93-87% после 10 часов удержания в биофилт্রে газовой смеси объясняется накоплением метаболитов в виде серы на поверхности самих бактериальных клеток и минеральном субстрате (гранулах фосфогипса).

Периодичность удаления с поверхности фосфогипсовых гранул серы соответствует длительности периода удержания растворимых примесей до их полной конверсии. Так, при прохождении объема газа через минеральную загрузку растворенный сероводород задерживается в биофилт্রে на время (X_1) до полной конверсии и этот промежуток времени и является периодом накопления серы на гранулах, после прохождения которого она удаляется. Для извлечения элементарной серы осуществляли промывку биофилтра проточной водопроводной водой, которая подавалась из оросительной системы в верхней части биофилтра в течении определенного времени (X_3). Организация удаления серы может проводиться без остановки подачи газового потока на очистку.

Для процесса газоочистки важным является организация рационального процесса промывки биофилтра для удаления элементарной серы с поверхности гранул фосфогипса. Зависимость концентрации серы в водном растворе от продолжительности промывки приведены на рис. 4 при очистке газовой смеси, содержащей 20% H_2S .

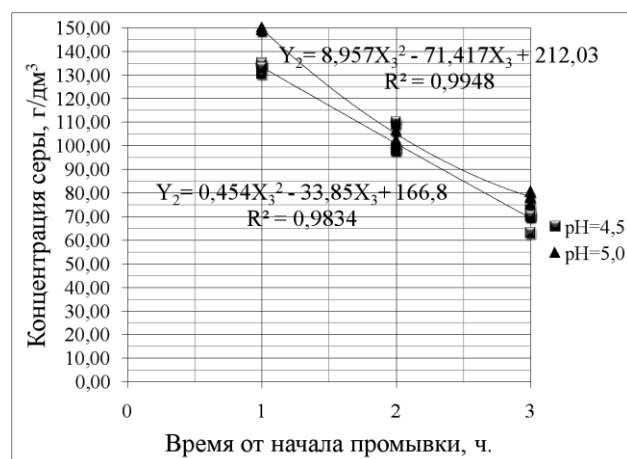


Рис. 4 – Зависимость концентрации серы (Y_2), которая удаляется из биофилтра, от времени промывки биофилтра (X_3) при разных значениях pH системы

Следует отметить, что при удалении серы в первый час промывки уходит основная ее часть, при этом максимальный выход элементарной серы достигает 149 г на 1 $дм^3$ водного раствора. За последующие периоды промывки количество извлеченной серы уменьшается по массе и достигает

99 г/дм³ (через 2 часа) и 70 г/дм³ (через 3 часа), т.е. прослеживается нелинейный закон вымывания серы.

Отметим, что использование вторичного сырья для производства минерального носителя в биофилтре имеет такие преимущества как легко доступность и дешевизна. Высокое содержание концентрацией питательных веществ являются дополнительным преимуществом использования гранулированного фосфогипса как носителя, что и стимулирует метаболическую продуктивность системы по выходу элементарной серы и достижение показателей эффективности биоочистки от высоких концентраций сероводорода не менее 97% при оптимальном сочетании режимных параметров работы биофилтра.

Выводы

В работе рассмотрена возможность биоочистки газовых потоков при высоких концентрациях сероводорода (от 10 до 30%). При этом для иммобилизации сульфидоксилирующих бактерий использовался минеральный носитель из дигидратного фосфогипса, что обеспечивает увеличение резистентности нужных экологотрофических групп бактерий к токсическому действию высоких концентраций сероводорода. Об этом свидетельствует высокая степень очистки модельных газовых смесей и высокий уровень накопления метаболита тиобактерий (элементарной серы) на поверхности фосфогипсовых гранул.

Список литературы

1. Лотош, В. Е. Переработка отходов природопользования / В. Е. Лотош // *Екатеринбург: изд-во УрГУПС*. – 2002. – 463 с.
2. Кожушко, В. П. Гидрофобизация изделий из гипсовых вяжущих – одно из направлений расширения сферы их применения в строительстве / В. П. Кожушко // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2005. – № 29. – С. 83-86.
3. Мирка, Г. Е. Проблемы утилизации техногенных отходов промышленных предприятий Сумской области / Г. Е. Мирка, Н. Г. Рудой // *Материалы 3-ей Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов»*. – 2006. – С. 101-102.
4. Наркевич, И. П. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ / И. П. Наркевич, В. В. Печковский // М.: Химия. – 1984. – 240 с.
5. Петренко, Д. В. Влияние производства фосфорных удобрений на содержание стронция в ландшафтах: автореф. дис. на соискания наук. степени канд.биол.наук: спец. 03.02.08 – «Экология» / Д. В. Петренко. – Москва. – 2014. – 15 с.
6. Degirmenci, N. Application of phosphogypsum in soil stabilization / N. Degirmenci, A. Okucu, A. Turabi // *Building and Environment*. – 2007. – № 42 (9). – P. 3393-3398. – doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.010
7. Papastefanou, C. The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact / C. Papastefanou, S. Stoulos, A. Ioannidou, M. Manolopoulou // *Journal of*

- Environmental Radioactivity*. – 2006. – №89 (2). – P. 188-198. – doi:10.1016/j.jenvrad.2006.05.005.
8. Shen Weiguo Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material / Shen Weiguo, Zhou Ming kai, Ma Wei, Hu Jinqiang, Cai Zhi // *Journal of hazardous materials*. – 2009. – 164(1). – P. 99-104. – doi:10.1016/j.jhazmat.2008.07.125.
9. Plyatsuk, L. D. Intensification of the anaerobic microbiological degradation of sewage sludge and gypsum waste under bio-sulfidogenic conditions / L. D. Plyatsuk, E. Yu. Chernish // *The Journal of Solid Waste Technology and Management (USA)*. – 2014. – Vol. 40, no 1. – P. 10-23. – doi:10.5276/JSWTM.2014.10.
10. Черныш, Е. Ю. Адсорбционная иммобилизация сульфидоксилирующих бактерий в массе носителя, изготовленного из фосфогипса / Е. Ю. Черныш, Л. Д. Пляцук // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – №3/4 (23). – С. 4-7. – doi:10.15587/2312-8372.2015.42046.
11. Park, Byoung-Gi C. Simultaneous Biofiltration of H₂S, NH₃ and Toluene using an Inorganic/Polymeric Composite / C. Byoung-Gi Park, Won S. Shin, J. S. Chung // *Environ. Eng. Res.* – 2008. – Vol. 13, no. 1. – P. 19-27. – doi:10.4491/eer.2008.13.1.019.
12. Ramirez, M. Removal of hydrogen sulphide by immobilized Thiobacillus thioparus in a biofilter packed with polyurethane foam / M. Ramirez, J. M Gómez, D. Cantero // *Bioresource Technology*. – 2009. – Volume 100, Issue 21. – P. 4989-4995.
13. Janssen, A. J. Performance of a sulfide oxidizing expanded bed reactor supplied with dissolved oxygen / A. J. Janssen, S. C. Ma, P. Lens, G. Lettinga // *Biotechnology and Bioengineering*. – 1997. – № 53(1). – P. 32-40. doi:10.1002/(SICI)1097-0290(19970105)53:1<32::AID-BIT6>3.0.CO;2-#.
14. Пат. Европейський № EP 0845288 A1, МПК B01D53/48, C12S5/00, C10L3/10, B01D53/84 Process for biological removal of sulphide. Cees Jan Nico Buisman, Albert Jozef Hendrik Janssen; Thiopaq Sulfur Systems B.V. – № EP19960203347; заявл. 27. 11.1996; опубл. 3. 06.1998.

Bibliography (transliterated)

1. Lotosh, V. E. Recycling wildlife [Recycling waste wildlife], *Yekaterinburg: Published of USURT*, 2002, 463 p.
2. Kozhushko, V. P. Hydrophobisation of articles from gypsum binders is one of the expansion of their using in construction [Waterproofing of articles from gypsum binders - one of the areas of expanding the scope of their application in construction]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta [Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University]*, 2005, 29, 83-86.
3. Mirka, G. E., Rudoi, N. G. Problemy utilizatsii tekhnogennykh otkhodov promyshlennykh predpriyatiy Sumskoy oblasti [Problems of utilization of technogenic waste of the industrial enterprises of the Omsk region], *Proceedings of the 3rd International Conference "Cooperation for Waste Issues"*, 2006, 101-102.
4. Narkevich, I. P. Utilizatsiya i likvidatsiya otkhodov v tekhnologii neorganicheskikh veshchestv [Recycling and waste disposal in the technology of inorganic substances], Moscow: Ximiya, 1984, 240 p.

- 5 **Petrenko, D. V.** Vliyanie proizvodstva fosfornykh udobreniy na sodержanie strontsiya v landshaftakh [Effect of phosphate fertilizer on the strontium content of the landscapes]: Abstract. *Dis. on competition sciences. degree kand.biol.nauk: spec.* 03.02.08 - Ecology, Moscow, 2014.
- 6 **Degirmenci, N., Okucu, A. and Turabi, A.** Application of phosphogypsum in soil stabilization. *Building and Environment*, 2007, **42**(9), 3393-3398, doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.010.
- 7 **Papastefanou, C., Stoulos, S., Ioannidou, A. and Manolopoulou M.** The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact, *Journal of Environmental Radioactivity*, 2006, **89** (2), 188-198, doi:10.1016/j.jenvrad.2006.05.005.
- 8 **Shen, Weiguo, Zhou, Ming kai, Ma, Wei, Hu, Jinqiang and Cai, Zhi** Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material, *Journal of hazardous materials*, 2009, **164**(1), 99-104, doi:10.1016/j.jhazmat.2008.07.125.
- 9 **Plyatsuk, L. D. Chernish E. Yu** Intensification of the anaerobic microbiological degradation of sewage sludge and gypsum waste under bio-sulfidogenic conditions, *The Journal of Solid Waste Technology and Management (USA)*, 2014, **40**(1), 10-23, doi:10.5276/JSWTM.2014.10.
- 10 **Chernish, E., Plyatsuk, L.** Adsorbtsionnaya immobilizatsiya sulfidokislyayushchikh bakteriy v masse nositelya, izgotovlennogo iz fosfogipsa [Adsorbition immobilization of sulfide-oxidizing bacteria in the mass of the support medium made of phosphogypsum], *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva [Technology audit and production reserves]*, 2015, **3/4**(23), 4-7, doi:10.15587/2312-8372.2015.42046
- 11 **Park, Byoung-Gi C., Shin, Won S., Chung, J. S.** Simultaneous biofiltration of H₂S, NH₃ and toluene using an inorganic polymeric composite, *Environ. Eng. Res.*, 2008, **13**(1), 19-27, doi:10.4491/eer.2008.13.1.019.
- 12 **Ramirez, M., Gómez, J., Cantero, D.** Removal of hydrogen sulphide by immobilized Thiobacillus thioautotrophicus in a biofilter packed with polyurethane foam, *Bioresource Technology*, 2009, **100**(21), 4989-4995.
- 13 **Janssen, A. J., Ma, S. C., Lens, P., Lettinga, G.** Performance of a sulfide oxidizing expanded bed reactor supplied with dissolved oxygen, *Biotechnology and Bioengineering*, 1997, **53**(1), 32-40. doi:10.1002/(SICI)1097-0290(19970105)53:1<32::AID-BIT6>3.0.CO;2-#.
- 14 **European patent № EP 0845288 A1** Process for biological removal of sulphide / **Cees Jan Nico, Buisman and Albert Jozef Hendrik, Janssen** // applicant and recipient patent *Thiopaq Sulfur Systems B.V.*, 1998.

Сведения об авторах (About authors)

Черныш Елизавета Юрьевна – кандидат технических наук, Сумской государственный университет (СумГУ), старший преподаватель кафедры прикладной экологии Сумского государственного университета, г. Сумы, Украина; e-mail: e.ur.chernish@gmail.com

Chernish Elizaveta Yuriyevna – Candidate of Technical Sciences, senior lecturer in Department of Applied Ecology, Sumy State University (SSU), Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: e.ur.chernish@gmail.com

Яхненко Елена Николаевна – ассистент кафедры прикладной экологии Сумского государственного университета, Сумской государственный университет (СумГУ), г. Сумы, Украина; e-mail: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

Yakhnenko Elena Nikolaevna – assistant in Department of Applied Ecology, Sumy State University (SSU), Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: o.jakhnenko@ecolog.sumdu.edu.ua

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Черныш, Е. Ю. Определение режимных параметров работы высоконагруженных систем биодесульфуризации с применением фосфогипса / **Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 207-212. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.31.

Please cite this article as:

Chernish, E., Yakhnenko, E. Determination of regime parameters of heavy loaded of bio-desulfurization system with phosphogypsum using. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 207-212, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.31.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Черныш, Е. Ю. Визначення режимних параметрів роботи високонавантажених систем біодесульфуризації з використанням фосфогіпсу / **Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 207-212. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.31.

АНОТАЦІЯ Здійснено опис результатів експериментальних досліджень режимних параметрів роботи біофільтра і проведена їх оптимізація для підвищення ефективності біологічного видалення високих концентрацій сірководню з газового потоку в процесі іммобілізації сульфідокислюючих бактерій на мінеральному носії із фосфогіпсу. Вплив часу утримання і значення рН системи на ефективність очищення газового потоку від сірководню були апроксимовані рівняннями регресії, також було визначено режим промивання біофільтра для видалення елементарної сірки як продукту газоочищення.

Ключові слова: біологічне очищення, сірковмісні газові потоки, сульфідокислюючі бактерії, мінеральний носій, фосфогіпс

Надійшла (received) 10.03.2016

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

<i>Буртна І. А., Ружинська Л. І., Руденко Л. С.</i> Математична модель масообмінних процесів первапораційного очищення води	5
<i>Витвицький В. М., Сокольський О. Л., Мікульонюк І. О.</i> Вплив тиску та температури на коефіцієнт тертя гранульованих полімерних матеріалів по металевій поверхні	12
<i>Грабовський А. В.</i> Вплив варійованих інерційно-жорсткісних параметрів на характеристики динамічних багатомасових систем	17
<i>Іщенко О. А., Ткачук Г. В., Грабовський А. В., Дьоміна Н. А.</i> Формування комплексних розрахункових моделей елементів штампів для розділових операцій	23
<i>Лазарєв Т. В., Карвацький А. Я., Лелека С. В., Педченко А. Ю.</i> Математична модель процесу екструзії в'язко-пластичної вуглецевої маси	31
<i>Ластівка І. О., Дорошенко К. В., Терещенко Ю. Ю.</i> Розрахункове дослідження газодинамічного впливу на течію в решітках аеродинамічних профілів	38
<i>Лобко А. В.</i> Фізичне моделювання однофазного резонансного напівпровідникового перетворювача з фазовим способом керування	47
<i>Моргунов В. В., Диденко Н. В., Тріщ Р. М.</i> Вибір і використання математичних методів для визначення технологічних параметрів радіаційно-захисних матеріалів	56
<i>Мохаммадсадегі Ф., Чигрин В. С., Єніфанов С. В.</i> Вдосконалення методів виявлення нестійких режимів роботи осьових компресорів з використанням аналізу вібрацій	62
<i>Сенько В. І., Максим С. В., Чепурний А. Д., Шейченко Г. І., Литвиненко О. В., Граборов Р. В., Ткачук М. А., Чубань М. О.</i> Випробування вагона-платформи універсальної	71
<i>Скріпченко Н. Б., Ткачук М. М., Атрошенко О. О.</i> Розрахунково-експериментальне дослідження контакту складнопрофільних тіл	84
<i>Чайковська Є. Є.</i> Контроль працездатності сушильної установки у складі когенераційної системи	89

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

<i>Аврунін О. Г., Шушлягіна Н. О., Носова Я. В., Богдан О. М.</i> Ольфактометрична діагностика на сучасному етапі	95
<i>Вавіленкова А. І.</i> Способи виявлення логічних зв'язків між частинами текстових документів	101
<i>Грудзинський Ю. Є., Марков Р. В.</i> Вибір протоколу серіалізації для розробки програмного забезпечення комунікаційного модуля scada-систем	106
<i>Дубовик Д. Д., Дубовик Т. М.</i> Розробка алгоритму зональних характеристик штучних водоймищ	112
<i>Качанов П. О., Зусь А. О., Яценко К. М.</i> Метод суміщення геопросторових даних	119
<i>Кисельова А. Г., Кисельов Г. Д.</i> Регуляризація контекстних даних при керуванні автономними системами електроживлення	125
<i>Оборський Г. О., Мигуценко Р. П., Перпері Л. М., Паленний Ю. Г.</i> Невизначеність вимірювань з використанням АЦП для процесів що плінуть повільно	131
<i>Пивоваров Є. П., Большакова В. Л., Кондратюк Н. В., Демидова О. В.</i> Система управління якістю та безпеністю при виробництві капсульованих напівфабрикатів з пробіотичними мікроорганізмами	137

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

<i>Безусов А. Т., Нікітчина Т. І.</i> Вплив ефекторів пектинметилестерази люцерни на кінетику деестерифікації пектинових речовин	145
<i>Завгородня Н. І., Пивоваров О. А., Носенко О. В.</i> Утилізація електровакуумного скла відпрацьованих кінескопів в силікатній суміші для виготовлення силікатної цегли	150
<i>Никулишин І. Є., Шевчук Л. І., Оробчук О. М., Фалик Т. С.</i> Дослідження залежності фізико-хімічних та органолептичних показників медів питних варених від хімічного складу сировини та умов процесу зброджування	156

<i>Палюх З. Ю., Мельник Ю. Р., Мельник С. Р.</i> Вплив параметрів процесу на алкоголіз соняшникової олії етиловим спиртом	163
<i>Прісс О. П., Загорко Н. П.</i> Вплив теплової обробки біологічно активними речовинами на функціонування системи низькомолекулярних антиоксидантів під час зберігання плодів перцю	169
<i>Сергєєва О. В., Півоваров О. А.</i> Характеристики кисень вмісних з'єднань кобальту які отримано плазмохімічною обробкою водних розчинів	176
<i>Сердюк М. Є., Гапріндашвілі Н. А.</i> Визначення збереженості плодів яблуні	181
<i>Ситнік Н. С., Демидов І. М., Куниця К. В.</i> Дослідження активності гліцерату калію як каталізатору перестерифікації жирів за різних умов проведення процесу	188
<i>Тюрікова І. С., Пересічний М. І., Рогова Н. В., Непом'яца О. О.</i> Технологія створення напоїв з використанням волоського горіху	194
<i>Циганкова О. В., Білько М. В.</i> Дослідження якісних характеристик білих і рожевих виноматеріалів з перспективних сортів винограду	201
<i>Черниш Є. Ю., Яхненко О. М.</i> Визначення режимних параметрів роботи високонавантажених систем біодесульфуризації з використанням фосфогіпсу	207

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

<i>Burtna I., Ruzhinska L., Rudenko L.</i> Mathematical model of mass transfer processes of pervaporation water purification	5
<i>Vytvytskyi V., Sokolskyi O., Mikulionok I.</i> Influence of pressure and temperature on the friction granular polymeric materials to the metal surfaces	12
<i>Grabovskiy A.</i> The effect of variable inertia-stiffness parameters on dynamic multi-mass systems	17
<i>Ishchenko O., Tkachuk A., Grabovskiy A., Demina N.</i> Formation of complex computable models of dies elements for shearing operations	23
<i>Lazariev T., Karvatskii A., Leleka S., Pedchenkon A.</i> the mathematical model of extrusion of viscoplastic carbon composition	31
<i>Lastivka I., Doroshenko K., Tereshchenko Y.</i> Computational study of gas dynamic influence on the flow in lattice of airfoils	38
<i>Lobko A. V.</i> Physical simulation of resonant single-phase semiconductor converters with phase operating methods	47
<i>Morgunov V., Didenko N., Trishch R.</i> Choice and use of mathematical methods to determine the technological parameters of radiation-shielding materials	56
<i>Mohammadsadeghi F., Chygryn V., Yepifanov S.</i> Vibration-based detection of axial-flow compressor unstable operation	62
<i>Sen'ko V., Makeev S., Chepurnoy A., Sheychenko R., Litvinenko O., Graborov R., Tkachuk M., Chuban M.</i> Testing of the universal platform car	71
<i>Skripchenko N., Tkachuk N., Atroshenko O.</i> Numerical and experimental study of contact for bodies of complex shape	84
<i>Chaikovskaya Eugene</i> Control working ability of the drying plant in the composition of the cogeneration system	89

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

<i>Avrinin O., Shushlyapina N., Nosova Y., Bogdan O.</i> Olfactometry diagnostic at the modern stage	95
<i>Vavilenkova A.</i> Methods of identifying logical connections between parts of text documents	101
<i>Grudzynskyy Y., Markov R.</i> Protocol selection for serialization software development communication module scada-systems	106
<i>Dubovyk D., Dubovyk T.</i> Development of an algorithm of zonal characteristics of artificial reservoirs	112

<i>Kachanov P, Zuev A., Yatsenko K.</i> Method of overlapping geospatial data	119
<i>Kyselova A., Kyselov G.</i> Regularization of context data of autonomous power supply systems	125
<i>Oborsky G. A., Mygushchenko R. P., Perperi L. M., Palenny Yu. H.</i> Uncertainty of measurement with ADC for slowly proceed processes	131
<i>Pivovarov E., Bol'shakova V., Kondratjuk N., Demydowa O.</i> Control system by quality and safety at the production of capsulated products with probiotic microorganisms	137

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

<i>Bezysov A., Nikitchina T.</i> Influence of effectors pectin methylesterase alfalfa deesterification kinetics of pectin substances	145
<i>Zavgorodnia N., Pivovarov O., Nosenko O.</i> Utilization in silicate mix for production of the silicate brick of electrovacuum glass of the fulfilled kinescopes	150
<i>Nykulyshyn I., Shevchuk L., Orobchuk O., Falyk T.</i> Investigation of dependence of honey drinking physical, chemical and organoleptic characteristics from the raw materials chemical composition and conditions of fermentation process	156
<i>Palyukh Z., Melnyk Yu., Melnyk S.</i> The effect of parameters on the transesterification process of sunflower oil with ethanol	163
<i>Priss O., Zahorko N.</i> Effect of heat treatment with biologically active substances on the functioning of low-molecular antioxidant system during the storage of sweet bell pepper fruits	169
<i>Sergeyeva O., Pivovarov A.</i> Characteristics of oxygenated cobalt compounds obtained by plasma chemical treatment of aqueous solutions	176
<i>Serdyuk M., Gaprindashvili N.</i> Definitions of apple fruits preservation	181
<i>Sytnik N., Demydov I., Kunitsa K.</i> Doslidzhennya aktyvnosti gliceratu kaliyu yak katalizatoru pereeteryficacii zhyriv za riznyh umov provedennya processu	188
<i>Tiurikova I., Peresichnyi M., Rogovaja N., Nepomiashcha O.</i> Creating technology of drinks with the use of walnuts	194
<i>Tsygankova E. V., Bil'ko M. V.</i> Study quality characteristics of white and rosé wine from grapes promising	201
<i>Chernish E., Yakhnenko E.</i> Determination of regime parameters of heavy loaded of bio-desulfurization system with phosphogypsum using	207

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

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 12 (1184) 2016

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. техн. наук А. В. Грабовський

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 10-16

Підп. до друку «08» квітня 2016 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 10,0.
Тираж 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
