

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Нові рішення
в сучасних технологіях**

№ 26 (1302) 2018
Том 2

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2018

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: New solutions
in modern technology**

No. 26 (1302) 2018
Volume 2

Collected Works

The edition was founded in 1961

Kharkiv
NTU "KhPI", 2018

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 26 (1302) 2018. – Том 2. – 133 с. – ISSN 2079-5459.

Журнал публікує наукові результати та досягнення мультидисциплінарних досліджень молодих науковців широкого профілю у сферах машинобудування, енергетики, технологій органічних і неорганічних речовин, екології, інформаційних технологій і систем управління, а також з фундаментальних аспектів сучасних технологій.

The journal publishes scientific results and accomplishments of multidisciplinary researches of young scientists of a wide profile in the field of machine building, energy, technologies of organic and inorganic substances, ecology, information technologies and control systems, as well as on the fundamental aspects of modern technologies.

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України № 1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 року».

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» індексується в наукометричних базах даних Index Copernicus (Польща), OCLC WorldCat (США), Google Scholar; включений у світовий каталог періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/>

Засновник

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Сокол С. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Заст. головного редактора

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Секретар

Горбунов К. О., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

Сокол С. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар:

Томашевський Р. С., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Меньшикова С. І., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Брагіна Л. Л., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Вехов С., Мерилендський університет, США

Гораш Є., проф., Університет Стратклайда, Великобританія

Данько В. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Долбня В. Т., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Клепиков В. Б., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Куліченко В. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Ларін О. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Львов Г. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Мележик Є., Інститут фізики напівпровідників імені В. Є.

Лашкарьова НАНУ, Україна

Піментел С. Р., проф., Федеральний Університет Гояс,

Бразилія

Раскін Л. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Ситнік Р. Д., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Editor-in-chief

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Deputy editor-in-chief

Marchenko A. P., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Secretary

Gorbunov K. O., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff

Associate editor:

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

Tomashevskiy R. S., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Menshikova S. I., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Bragina L. L., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Vekhov Ye., University of Maryland, College Park, USA

Gorash Ye., prof., University of Strathclyde, UK

Danko V. G., prof., NTUU "KPI", Ukraine

Dolbnya V. T., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Klepikov V. B., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kulichenko V. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Larin A. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Lvov G. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Melezhyk Ye., V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics

NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

Pimentel S., prof., Federal University of Goias, Brazil

Raskin L. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Sytnik R. D., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 06 липня 2018 р.

УДК 621.7

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25

ВАРІАНТИ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ВИСТУПОМ НА ДОННІЙ ЧАСТИНІ ЗІ СТОРОНИ ПОРОЖНИНИ

В. Л. КАЛЮЖНИЙ, А. М. ПОТЯТИНИК

кафедра механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені ім. Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА
*email: kwl_2011@ukr.net

АННОТАЦІЯ Методом скінченних елементів проведений аналіз холодного зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричних порожнистих виробів із виступом на донній частині зі сторони порожнини. Використана пружно-пластична модель металу, що деформується. Встановлені залежності зусилля видавлювання та зусилля виштовхування виробів із матриці від переміщення деформуючого інструмента. Визначені розподіли питомих зусиль на контактуючих поверхнях при максимальному значенні зусилля деформування. видавлювання з роздачою приводить до зменшення зусилля деформування на 13% та питомих зусиль на пуансоні, матриці і виштовхувачі. При видавлюванні з роздачою формоутворення виступу на донній частині проходить при меншому зусиллі. Виявлена температура здеформованого металу при холодному формоутворенні. Визначені кінцевий деформований стан заготовок, форма і розміри виробів з урахуванням пружної деформації після виштовхування із матриці. Встановлені всі параметри для розроблення технології – зусилля та робота деформації для вибору пресового обладнання, питомі зусилля для проектування штампового оснащення, форма і розміри виробів та інтенсивність деформації для оцінки якості виробів та прогнозування механічних властивостей здеформованого металу.

Ключові слова: зворотне видавлювання; порожнистий виріб з виступом на донній частині; метод скінченних елементів; зусилля видавлювання; питомі зусилля; напружено-деформований стан; температура здеформованого металу; форма і розміри виробів.

OPTIONS OF COLD EXPRESSION OF AXISYMMETRIC HOLLOW PRODUCTS WITH THE LEDGE ON THE GROUND PART FROM THE CAVITY

V. KALJUZHNYI, A. POTJATYNYK

Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The finite element method has carried out the analysis of cold traditional extrusion and extrusion with expanding of axisymmetric hollow products with a ledge on a ground part from a cavity. The elasto-plastic model of metal is applied. Dependences of effort of extrusion and effort of ejection of products from a matrix depending on movement of the deforming tool are established. Distributions of specific efforts on the contacting surfaces at the maximum value of effort of deformation are defined. Extrusion with expanding leads to decrease in effort of deformation by 13% and specific efforts on a punch, a matrix and the ejector. At extrusion with expanding shaping of a ledge on a ground part happens at smaller effort. Temperature of deformed metal at cold shaping is determined. The final deformed condition of preparations, a form and the sizes of products taking into account elastic deformation after ejection from a matrix are defined. All parameters for development of technology – effort and work of deformation for the choice of the press equipment, specific efforts for design of the die tooling, a form, the sizes of products and intensity of deformations for assessment of quality of products and forecasting of mechanical properties of deformed metal are set.

Keywords: the extrusion; a hollow product with a ledge on a ground part; a finite element method; extrusion effort; specific efforts; the intense-deformed state; metal temperature; a form and the sizes of products.

Вступ

При виробництві виробів спеціального призначення широко використовуються порожнисті напівфабрикати, що мають виступи на донній частині зі сторони порожнини. Такі напівфабрикати отримують процесами холодного об'ємного штампування, зокрема зворотним видавлюванням, прямим видавлюванням з роздачою або зворотним видавлюванням з роздачою. Для зменшення товщини стінки та збільшення висоти напівфабрикатів використовують подальше витягування з потоншенням через одну або дві-три послідовно

розташовані конусні матриці. На останньому переході формоутворення виробів спеціального призначення використовують операцію обтиску. При цьому на операціях витягування і обтиску необхідно забезпечити відповідні механічні властивості у здеформованому металі стінки.

На рис. 1 показаний ескіз порожнистого виробу з виступом на донній частині зі сторони порожнини та схеми його отримання зворотним видавлюванням. На рис. 1а наведений ескіз виробу із сталі 11ЮА. Крім форми виробу, при видавлюванні необхідно забезпечити відповідну межу текучості σ_s

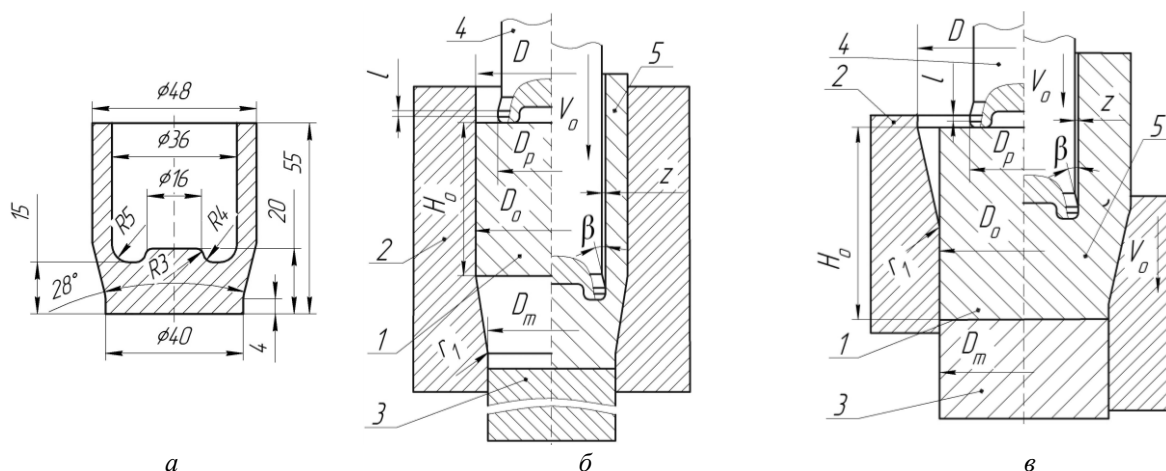


Рис. 1 – Виріб з виступом на донній частині зі сторони порожнини та схеми його отримання холодним видавлюванням: а – ескіз виробу, б – зворотне видавлювання традиційне, в – зворотне видавлювання з роздачою

здеформованого металу у стінці ($\sigma_s \geq 600$ МПа). Найбільш розповсюдженим способом виготовлення таких виробів є зворотне видавлювання традиційне (ЗВТ). Схема ЗВТ приведена на рис. 1б. На схемі ліворуч від вісі симетрії показано положення перед видавлюванням, праворуч – в кінці видавлювання. Вихідну заготовку 1 діаметром D_o і висотою H_o встановлюють в матриці 2. В матриці 2 розміщують виштовхувач 3. Формоутворення виконують за допомогою опускання пуансона 4 з отриманням виробу 5. Наведену схему ще називають комбінованим видавлюванням, тому що метал одночасно зміщується в двох напрямках: пряма течія по конусу матриці та зворотна течія в стінку. Технологія і штампове оснащення виготовлення виробів зворотним видавлюванням традиційним проектується в основному на базі виробничого досвіду і експериментальних даних [1]. При цьому практично відсутні дані по формоутворенні виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини та кінцевій формі і розмірах виробів з урахуванням пружної деформації, а також по температурі, яка виникає у здеформованому металі.

Для видавлювання вказаних виробів також використовують схему прямого видавлювання з роздачою [2]. Проведені дослідження [2-7] показали, що застосування такої схеми приводить до зниження зусилля деформування на пуансоні та підвищення його стійкості. Зменшення зусилля, в порівнянні зі зворотним видавлюванням, досягається завдяки течії металу в одному напрямку та зменшенню величини по абсолютній величині гідростатичного тиску в осередку деформації. Суттєвим недоліком прямого видавлювання з роздачою є низька продуктивність, яка обумовлена складністю видалення готового виробу із штампа. Тому ця схема не знайшла широкого розповсюдження на виробництві. Для

усунення вказаного недоліка використовують схему зворотного видавлювання з роздачою (рис. 1в) [8]. Вихідну заготовку 1 встановлюють в рухомій матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування заготовки 1 виконують за допомогою пуансона 4. При видавлюванні матрицю 2 опускають вниз із однаковою швидкістю з пуансоном 4. Після видавлювання отримують виріб 5.

Використання метода скінчених елементів (МСЕ) для теоретичного аналізу процесів холодного листового і об'ємного штампування дозволяє встановлювати всі необхідні дані для проектування технології і штампового оснащення, які не потребують доопрацювання експериментальними роботами. Комп'ютерне моделювання штампування порожнистих виробів з листових заготовок дозволило виявити особливості формозміни металу та встановити шляхи інтенсифікації вказаних процесів в напрямку скорочення кількості переходів виготовлення та підвищення якості виробів [9-12]. Для процесів холодного видавлювання порожнистих виробів застосування МСЕ дозволило додатково виявити зусилля виймання пуансона із здеформованої заготовки, зусилля виштовхування виробу із матриці та встановити тепловий ефект при холодній формозміні [6-8,13].

В теперішній час відсутні дані для розроблення технології зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

Мета роботи

Метою роботи є порівняльний розрахунковий аналіз зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

Викладення основного матеріалу

Для моделювання використана скінченно-елементна програма DEFORM. Метал заготовки вважався пружно-пластичним, інструмент-абсолютно жорстким. Використання такої моделі металу дозволяє визначити кінцеві форму і розміри виробу, а також виконати моделювання процесів виймання пуансона із zdeформованої заготовки та виштовхування її із матриці після видавлювання [13]. Враховано вплив тертя по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$. Швидкість деформування складала $V_0=7$ мм/сек. Для ЗВТ діаметр вихідної заготовки $D_0=48$ мм, висота $H_0=30$ мм, а для ЗВР - $D_0=40$ мм, $H_0=43,2$ мм. Заготовку з розмірами для ЗВР можна отримувати неповністю відкритим відрізанням із круглого прокату зсувом в штампі на пресі. Вказаний метод отримання вихідних заготовок є високопродуктивним та практично безвідхідним. Розміри пуансона прийняті по розмірах порожнини та виступу на дні (див. рис. 1а). Висота пояса $l=2$ мм, величини зазору $z=0,15$ мм і кута $\beta=7^\circ$. Розміри матриці виконані по розмірах зовнішньої поверхні виробу. Радіус заокруглення $r_1=2$ мм. Було проведено моделювання процесів видавлювання, діставання пуансонів із zdeформованої заготовки та виштовхування виробів із матриці.

Обговорення результатів

Розрахункові схеми в розрізі деформуючого інструмента та заготовки на різних етапах отримання виробів по схемі ЗВТ наведені на рис. 2. На рис. 2а зображене положення на початку видавлювання. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2 і нижнім торцем спирається на конусну поверхню. В циліндричній частині матриці 2 встановлений виштовхувач 3. Зусилля деформування прикладається за допомогою пуансона 4. Положення в кінці видавлювання після опускання пуансона 4 з отриманням виробу 5 показане на рис. 2б. Після видавлювання був проведений розрахунок діставання пуансона із zdeформованої заготовки шляхом переміщення його вгору (рис. 2в). При цьому заготовка залишається в матриці. Далі було виконане моделювання виштовхування виробу 5 із матриці за допомогою переміщення виштовхувача 3. Положення в кінці виштовхування приведені на рис. 2г.

Етапи отримання виробу по схемі ЗВР показані на рис. 3. Положення на початку видавлювання показане на рис. 3а. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2 на виштовхувачі 3. Зусилля деформування прикладається за допомогою пуансона 4. Положення в кінці видавлювання з отриманням виробу 5 показане на рис. 3б, а положення після виймання пуансона із zdeформованої заготовки наведено на рис. 3в. На рис. 3г приведені положення в кінці виштовхування виробу 5 із матриці 2.

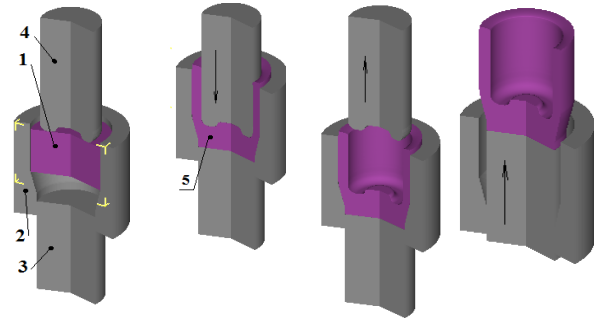


Рис. 2 - Етапи отримання виробу по ЗВТ: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – після діставання пуансона із zdeформованої заготовки, г – після виштовхування виробу із матриці

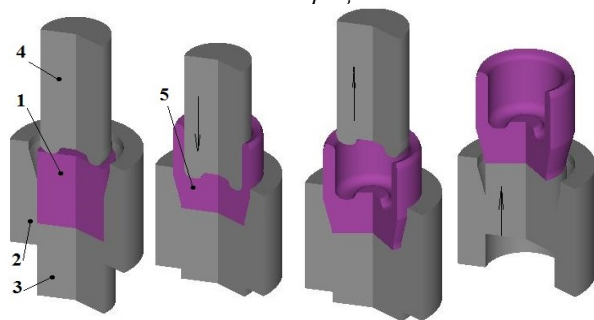


Рис. 3 - Етапи отримання виробу по ЗВР: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – після діставання пуансона із zdeформованої заготовки, г – після виштовхування виробу із матриці

Стадії формоутворення виробу по схемі ЗВТ зображені на рис. 4. Тут і в подальшому тонкими лініями показаний деформуючий інструмент, а розміри по всіх приведено в міліметрах. На рис. 4а наведена стадія, на якій практично заповнюється конусна і нижня циліндрична частина матриці, а метал частково затікає у впадину на пуансоні та стінку. Це відбувається при зусиллі 940 кН і переміщенні пуансона 18 мм. Далі, при зусиллі 2030 кН та переміщенні пуансона 21 мм, повністю заповнюється впадина на пуансоні і починається утворення стінки (рис. 5б). Кінцеві форма і розміри напівфабрикату з урахуванням пружної деформації приведені на рис. 5в. На торці стінки утворюється утяжина висотою 1,42 мм. Для забезпечення необхідних розмірів виробу треба скорегувати розміри деформуючого інструменту на величину пружної деформації, а для отримання рівного торця обробкою різанням треба збільшити висоту вихідної заготовки.

Стадії формоутворення виробу по схемі ЗВР зображені на рис. 5. На рис. 5а показане положення при заповненні впадини на пуансоні. Це відбувається при переміщенні пуансона 6 мм і зусиллі

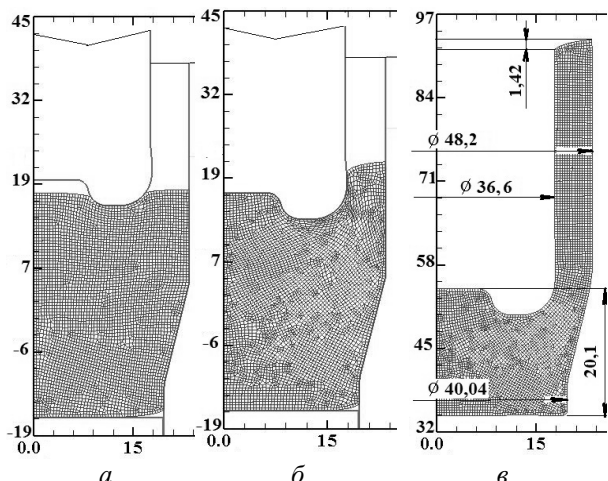


Рис. 4 - Стадії формоутворення та кінцеві форма і розміри виробу при ЗВТ: а – при заповненні конусу матриці, б – при заповненні впадини на пуансоні, в - форма і розміри виробу

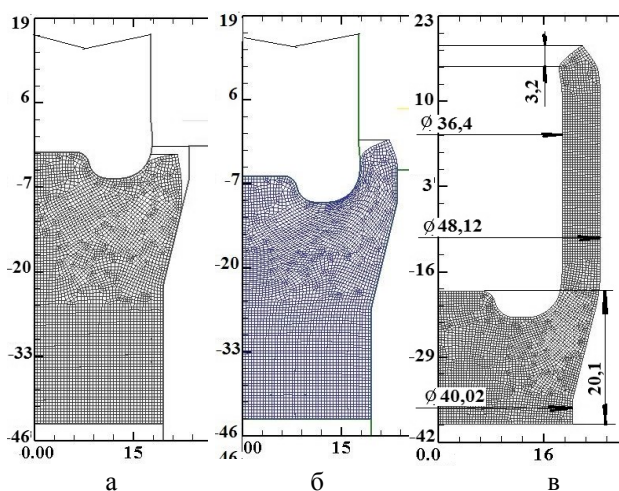


Рис. 5. Стадії формоутворення та кінцеві форма і розміри виробу при ЗВР: а – при заповненні впадини на пуансоні, б – при формоутворенні стінки, в – форма і розміри виробу

деформування 1600 кН. Утворення стінки починається при переміщенні пуансона 10 мм і зусиллі 1970 кН (рис. 5б). На рис. 5в зображені форма і розміри виробу після виштовхування із матриці. Торець стінки має зовсім іншу форму в порівнянні зі ЗВТ. Також зменшується величина пружної деформації після виштовхування виробу із матриці.

На рис. 6 зображені силові режими отримання виробів по двох схемах видавлювання. Залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона показана на рис. 6а. При ЗВТ зусилля спочатку зростає повільно на стадії заповнення конусної частини матриці, а потім відбувається інтенсивне зростання зусилля при заповненні металом впадини на пуансоні та до моменту виходу металу в зазор між калібруючим пояском пуансона і матрицею з досягненням найбільшого значення 2250 кН при переміщенні пуансона 35 мм. Формоутворення

виробу по схемі ЗВР відбувається при меншому зусиллі видавлювання (1970 кН) і переміщенні пуансона 27 мм. Зниження зусилля в порівнянні з ЗВТ складає 13 %. При такому зниженні зусилля видавлювання, по існуючих даних, стійкість деформуючого інструменту збільшується на 25 %. По цих графіках можна визначити роботу деформації. Залежності зусиль виштовхування виробів із матриці від переміщення виштовхувача показані на рис. 6б. Максимальна величина цього зусилля при ЗВТ 36 кН отримана на початку руху виштовхувача. При ЗВР найбільше значення зусилля виштовхування складає 17 кН. Для останньої схеми видавлювання потрібно значно менше переміщення виштовхувача.

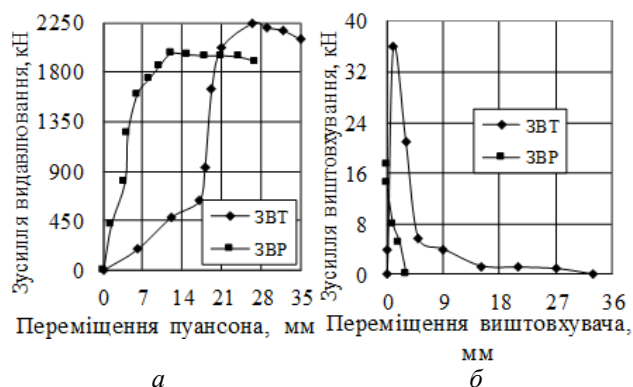


Рис. 6 - Силові режими отримання виробів по схемах ЗВТ і ЗВР: а – залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансона, в – залежності зусиль виштовхування від переміщення виштовхувача

Моделюванням встановлений напружено-деформований стан металу при формоутворенні порожнистих виробів по схемах ЗВТ та ЗВР. Питомі зусилля на контактуючих поверхнях між zdeформованою заготовкою і інструментом можна оцінити по розподілу нормальних напружень σ_n , які виникають при максимальній величині зусилля видавлювання. Розподіли таких напружень зображені на рис. 7. Наведена половина zdeформованої заготовки, а тонкими лініями показаний деформуючий інструмент. При ЗВТ (рис. 7а) на торці пуансона отримані напруження у межах $\sigma_n=1700\div 2500$ МПа. На виштовхувачі найбільше значення цих напружень склало $\sigma_n=1900$ МПа. По висоті матриці нормальні напруження розподілені нерівномірно. На верхній циліндричній частині матриці отримано найбільшу величину $\sigma_n=1000$ МПа. На конусній частині матриці напруження досягають величини $\sigma_n=1700$ МПа. На нижній циліндричній поверхні матриці отримано $\sigma_n=1400$ МПа. Розподіл напружень σ_n на контактуючих поверхнях при ЗВР наведений на рис. 7б. Спостерігається зменшення цих напружень на всіх поверхнях. При такому розподілі нормальних

напружень можна рекомендувати виконання матриці з двох складових частин. Верхня циліндрична частина матриці повинна складатися із внутрішньої втулки і одного бандажа (однобандажованою), а конусна частина – із внутрішньої втулки і двох бандажів (двохбандажованою).

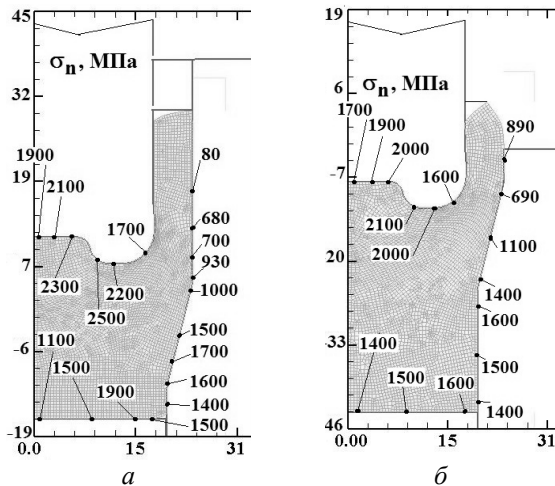


Рис. 7 - Розподіли нормальних напружень σ_n на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі видавлювання: а – при ЗВТ, б – при ЗВР

видавлювання по схемі ЗВТ приведеній на рис. 8б. У вищевказаній області температура досягає величини $T=350^{\circ}\text{C}$. Донна частина здеформованої заготовки прогривається до температури в межах $T=137^{\circ}\div 270^{\circ}\text{C}$. У стінці отримано $T=130^{\circ}\div 220^{\circ}\text{C}$. При видавлюванні по схемі ЗВР при найбільшому зусиллі видавлювання температура досягає величини $T=215^{\circ}\text{C}$ (рис. 8в), а в кінці видавлювання - $T=300^{\circ}\text{C}$ (рис.8г). Вказані величини температур при холодному видавлюванні підтверджуються даними А.Г. Овчиннікова [14].

Механічні властивості металу після видавлювання визначаються кінцевим деформованим станом. На рис. 9 показані розподіли радіальних ε_r , осьових ε_z , тангенціальних ε_{θ} деформацій та інтенсивності деформацій ε_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВТ. Розподіл деформацій ε_r наведений на рис. 9а. По висоті стінки ці деформації стискаючі та змінюються від $\varepsilon_r = -0,25$ в зоні верхнього торця стінки до $\varepsilon_r = -1,3$ в місці переходу стінки у донну частину заготовки. У донній частині заготовки виникають розтягувальні радіальні деформації величиною $\varepsilon_r = 0,55$. Осьові деформації у стінці розтягувальні та змінюються від $\varepsilon_z = 0,45$ в зоні

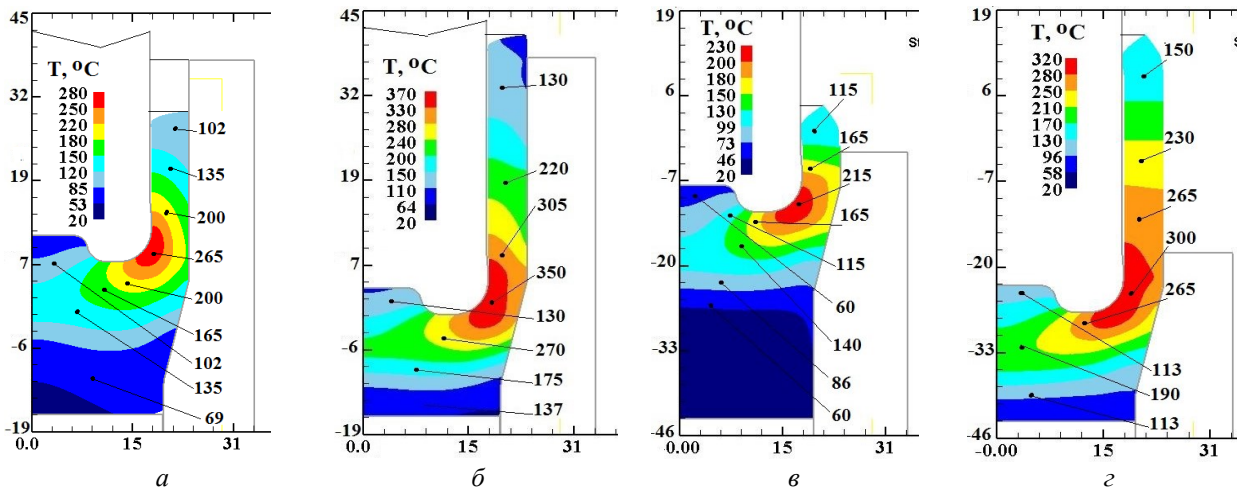


Рис. 8 – Розподіли температури у здеформованих заготовках при ЗВТ і ЗВР: а – для ЗВТ при максимальному зусиллі видавлювання, б – для ЗВТ в кінці видавлювання, в – для ЗВР при максимальному зусиллі видавлювання, г – для ЗВР в кінці видавлювання

При холодному видавлюванні підвищується температура металу, що деформується. Розподіли температури у здеформованих заготовках при максимальних величинах зусилля видавлювання та в кінці видавлювання зображені на рис. 8. На рис. 8а показаний розподіл температури у здеформованій заготовці при максимальній величині зусилля видавлювання для ЗВТ. Найбільше значення температури $T=265^{\circ}\text{C}$ виникає в області заготовки на радіусі заокруглення пуансона. При подальшому видавлюванні температура ще підвищується. Розподіл температури у здеформованій заготовці в кінці

верхнього торця до $\varepsilon_z = 1,1$ у місці переходу стінки в донну частину (рис. 9б). Стискаючі деформації величиною $\varepsilon_z = -1,3$ мають місце у донній частині виробу. Практично по всьому об'єму виробу виникають розтягувальні тангенціальні деформації ε_{θ} (рис. 9в). По висоті стінки вони змінюються у межах $\varepsilon_{\theta} = 0,07\div 0,67$. При цьому такі деформації розподілені нерівномірно по ширині стінки. У вказаному місці вони змінюються від зовнішніх шарів металу стінки до внутрішніх шарів у межах

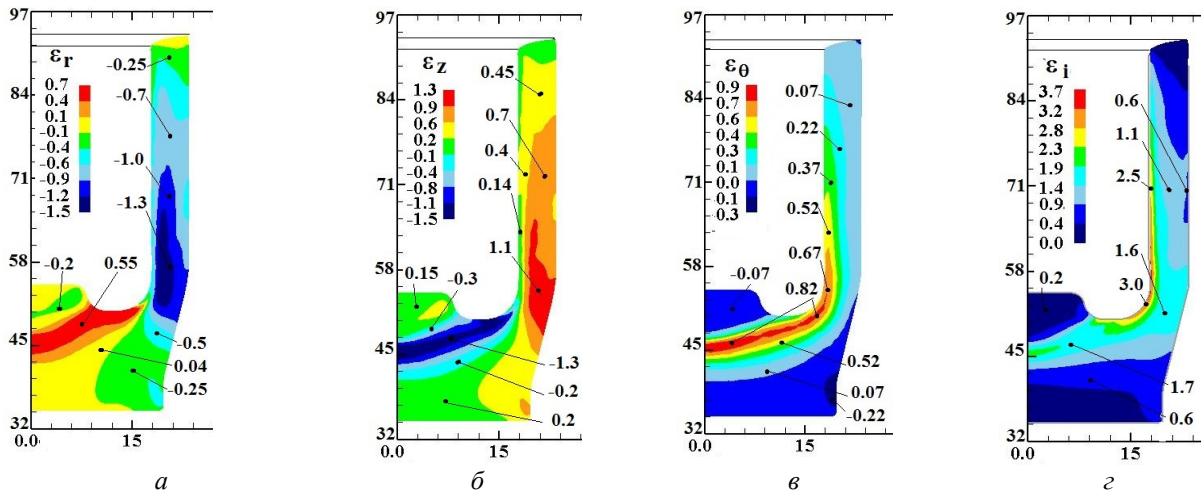


Рис. 9 – Розподіли радіальних ϵ_r , осьових ϵ_z , тангенціальних ϵ_θ деформацій та інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВТ: а – розподіл ϵ_r , б - розподіл ϵ_z , в - розподіл ϵ_θ , з - розподіл ϵ_i

$\epsilon_\theta=0,07\div 0,67$. Також по ширині стінки виробу нерівномірно розподілена інтенсивність деформацій ϵ_i . У внутрішніх шарах металу стінки величини таких деформацій досягають значень $\epsilon_i=2,5\div 3,0$, по середині стінки - $\epsilon_i=1,1$, а у зовнішніх шарах - $\epsilon_i=0,6$ (рис. 9г). При такій величині ϵ_i по середині стінки та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень можна прогнозувати величину межі текучості zdeформованого металу $\sigma_s > 640$ МПа, що відповідає заданим вимогам до виробу.

Розподіли компонент деформацій по об'єму виробу, який отриманий по схемі ЗВР, наведені на рис. 10. Деформований стан дещо відрізняється від попереднього. Величини стискаючих радіальних деформацій у стінці знаходяться у межах $\epsilon_r=-0,55\div -1,3$, а розтягувальні деформації у донній частині

складають $\epsilon_r=0,45$ (рис. 10а). Осьові розтягувальні деформації у стінці мають найбільшу величину $\epsilon_z=0,78$ (рис. 10б). Стискаючі деформації величиною $\epsilon_z=-1,65$ виникають у донній частині. Розтягувальні тангенціальні деформації по ширині стінки досягають значень у межах $\epsilon_\theta=0,22\div 0,75$ (рис. 10в). На рис. 10г наведений розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i . У внутрішніх шарах металу стінки отримано $\epsilon_i=3,3$, по середині стінки та у зовнішніх шарах - $\epsilon_i=1,09$. Має місце більш рівномірне пропрацювання структури металу пластичною деформацією по ширині стінки в порівнянні зі схемою ЗВТ. Тут також можна прогнозувати межю текучості zdeформованого металу стінки не менше 640 МПа.

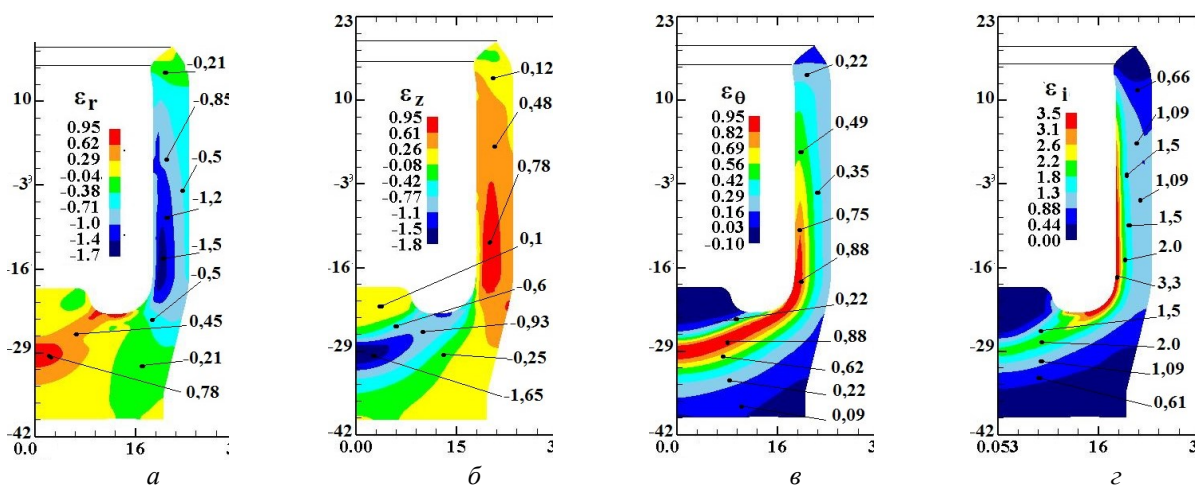


Рис. 10 – Розподіли радіальних ϵ_r , осьових ϵ_z , тангенціальних ϵ_θ деформацій та інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму отриманого виробу по схемі ЗВР: а – розподіл ϵ_r , б - розподіл ϵ_z , в - розподіл ϵ_θ , з - розподіл ϵ_i

Висновки

1. Методом скінченних елементів проведено моделювання холодного видавлювання порожнистих виробів з виступом у донній частині зі сторони порожнини по схемах зворотного видавлювання традиційного та зворотного видавлювання з роздачою.

2. Встановлені залежності зусиль видавлювання та зусиль виштовхування виробів із матриці від переміщення деформуючого інструмента. При видавлюванні по схемі ЗВР зусилля деформування менше на 13%. Також знижуються величини питомих зусиль на контактуючих поверхнях заготовки з інструментом.

3. Встановлені температура здеформованого металу та кінцевий деформований стан по об'єму виробів. З рахуванням пружної деформації виявлені форма і розміри виробів після виштовхування із матриці.

4. Зпрогнозовані величини меж текучості здеформованого металу у стінках виробів. Для реалізації на виробництві отримання таких виробів можна рекомендувати схему зворотного видавлювання з роздачою.

Список літератури

1. Ковка и объемная штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: **Е. И. Семенов** (пред.) и др. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. **Г. А. Навроцкого**. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
2. **Джонсон, У.** Теория пластичности для инженеров. / **У. Джонсон, П. Б. Меллор**. Пер. с англ. А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с
3. **Овчинников, А. Г.** Прямое выдавливание цилиндрических стаканов / **А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров**. В кн.: Совершенствование процессов объемной штамповки. – М.: МДНТП, 1980. – С. 103-108.
4. **Дмитриев, А. М.** Исследование процесса выдавливания с раздачей / **А. М. Дмитриев** // *Известия вузов. Машиностроение*. – 1984. - №4. – С. 140-148.
5. **Гречников, В. Ф.** Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / **В. Ф. Гречников, А. М. Дмитриев, В. Д. Кухарь** и др.; Под общ. ред. **А. Г. Овчинникова**. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
6. **Калюжный, В. Л.** Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра / **В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, И. П. Куликов** // *Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов*. – Краматорск: ДГМА. – 2013. – №4(37). – С. 87-92.
7. **Калюжный, В. Л.** Определение усилий извлечения пуансона из сформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации / **В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, В. Н. Горностай** // *Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов*. – Краматорск: ДГМА. – 2016. – №1(42). – С. 90-100.
8. **Калюжный, В. Л.** Аналіз схем холодного видавлювання віссиметричних порожнистих виробів / **В. Л.**

- Калюжный, А. М. Потятиник** // *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник*. – Луцьк: НТУ. – 2017. – № 59. – С. 137-143.
9. **Калюжный, В. Л.** Повышение качества изделий в процессах отбортовки круглых отверстий в листовых заготовках и профилях / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, С. А. Пахолко** // - *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. - № 5. – С. 22-25.
10. **Калюжный, В. Л.** Комбинированная вытяжка осесимметричных изделий в матрице специального профиля / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, А. С. Запороженко** // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. - № 6. – С. 42-46.
11. **Калюжный, В. Л.** Качество изделий при холодной открытой и закрытой раздаче трубчатых заготовок из нержавеющей стали / **В. Л. Калюжный, А. В. Калюжный, Я. С. Олександренко** и др. // - *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. - № 2. – С. 54-58.
12. **Калюжный, В. Л.** Использование давления жидкости для увеличения степени деформации при холодной штамповке соединительных элементов из трубчатых заготовок / **В. Л. Калюжный, Я. С. Олександренко, И. В. Выхованец** // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. - № 5. – С. 29-34.
13. **Kaliuzhnyi, V. L.** Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts / **V. L. Kaliuzhnyi., L. I. Alieva, I. G. Savchinskii** // *Metallurgist*. – 2017. – Vol. 61, 5–6. – P. 359-365.
14. **Овчинников, А. Г.** Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / **А. Г. Овчинников**. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kovka y ob'emnaia shtampovka: Spravochnyk. V 4-kht. Red. совет: **E. Y. Semenov** (pred.) y dr. T. 3. Kholodnaia ob'emnaia shtampovka / Pod red. **H. A. Navrotskoho**. M.: Mashynostroeny, 1987, 384.
2. **Dzhonson, U., Mellor, P. B.** Teoriya plastychnosti dlia ynzhenеров. Per. s anhl. A.H. Ovchynnykova. M.: Mashynostroeny, 1979, 567.
3. **Ovchynnikov, A. H., Khabarov, A. V.** Priamoe vidavlyvanye tsylindrycheskykh stakanov. V kn.: Sovershenstvovanye protsessov ob'emnoi shtampovky. M.: MDNTP, 1980, 103-108.
4. **Dmytryev, A. M.** Yssledovanye protsessa vidavlyvaniya s razdachei. *Yzvestiya vuzov. Mashynostroeny*, 1984, 4, 140-148.
5. **Hrechnykov, V. F., Dmytryev, A. M., Kukhar, V. D.** i dr. Prohressyynie tekhnolohycheskye protsessi kholodnoi shtampovky. Pod obshch. red. A.H. Ovchynnykova. M.: Mashynostroeny, 1985, 184.
6. **Kaliuzhnyi, V. L., Alyeva, L. Y., Kulykov, Y. P.** Sravnytel'nii analiz protsessov obratnoho vydavlyvaniya y priamoho vidavlyvaniya s razdachei yzdelyi s polostiu postoiannoho dyametra. *Obrabotka materialov davlenyem: sb. nauch. трудов*, Kramatorsk: DHMA, 2013, №4(37), 87-92.
7. **Kaliuzhnyi, V. L., Alyeva, L. Y., Hornostai, V. N.** Opredelenye usylii yzvlacheniya puansona yz sdeformirovannoi zahotovky y vytalkyvaniya zahotovky yz matrytsi pry kholodnom vidavlyvanuu polikh yzdelyi s raznoi stepeniu deformatsyy. *Obrabotka materialov davlenyem: sb.nauch. трудов*, Kramatorsk: DHMA, 2016, №1(42), 90-100.

8. **Kaliuzhnyi, V. L., Potiatynyk, A. M.** Analiz skhem kholodnoho vydavliuvannia visesymetrychnykh porozhnistykh vyrobiv. *Naukovi notatky. Mizhvuzivskyi zbirnyk*, Lutsk: NTU, 2017, № 59, 137-143.
9. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Pakholko, S. A.** Povishenye kachestva yzdelyi v protsessakh otbortovky kruhlykh otversty v lystovykh zahotovkakh y profyliakh. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2014, № 5, 22-25.
10. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Zaporozhchenko, A. S.** Kombynyrovannaia vytiashka osesymetrychnykh yzdelyi v matrytse spetsyalnogo profylya. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2014, № 6, 42-46.
11. **Kaliuzhnyi, V. L., Kaliuzhnyi, A. V., Oleksandrenko, Ya. S.** y dr. Kachestvo yzdelyi pry kholodnoi otkrytoi y zakrytoi razdache trubchatikh zahotovok yz nerzhaveiushchei staly. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2015, № 2, 54-58.
12. **Kaliuzhnyi, V. L., Oleksandrenko, Ya. S., Vykhoanets, Y. V.** Yspolzovanye davleniya zhydkosti dlia uvelycheniya stepeny deformatsyy pry kholodnoi shtampovke soedynytelnikh elementov yz trubchatykh zahotovok. *Metallurhycheskaia y hornorudnaia promyshlennost*, 2015, № 5, 29-34.
13. **Kaliuzhnyi, V. L., Alieva, L. I., Savchinskii, I. G.** Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts. *Metallurgist*, 2017, 61, 5–6, 359-365.
14. **Ovchynnykov, A. H.** Osnovi teoryi shtampovky vydavlyvanyem na pressakh, M: Mashynostroenye, 1983, 200.

Сведения об авторах (About authors)

Калюжний Володимир Леонідович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Vladimir Kaljuzhnyi – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Professor of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Потятиник Андрій Миколайович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», аспірант кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Andrei Potjatynyk – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", fellow of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Калюжний, В. Л. Варіанти холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини / **В. Л. Калюжний, А. М. Потятиник** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях.* – X. : НТУ «ХПІ», 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 3-10. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

Please cite this article as:

Kaljuzhnyi, V. L., Potjatynyk, A. M. Options of cold expression of axisymmetric hollow products with the ledge on the ground part from the cavity. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 3-10 doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Калюжний, В. Л. Варианты холодного выдавливания осесимметричных полых изделий с выступом на донной части со стороны полости / **В. Л. Калюжний, А. М. Потятиник** // *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – X. : НТУ «ХПИ», 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 3-10. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.25.

АНОТАЦІЯ Методом конечных элементов проведен анализ холодного обратного выдавливания и обратного выдавливания с раздачей осесимметричных полых изделий с выступом на донной части со стороны полости. Применена упруго-пластическая модель металла. Установлены зависимости усилия выдавливания и усилия выталкивания изделий из матрицы от перемещения деформирующего инструмента. Определены распределения удельных усилий на контактирующих поверхностях при максимальном значении усилия деформирования. Выдавливание с раздачей приводит до снижения усилия деформирования на 13 % и удельных усилий на пуансоне, матрице и выталкивателе. При выдавливании с раздачей формообразование выступа на донной части происходит при меньшем усилии. Выявлена температура сформированного металла при холодном формообразовании. Определены конечное деформированное состояние заготовок, форма и размеры изделий с учетом упругой деформации после выталкивания из матрицы. Установлены все параметры для разработки технологической оснастки, форма и размеры изделий и интенсивность деформаций для оценки качества изделий и прогнозирования механических свойств сформированного металла.

Ключевые слова: обратное выдавливание; полое изделие с выступом на донной части; метод конечных элементов; усилие выдавливания; удельные усилия; напряженно-деформированное состояние; температура сформированного металла; форма и размеры изделий.

Надійшла (received) 30.06.2018

УДК 621.311.24

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.26

КОМПАКТНАЯ ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С КОНЦЕНТРАТОРОМ ДЛЯ РЕГИОНОВ С МАЛОЙ ВЕТРОНАГРУЖЕННОСТЬЮ

В. И. ТКАЧЕНКО^{1,2}, Ю. Г. КАЗАРИНОВ^{1,3}

¹ НПК «ВИЭРТ», ННЦ «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины, Харьков, УКРАИНА

² ФЭФ, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, УКРАИНА

³ ФТФ, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, УКРАИНА

*email: yu.kazarinov@karazin.ua

АННОТАЦИЯ Компактные ветрогенераторы малой мощности (до 1 кВт) представляют интерес для индивидуальных потребителей и для мобильных применений. Типовые ветроэнергетические установки (ВЭУ), при диаметре ветроколеса порядка 3 метров, имеют мощность 1 кВт при скорости ветра 10 м/с. Однако для большей части территории Украины средняя скорость ветра не превышает 5 м/с и мощность таких ВЭУ составит всего 120 Вт. Предлагаемая конструкция ВЭУ в виде турбины, установленной в обтекатель, позволяет даже при средней скорости ветра получить большую эффективность и безопасность по сравнению с «классическими» ВЭУ. Кроме того, малый вес, закрытая конструкция и относительно небольшие поперечные габариты позволяют использовать аэродинамические системы для подъема ВЭУ на необходимую высоту вместо стационарных и дорогостоящих опор.

Ключевые слова: концентратор воздушного потока; турбина; моделирование.

COMPACT WIND TURBINE WITH AN AIR FLOW CONCENTRATOR FOR REGIONS OF LOW SPEED WIND

V. TKACHENKO^{1,2}, YU. KAZARINOV^{1,3}

¹ NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology" NASU, Kharkiv, UKRAINE

² School of Physics and Energy, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, UKRAINE

³ School of Physics and Technology, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Compact low-power wind turbines (up to 1 kW) are of interest for individual consumers and for mobile applications. Typical wind power plants (wind turbines) with a wind turbine diameter of about 3 meters have a power of about 1 kW at a wind speed of 10 m/s. However, for most of Ukraine, the average wind speed does not exceed 5 m/s and the power of such wind turbines will be only 120 W. The proposed design of the wind turbine in the form of a turbine installed in the concentrator of air flow allows even with an average wind speed to obtain greater efficiency and safety in comparison with the "classic" wind turbines. In addition, light weight, closed construction and relatively small transverse dimensions allow the use of aerodynamic systems for lifting wind turbines instead of stationary and expensive supports. The results of the calculation of the wind turbine with the ANSYS CFX are presented and compared with the field experiments for two turbines with 20 and 5 blades. The calculations of the 5-blade turbine are in good agreement with the experiment, whereas for the 20-blade inconsistency it is caused by an incorrect estimate of the flow velocity at the inlet to the concentrator. The proposed method for analyzing the joint operation of a turbine and a generator has shown a shortage of the selected resistive load of the generator, leading to the operation of the turbine in the region of small values of tip speed ratio.

Keywords: wind turbine; air flow concentrator; modelling.

Введение

Ветроэнергетика обеспечивает более 4 % мирового потребления энергии, и при сохранении современных тенденций её вклад возрастёт с 435 ГВт на 2015 год до 977 ГВт до 2030 года [1]. Промышленная выработка электроэнергии на ветровых энергетических установках (ВЭУ) возможна при средней скорости ветра более 5 м/с, тогда как на большей части территории Украины средняя скорость ветра менее 5 м/с, а для Харьковской области составляет 4,5 м/с [2]. В таких условиях, ВЭС целесообразно использовать для индивидуального или мобильного энергообеспечения. При этом для установок номинальной мощностью 1 кВт размер ВЭУ составляет 3-3,5 м. Однако для получения такой

мощности требуется ветер со скоростью 10 м/с, что наблюдается в приземных слоях довольно редко

Кроме того транспортировка электроэнергии конечным потребителям сопровождается потерями, величина которых для Харьковской области за 2009 год составила 17,5%, или половину от 1976 ГВт·ч, которые потребило население [3]. Распределение генерации с помощью ВЭС малой мощности позволят, таким образом, снизить потери энергии в сетях.

Повышение эффективности осветительных и других электроприборов снижают общее потребление электричества и увеличивают интерес к маломощным генераторам, особенно в удаленных и горных районах [4].

Использование концентраторов различных видов позволяет решить несколько проблем, присущих традиционным ВЭУ:

- уменьшить габариты;
- снизить шум лопастей;
- понизить концевые потери.

Однако для получения значительной мощности в таких системах необходимо иметь поток воздуха соответствующих параметров. Кроме увеличения ометаемой площади можно увеличить снимаемую мощность, используя подъём ВЭУ на высоту более 100 метров, где скорость ветра в 2÷2,5 раза выше, чем у поверхности земли. Такой подъем можно осуществить, например, с помощью парашютных систем [5] или аэростатов [6].

Целью данной работы является создание численной модели экспериментальной ВЭУ с концентратором воздушного потока, и сравнение результатов моделирования с экспериментом для определения оптимального режима работы турбины, а также возможности моделирования и построения ВЭУ исследуемого типа мощностью до 300 Вт.

Эксперимент

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена ВЭУ, состоящая из обтекателя с турбиной и электрогенератором, расположенными внутри обтекателя как показано на Рис. 1. Внутренний профиль обтекателя имеет форму гиперboloида, с минимальным диаметром 18,5 см. Закрепленный на поворотных токоcъёмниках с рулевой пластиной для ориентирования по направлению ветра обтекатель установлен на крыше здания высотой 35 м.

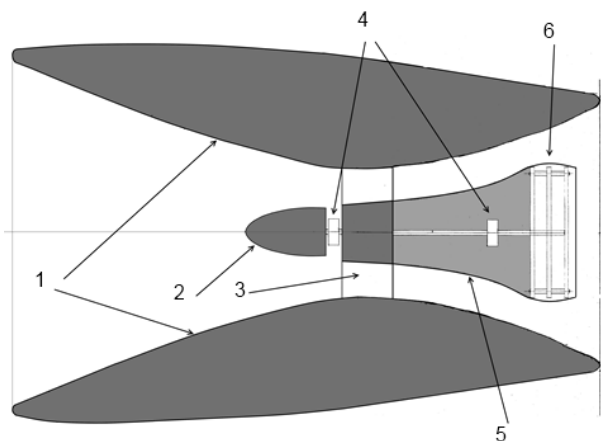


Рис. 1 – Схема ВЭУ и расположение узлов: 1 – концентратор (конфузор); 2 – носовой обтекатель; 3 – турбина; 4 – подшипники турбины; 5 – обтекатель генератора; 6 – генератор

Измерение скорости ветра осуществлялась чашечным анемометром метеостанции «WS-1600», а данные о скорости ветра и электрических параметрах

генератора записывались в виде текстового файла в IBM – PC с использованием АЦП типа «преобразователь напряжение частота» и собственного ПО.

Эксперименты проводились с двумя турбинами, имеющими 20 и 5 лопастей. В обоих случаях турбина непосредственно вращала самодельный генератор постоянного тока с диодным многофазным выпрямителем на постоянных NdFeB магнитах и катушках без сердечников [7]. Частота вращения ротора не превышала 900 об/мин. В качестве нагрузки использовались резисторы сопротивлением от 75 до 235 Ом.

Напряжение на нагрузке зависит от частоты вращения ротора следующим образом:

$$U = \frac{4\pi \cdot f \cdot N \cdot n \cdot \Phi - 2U_d}{1 + 2(R + 2\pi \cdot f \cdot N \cdot L) / R_L} = \frac{3.35 \cdot f - 1.31}{1 + (6.7 + 0.144 \cdot f) / R_L} \quad (1)$$

где f – частота вращения ротора в Гц, N – число полюсов магнитной системы ротора, L – индуктивность обмотки, Φ – модуль магнитного потока, U_d – падение напряжения на диодах выпрямителя, R – сопротивление обмотки, R_L – сопротивление нагрузки. Численные значения в выражении (1) получены из анализа экспериментальных зависимостей, полученных при стендовых испытаниях генератора.

Моделирование

Моделирование работы ВЭУ выполнялось с использованием программных комплексов FlowER [8] и ANSYS CFX [9]. В обоих случаях протекание воздуха снаружи обтекателя не рассчитывалось. Выбор типа расчётной сетки и разбиения в ANSYS выполнялся автоматически, в FlowER использовалась сетка типа H и проточная часть разбивалась на три участка до лопаток, лопатки и после лопаток. Это позволило избежать перекручивания сетки из-за большой длины проточной части и отсутствия вала на входе ВЭУ. Рассчитывалось вязкое турбулентное течение. В качестве параметров задавалась частота вращения ротора, и скорость потока на входе для ANSYS и перепад давления между входом и выходом для FlowER. Расчётная величина в обоих случаях – мощность на валу. Также контролировалось распределение давления по поверхности лопастей.

Результаты моделирования исходной турбины с 20 лопатками с помощью FlowER показало, что в лопатках используется только узкая область вблизи входной кромки. Исходя из этого, для повышения эффективности можно сократить число лопастей или уменьшить ширину лопасти. Поскольку для узких лопастей возрастают требования механической

прочности используемых материалов, был выбран вариант сокращения числа лопастей.

Построение зависимостей мощности от частоты вращения ротора при постоянной скорости потока на основе расчётов FlowER затруднительно, поэтому эти зависимости были получены с использованием пакета ANSYS. Полученные значения для 5 значений скорости потока показаны на Рис. 2. Мощность ВЭУ с данной турбиной слишком мала для практического применения, что связано с уже упомянутой незагруженностью лопастей, а также формированием вихревых обратных потоков в конфузоре из-за чрезмерного сопротивления турбины потоку воздуха.

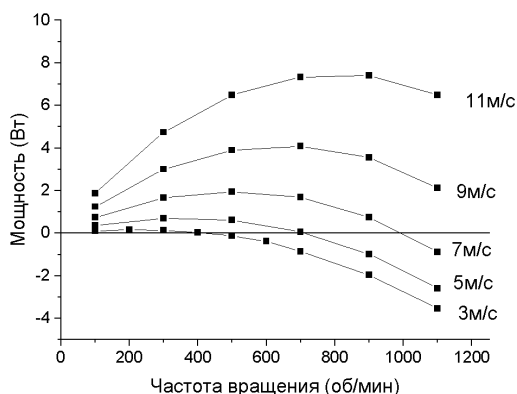


Рис. 2 – Зависимость мощности турбины (20 лопастей) от частоты вращения для различных скоростей потока на входе ВЭУ

Оптимизация

Оптимизация турбины была выполнена в ANSYS в два этапа. На первом этапе было выбрано число лопастей равное 5. На такой выбор повлияли два фактора:

1. частота вращения турбины ограничена генератором на уровне 900-1000 об/мин;
2. длина хорды лопатки у места ее крепления порядка 3 см, для обеспечения достаточной прочности изготовленных из стеклопластика лопастей.

На втором этапе в пакетном режиме был выполнен перебор углов наклона передней и задней кромок лопатки, что однозначно определяет ее форму и углы атаки. Для полученной таким образом лопатки был выполнен расчёт зависимости мощности от частоты вращения при различных скоростях потока, которые имеют аналогичный представленным на Рис. 2. вид.

Полученные выше оба набора зависимостей мощности от частоты вращения были пересчитаны в зависимости эффективности ВЭУ от быстроходности турбины (см. Рис.3.).

Тот факт, что все значения эффективности ВЭУ от быстроходности турбины укладываются на однотипные гладкие кривые, указывает на

соответствие расчётных значений общей закономерности. Анализ кривых показывает, что оптимизация турбины привела к повышению эффективности, и существенному расширению диапазона максимальной эффективности.

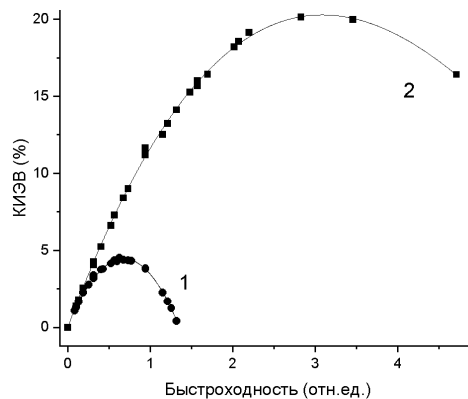


Рис. 3 – Зависимость эффективности ВЭУ от быстроходности турбины: 1 – 20 лопастей, 2 – 5 лопастей

Экспериментальные результаты работы ВЭУ показаны маркерами на Рис. 4 для турбин с 20 (круги) и 5 (треугольники) лопатками. Из рисунка видно, что замена турбины на оптимизированную привела к существенному увеличению эффективности ВЭУ.

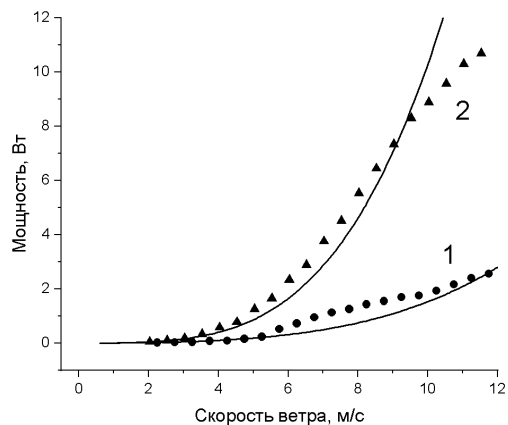


Рис. 4 – Зависимость мощности ВЭУ при резистивной нагрузке генератора с использованием исходной (1) и оптимизированной турбины (2). Точки – эксперимент, линии – расчет

Однако, сравнение зависимостей на Рис. 4 с расчётными зависимостями на Рис.2 или Рис. 3 некорректно. Это связано с тем, что в эксперименте турбина была нагружена генератором с выходной характеристикой описываемой выражением (1). В свою очередь, генератор был нагружен заданной омической нагрузкой и, соответственно, при заданной скорости ветра частота вращения турбины будет увеличиваться до тех пор, пока её мощность не

сравнивается с мощностью генератора. Построение расчётных зависимостей мощности от скорости потока, показанные на Рис. 4 линиями, было выполнено следующим образом: зависимости КИЭВ от быстроходности на Рис. 3. были аппроксимированы полиномами 3-ей степени (тонкие линии на Рис. 3). После такой аппроксимации численно решалось уравнение относительно частоты вращения ротора:

$$\frac{(4\pi f N n \Phi - 2U_d)^2}{R_L + 2(R + 2\pi f N L)} = (az^3 + bz^2 + cz) \cdot \frac{\rho S v^3}{2}, \quad (2)$$

где $z = \pi D f / v$ — быстроходность; a, b, c — коэффициенты аппроксимирующего полинома; ρ — плотность воздуха; S — площадь входного окна ВЭУ; v — скорость потока, f — частота вращения ротора.

Из полученных значений частоты вращения с использованием выражения (1) определены значения мощности на нагрузке в зависимости от скорости потока. Как видно из Рис. 4, согласие расчётов с экспериментом достаточно хорошее, что позволяет использовать полученные результаты для дальнейшей оптимизации рассмотренной ВЭУ и последующего моделирования ВЭУ мощностью 300 — 1000 Вт.

Пересчёт экспериментальных зависимостей мощности от скорости потока в координаты КИЭВ — быстроходность, показал, что обе турбины при использовании резистивной нагрузки в 150 Ом для данного генератора работали в режиме малой быстроходности, не соответствующей оптимальной эффективности. Для 5-и лопастной турбины максимальный КИЭВ в 20% достигается при $z=3,1$ тогда как реальная быстроходность не превышала 0,66. При этом КИЭВ составляет всего 8%. При оптимальных условиях работы турбины по быстроходности частота вращения ротора определяется выражением $f = 5.45 \cdot v$. Однако уже при скорости ветра 3 м/с оптимальная частота превышает максимально допустимую частоту вращения генератора.

Как следует из вышеизложенного, данный подход моделирования и оптимизации ВЭУ позволяет определить нагрузочную характеристику, реализующую оптимальные условия. Например, используя уравнение (2) зафиксируем значение $z=3.084$, выразив скорость ветра через частоту вращения ротора. После подстановки максимального значения КИЭВ=0.203, решим это уравнение и получим зависимость сопротивления нагрузки от частоты. При частоте вращения более 5 об/с сопротивление нагрузки в килоомах обратно пропорционально частоте (или напряжению): $R_L = 63/f = 19/U$. Описанный режим нагрузки пригоден только для систем с постоянной геометрией, однако он значительно проще в реализации, чем поиск максимума, предложенный в работе [10]. ВЭУ с переменным углом атаки лопаток и управлением потоком как снаружи ВЭУ, так и внутри имеют

потенциально более высокий КИЭВ, но при равных габаритах имеют большую массу и расходуют часть вырабатываемой энергии для управления [11].

Выводы

Хорошее совпадение экспериментальных данных и результатов моделирования с использованием программных пакетов FlowER и ANSYS показало их применимость для моделирования работы малых ВЭУ с концентратором воздушного потока.

На основе расчетов в программных пакетах FlowER и ANSYS построены графики зависимостей мощности ВЭУ от частоты вращения при различной резистивной нагрузке генератора от скорости потока воздуха. Построены зависимости эффективности ВЭУ от быстроходности турбин.

Предложенный способ нагружения электрического генератора позволяет реализовать максимальную эффективность турбины.

Список литературы

1. **Ayuso, M.** World Energy Resources Wind | 2016 / **M. Ayuso, C. Kjaer** // *World Energy Council*. – 2016. – 70 p.
2. **Кудря, С. О.** Атлас энергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / **С. О. Кудря, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик та ін.** – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – 2008. – 55 с.
3. **Малыренко, В. А.** Відновлювані джерела енергії для Харківської області: сучасний стан, тенденції, перспективи / **В. А. Малыренко, І. К. Алетич, Ю. І. Вергелес** // *Енергосбереження, енергетика, енергоаудит*. – 2012. – № 7 (101). – С. 36–43.
4. **Lew, D. J.** Alternatives to coal and candles: Wind power in China / **D. J. Lew** // *Energy Policy*. – 2000. – Vol. 28. – № 4. – P. 271–286. – doi: 10.1016/S0301-4215(99)00077-4.
5. **Лапшин, Ю. С.** Безбашенная ветроэнергетическая установка / **Ю. С. Лапшин, С. А. Ардашов** // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – 2013. – № 80. – С. 50–53.
6. **Рогов, В. Ю.** Оценка эффективности развития аэростатной ветроэнергетики в континентальных районах / **В. Ю. Рогов** // *ВЕСТНИК ИрГТУ*. – 2013. – №75. – С. 204–209.
7. **Ткаченко, В. І.** Електрогенератор постійного струму / **В. І. Ткаченко, Ю. Г. Казарінов, О. В. Москвітін, О. М. Шахова** // *Патент України на корисну модель UA88420*. – 2014.
8. **Yershov, S.** Numerical method and code FlowER for calculation of 3d viscous unsteady flows within axial and radial turbomachines / **S. Yershov, A.V. Rusanov** // *Zesz Nauk Ciepł Masz Przepływowe - Turbomach / Politech Łódzka*. – 1999. – №115. – P. 479–88.
9. **Jureczko, M.** Optimisation of wind turbine blades / **M. Jureczko, M. Pawlak, A. Mężyk** // *J Mater Process Technol*. – 2005. – Vol. 167. – №2-3. – P. 463–71. – doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2005.06.055.
10. **Wang, Q.** An intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems / **Q. Wang, L. Chang** // *Power Electron IEEE*

Trans. – 2004. – Vol. 19. – №5. – P. 1242-1249. – doi: 10.1109/TPEL.2004.833459.

11. **Лебедь, В. Г.** Метод аэродинамического расчета ветроэнергетической установки с концентратором воздушного потока / **В. Г. Лебедь, С. А. Калкаманов** // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2012. – №5 (92). – С. 31-42.

Bibliography (transliterated)

1. **Ayuso, M.** World Energy Resources Wind | 2016. *World Energy Council*, 2016, 70 p.
2. **Kudrya, S. O.** Atlas energetychnogo potencialu vidnovlyuvanyh ta netradycyjnyh dzherel energy Ukrainy. Kyiv.: Institute of renewable energetics NAS of Ukraine, 2008, 55 p.
3. **Malyarenko, V. A.** Vidnovlyuvani dzherela energy dly Kharkivs'koyi oblasti: suchasnyj stan, tendencyi, perspektivy. *Energoberezhnie energetika energoaudit*, 2012, 7 (101), 36-43.
4. **Lew, D. J.** Alternatives to coal and candles: Wind power in China. *Energy Policy*, 2000, 28(4), 271-286, doi: 10.1016/S0301-4215(99)00077-4.

5. **Lapshin, Yu. S.** Bezbashennaya vetroenergeticheskaya ustanovka. *Visnyk KrNU imeni Myhajla Ostrograds'kogo*, 2013, 80, 50-53.
6. **Rogov, V. Yu.** Ocenka effektivnosti razvitiya aerostatnoj vetroenergetiki v kontinental'nyh rajonah. *Vestik IrGTU*, 2013, 75, 204-209.
7. **Tkachenko, V. I.** Electrogenerator postijnogo strumu. *Patent of Ukraine on the utility model UA88420*, 2014.
8. **Yershov, S.** Numerical method and code FlowER for calculation of 3d viscous unsteady flows within axial and radial turbomachines. *Zesz Nauk Ciepl Masz Przeplywowe - Turbomach / Politech Łódzka*, 1999, 115, 479-88.
9. **Jureczko, M.** Optimisation of wind turbine blades. *J Mater Process Technol*, 2005, 167(2-3), 463-71, doi: 10.1016/J.JMATPROTEC.2005.06.055.
10. **Wang, Q.** An intelligent maximum power extraction algorithm for inverter-based variable speed wind turbine systems. *Power Electron IEEE Trans*, 2004, 19(5), 1242-1249, doi: 10.1109/TPEL.2004.833459.
11. **Lebed, V. G.** Metod aerodynamicheskogo rascheta vetroenergeticheskoy ustanovki s koncentratorem vozdušnogo potoka. *Aviatsionno-kosmicheskaja tekhnika i tekhnologija*, 2012, 5 (92), 31-42.

Сведения об авторах (About authors)

Ткаченко Виктор Иванович – доктор физ.-мат наук, профессор, директор НПК «ВИЭРТ», ННЦ «Харьковский физико-технический институт»; Физико-энергетический факультет, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, зав. кафедрой Нетрадиционных энерготехнологий и экологии, г. Харьков, Украина; e-mail: tkachenko@kipt.kharkov.ua.

Viktor Tkachenko – Doctor of Science, Professor, Director of SPE RESST, NSC “Kharkiv Institute of Physics and Technology”; Head of the Department of Physics of Innovation Energy and Technology and Ecology, School of Physics and Energy, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: tkachenko@kipt.kharkov.ua.

Казаринов Юрий Геннадиевич – кандидат физ.-мат. наук, НПК «ВИЭРТ», ННЦ «Харьковский физико-технический институт», научный сотрудник; Физико-технический факультет, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, научный сотрудник кафедры прикладной физики и физики плазмы, г. Харьков, Украина; e-mail: yu.kazarinov@karazin.ua.

Yuri Kazarinov – Candidate of Physics and Mathematics Sciences (Ph. D.), researcher of SPE RESST, NSC “Kharkiv Institute of Physics and Technology”; researcher at Department of Applied Physics and Plasma Physics, School of Physics and Technology, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yu.kazarinov@karazin.ua.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Ткаченко, В. И. Компактная ветровая энергетическая установка с концентратором для регионов с малой ветронагруженностью / **В. И. Ткаченко, Ю. Г. Казаринов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 11-15. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.26.

Please cite this article as:

Tkachenko, V., Kazarinov, Yu. Compact wind turbine with an air flow concentrator for regions of low speed wind. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 11-15, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.26.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ткаченко, В. І. Компактна вітрова енергетична установка з концентратором для регіонів з низьким вітровим потенціалом / **В. І. Ткаченко, Ю. Г. Казарінов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 11-15. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.26.

АНОТАЦІЯ Компактні вітрові генератори малої потужності (до 1 кВт) становлять інтерес для індивідуальних споживачів і для мобільних застосувань. Типові вітрові енергетичні установки (ВЕУ), при діаметрі вітроколеса близько 3 метрів, мають потужність 1 кВт за швидкості вітру 10 м/с. Однак для більшої частини території України середня швидкість вітру не перевищує 5 м/с і потужність таких ВЕУ складає лише 120 Вт. Пропонована конструкція ВЕУ у вигляді турбіни, встановленої в обтічник, дозволяє навіть при середній швидкості вітру отримати більшу ефективність і безпеку в порівнянні з «класичними» ВЕУ. Крім того, мала вага, закрита конструкція і відносно невеликі поперечні габарити дозволяють використовувати аеродинамічні системи для підйому ВЕУ на необхідну висоту замість стаціонарних і дорожніх опор.

Ключові слова: концентратор повітряного потоку; турбіна; моделювання.

Поступила (received) 20.06.2018

УДК 65.012.3: 316.422

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.27

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ПОНЯТТЯ «РИЗИК» ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ ТА ПРОГРАМАМИ

К. В. КОЛЕСНИКОВА¹, І. І. СТАНОВСЬКА^{2*}, М. Л. ГЕРГАНОВ¹

¹кафедра інформаційних технологій, Одеський технологічний університет «ШАГ», Одеса, УКРАЇНА

²кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: stanovskairaida@gmail.com

АНотація Показано, що співвідношення для кількісної оцінки ризиків проектної діяльності не може бути практично використане, оскільки ймовірність настання ризикової події не має сенсу як статистична характеристика в проектній діяльності, яка за визначенням унікальна. Запропоновано розглядати окремо ризики складових проекту: технологічної, варіативної та креативної, визначаючи параметри ризику за різними інформаційними технологіями. Підтверджено ефективне використання нових проектно-орієнтованих методів для управління процесом будівництва із використанням операцій транспортування спеціальних вантажів в умовах ризиків, які впливають із протиріччя між виконавцями проекту.

Ключові слова: проектна діяльність; оцінка ризиків; технологічна; варіативна та креативна складові; інформаційні технології.

THE INFORMATION TECHNOLOGY OF CONCEPT "RISK" DISCRETION IN PROJECTS AND PROGRAMS MANAGING

K. KOLESNIKOVA¹, I. STANOVSKA², M. GERGANOV¹

¹ Department of Information Technologies, Odessa Technological University «STEP», Odessa, UKRAINE

² Department of Mathematics and Systems Modeling, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT It is shown that the ratio for quantitative assessment of project activity risks cannot be practically used, since the probability of a risk event occurrence does not make sense as a statistical characteristic in the project activity, which by definition is unique. The assessment of risks and opportunities can be qualitative and quantitative. The best option is to do both types of assessments, as well as to regularly re-evaluate the risks and opportunities. It should be noted that the complexity and uncertainty of the listed actions in the risks management directly derives from the uncertainty of the very "risk" concept, which, as a rule, is nonspecific and "blurred". It is proposed to consider separately the risks of the project components: technological, variability and creative, defining the parameters of risk by different information technologies. The aim of the work is to increase the proactive risk management of project activities effectiveness by developing and implementing a new method for assessing the probability of risk events occurrence by decomposing the concept of "risk" within the framework of project management and programs separately for: the technological, variability and creative components of the project, defining the risk parameters for different various components of information technology. In order to achieve this aim, the following tasks were set and solved: the possibilities of evaluating the probability of risk events occurrence separately for the components of the project activity are analyzed; the offered information technologies that allow to determine these probabilities in the planning and management of projects and programs, in particular, proactive risk management, signal / noise ratio for numerical risk assessment of the variable component, carried out test results of the research has been proposed. The effective use of new project-oriented methods for the management of the construction process using the operations of special cargoes transportation in the conditions of risks, which arises from the contradiction between the project implementers, has been confirmed.

Keywords: project activity; risk assessment; technological; varieties and creative components; information technologies.

Вступ

При проактивному (до моменту, коли ризикова подія відбулася) управлінні ризиками проектної діяльності роль менеджера проекту зводиться, як правило, до постійного поточного розв'язання задачі ідентифікації усіх джерел ризиків і можливостей, а також до залучення інших учасників в цей процес [1, 2]. Оцінка ризиків і можливостей може бути якісною і кількісною. Найкращий варіант – це робити обидва види оцінки, а також регулярно проводити повторну оцінку ризиків і можливостей. Зазначимо, що складність та невизначеність перелічених дій при

управлінні ризиками безпосередньо впливає з невизначеності самого поняття «ризик», яке зазвичай, носить неконкретний та «розмитий» характер [3, 4].

Адже, ризик – поняття суто когнітивне, оскільки відома формула для обчислення ризику R , в якій пропонується множити ймовірність настання ризикової події p і вартість її компенсації B [5]:

$$R = pB,$$

не може бути практично використана з наступних причин:

– саме поняття «ймовірність» носить за

визначенням останньої статистичний характер, тобто може бути застосоване лише до досить великої кількості однакових подій, а проект за визначенням є унікальним [6];

– фактична вартість компенсації ризикової події не може бути визначена раніше, ніж ця ризикова подія відбудеться, а її компенсація буде завершена [7].

Ця проблема є дуже серйозною, оскільки відсутність можливості із необхідною точністю прогнозувати ризикові події на етапах планування проектів унеможливує, як наслідок, і виконання вимог головних стандартів з управління ризиками [8-10].

Мета роботи

Метою роботи є підвищення ефективності проактивного управління ризиками проектною діяльністю шляхом розробки та впровадження нового методу оцінювання ймовірності настання ризикових подій шляхом декомпозиції поняття «ризик» в рамках управління проектами та програмами окремо для: технологічної, варіативної та креативної складових проекту, визначаючи параметри ризику за різними для різних складових інформаційними технологіями.

Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені і вирішені наступні задачі: проаналізовані можливості оцінювання ймовірності настання ризикових подій окремо для складових проектною діяльністю, запропоновані інформаційні технології, які дозволяють визначати ці ймовірності при плануванні та керівництві проектами та програмами, зокрема проактивному управлінні ризиками, запропоновано використання співвідношення «сигнал/шум» для чисельної оцінки ризиків варіативної складової, здійснені виробничі випробування результатів дослідження із позитивним техніко-економічним ефектом.

Викладення основного матеріалу

Ризики (негативні ефекти) і можливості (позитивні ефекти) завжди розглядаються з урахуванням наслідків від виконаних завдань проекту [6]. Вже така заява містить значну невизначеність, оскільки в якості першого кроку процесу управління ризиками тут рекомендується розглядати переважно загальні стратегії, які найкраще будуть служити для управління ризиками і можливостями щодо корпоративних стратегій. Після цього процес управління ризиками і можливостями рекомендується характеризувати спочатку їх виконанням і оцінкою з подальшим розвитком і здійсненням плану реагування, куди входять передбачувані і плановані дії для боротьби з виявленими ризиками і можливостями.

План дій у відповідь повинен бути розроблений і реалізований відповідно до обраних

загальних стратегій управління ризиками і можливостями. Менеджер при цьому несе відповідальність за залучення і участь членів команди та інших зацікавлених сторін в процесі управління ризиками і можливостями; за участь в процесі, а також за залучення при необхідності відповідних експертів з конкретних питань [6].

Таким чином, обидві складові правої частини формули $R = pV$ носять когнітивний характер і не можуть бути розраховані ані в проактивному, ані в реактивному управлінні ризиками.

Як відомо, будь-який проект включає рівні проектною та операційною діяльності, які здійснюються в турбулентному середовищі [11, 12].

Розглянемо окремих проект і представимо його у вигляді деякого образу, що містить три рівні діяльності команди проекту: нижній – поглинаючий рівень (рівень операційної діяльності: незмінних технологій, обладнання, персоналу, строгих постійних діючих, найчастіше, «спущених зверху» стандартів, інструкцій, правил), середній – варіативний рівень (рівень можливого вибору значень технологічних прийомів і параметрів з обмеженою, наприклад, існуючим обладнанням, множини, можливого залучення персоналу, але з існуючого штату організації) і вищий – менеджерський, креативний рівень (рівень творчого підходу до управління проектом з широкими можливостями залучення коштів, вибору технологій, обладнання, матеріалів, стандартів, персоналу і т.п. для досягнення цілей і місії проекту).

На нижньому, технологічному рівні, можливості команди проекту по відхиленню від заданої технології, в загальному випадку, дорівнюють нулю, на середньому рівні команда має можливість вибирати з обмеженого кола альтернатив, на верхньому – може залучати будь-які заходи, в тому числі і науковий пошук, для вирішення завдань і досягнення цілей проектів.

Таким чином, будь-яка проектна діяльність складається з операційного (технологічного) та власне проектного (варіативного та креативного) рівнів [7], кожному з яких притаманні «свої» ризики, а отже, наведена вище формула розпадається на три окремі: $R_{\text{тех}} = p_{\text{тех}}V_{\text{тех}}$, $R_{\text{вар}} = p_{\text{вар}}V_{\text{вар}}$ та $R_{\text{кр}} = p_{\text{кр}}V_{\text{кр}}$ (рис. 1).

У результаті поняття «ризик» дискретизується на три частини, які відповідають трьом зазначеним вище рівням проектною діяльності, кожна з яких має свій математичний метод обчислення ймовірності настання відповідної ризикової події.

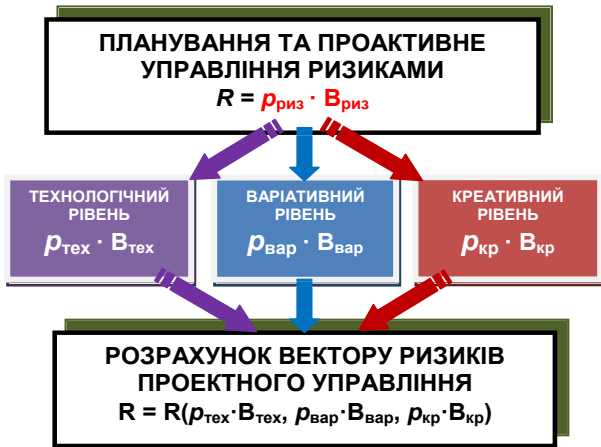


Рис. 1 – Дискретизація ризиків проектної діяльності на складові

Прикладом події на технологічному рівні є вихід з ладу металорізального верстату. Компенсація: ремонт або заміна верстату на подібний згідно існуючих технологічних норм.

Прикладом ризикової події на варіативному рівні є вибуття члена команди проекту або зміна курсу валют. Компенсація: підбір та заміна члена команди, бажано, без зниження компетентності виконавця, залучення додаткових інвесторів або заміна імпорتنих комплектуючих на вітчизняні, бажано, без зниження якості матеріалів.

Прикладом ризикової події на креативному рівні є відсутність в заплановані строки сформульованої науково-технічної ідеї розвитку деяких функціональних областей проекту. Компенсація: визволення найбільш креативної частки команди для участі в мозковому штурмі або залучення сторонніх експертів.

Далі наведемо приклади інформаційних технологій визначення частинних ризиків для трьох наведених вище.

1. *Визначення ризиків технологічної діяльності* $R_{тех}$, яка, як відомо, не унікальна, може бути виконано звичайними статистичними методами [13]. Крім того, описи технологій та складного обладнання, як правило, оснащені відомостями про параметри надійності найбільш «слабких ланок» відповідної системи (підшипники, шестерні, прокладки, клапани, тощо). Тут же містяться відомості про вартість ремонту, яку можна використовувати при розрахунках $R_{тех}$.

2. *Визначення ризиків варіативної діяльності* $R_{вар}$ може спиратися на відому статистичну інформацію про ризикові події, які відбулися із схожими об'єктами або їхніми елементами. Такий підхід робить результати визначення $R_{вар}$ менш точними, ніж $R_{тех}$, але їхня достовірність може бути цілком задовільною для управління проектом в цілому.

Як зазначено вище, чисельне значення ризику

складається із двох компонентів: ймовірності настання ризикової події, яка несе основну інформацію, і вартості компенсації її наслідків, яка є небажаним відхиленням від фінансового плану проекту.

Виконаємо нормування фактичної вартості компенсації до планової за формулою:

$$V_{норм} = \frac{V_{факт}}{V_{план}} \quad (1)$$

Тепер залучимо до моделювання ризиків варіативної діяльності проектно-фізичну аналогію, яка в останні роки поширюється в теорії та практиці проектного менеджменту [14].

Будемо далі вважати зміну ймовірності настання ризикової події $\Delta p_{вар}$ *сигналом*, а нормовану вартість компенсації її наслідків $V_{норм}$ – *шумом* по аналогії із прийнятою термінологією в теорії передачі інформації [15]. В цій теорії сигналом називається умовний знак для передачі на відстань деяких відомостей або повідомлень [16]. Подія є сигналом тільки в тій системі відносин, в якій повідомлення розрізняється значущим.

В проектному менеджменті сигнал завжди є подією. Іншими словами, подія – зміна стану будь-якого компонента проекту або програми, яка розпізнається логікою системи як значуща, – є сигналом. Подія, яка не розрізняється даною системою логічних або технічних відносин як значуща, сигналом не є.

Зміна ймовірності настання ризикової події $\Delta p_{вар}$, яка має значення при такому підході, має наступні параметри [17]. Тривалість сигналу $T = t_{max} - t_{min}$ визначає інтервал часу, протягом якого сигнал існує (відмінний від нуля). Розрізняють миттєву $P(t)$ потужність сигналу $\Delta p_{вар}$: $P(t) = (\Delta p_{вар})^2(t)$ та середню $P_{сер}$ потужність:

$$P_{сер} = \frac{1}{T} \int_{t_{min}}^{t_{max}} (\Delta p_{вар})^2(t) dt \quad (2)$$

Динамічним діапазоном є відношення найбільшої миттєвої потужності сигналу до найменшої: $P_{max}(t)/P_{min}(t)$. І, нарешті, відношення сигнал/шум дорівнює відношенню потужності корисного сигналу до потужності шуму $P_{сигн}/P_{шум}$.

Співвідношення сигнал/шум (ССШ, англ. *SNR, Signal-to-noise ratio*) – міра, що застосовується у науці та інженерії для визначення наскільки сильно сигнал спотворений шумом. Визначається як відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму. Співвідношення понад 1:1 вказує, що сигнал більший за шум. Хоча SNR переважно стосується електричних сигналів, він може бути застосований до будь-яких видів сигналу.

Іншими словами, співвідношення сигнал/шум

порівнює рівень бажаного сигналу (наприклад, ймовірності настання ризикової події) та рівень шуму (наприклад, вартості компенсації останньої). Чим більше SNR тим менш обтяжливий «шум».

Співвідношення сигнал/шум визначається як відношення потужності сигналу (значимої інформації) до потужності фонового шуму (небажаного сигналу).

$$SNR = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}, \quad (3)$$

де P – середня потужність.

В децибелах, співвідношення визначається так:

$$SNR_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right) = P_{\text{signal,dB}} - P_{\text{noise,dB}}, \quad (4)$$

Саме співвідношення сигнал/шум в децибелах SNR_{dB} використовували в якості чисельної характеристики ймовірності настання ризикової події на варіативному рівні.

3. Для когнітивного визначення *ризиків креативної діяльності* $R_{\text{кр}}$ аналогів ризикових подій такого типу не існує, і менеджер проекту може використовувати різні методи і джерела виявлення ймовірностей ризиків $p_{\text{кр}}$ і фінансових втрат $V_{\text{кр}}$, такі як результати, «витагнуті» з власного досвіду, літератури, структурної декомпозиції ризиків і можливостей, інтерактивні сесії з членами команди, зацікавленими сторонами та експертами з предметної області [18].

Наприклад, в якості $p_{\text{кр}}$ можна використовувати віднормоване до світового (100 балів) значення середнього $IQ_{\text{сеп}}$ творчого складу команди проекту, отриманого за стандартними тестами:

$$IQ_{\text{норм}} = \frac{IQ_{\text{сеп}}}{100}. \quad (5)$$

Тести IQ розроблені так, щоб результати описувалися нормальним розподілом з середнім значенням IQ, рівним 100, і таким розкидом, щоб 50% людей мали IQ між 90 і 110 і по 25% – нижче 90 і вище 110 [19].

Для поєднання отриманих значень ймовірностей $p_{\text{тех}}$, $p_{\text{вар}}$ та $p_{\text{кр}}$ побудуємо на цих значеннях модуль тривимірного вектора \mathbf{p} (рис. 2), який може бути розрахований за формулою:

$$|\mathbf{p}| = \sqrt{p_{\text{тех}}^2 + SNR_{\text{dB}}^2 + IQ_{\text{норм}}^2}. \quad (6)$$

Надалі значення цього модулю використовувалося для розрахунків комплексних ризиків проектної діяльності.

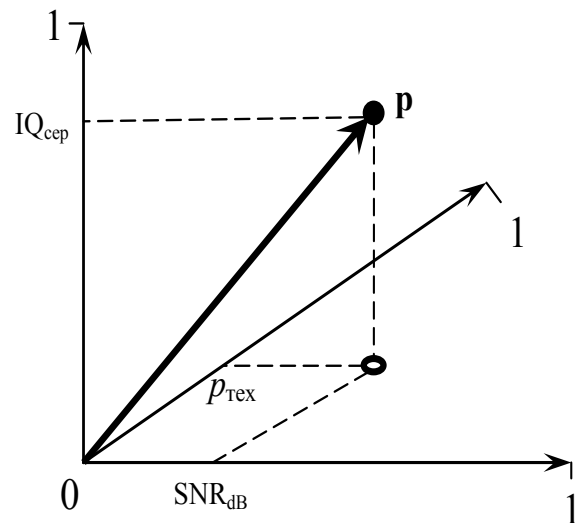


Рис. 2 – До визначення тривимірного вектору \mathbf{p} ймовірності виникнення комплексних ризиків в проактивному управлінні проектами і програмами

Запропонований метод декомпозиції ризиків дозволив помітно знизити невизначеність при плануванні та управлінні останніми і досягти значного техніко-економічного ефекту від його впровадження в управління реальними проектами.

Так, в роботі підтверджено ефективне використання нових проектно-орієнтованих методів для управління процесом будівництва із використанням операцій транспортування спеціальних вантажів в умовах ризиків, які впливають із протиріччя між виконавцями проекту.

Висновки

Проаналізовані можливості оцінювання ймовірності настання ризикових подій окремо для складових проектної діяльності: технологічної, варіативної та креативної. Показано, що тільки такий підхід дозволяє отримувати значущі характеристики для планування та проактивного управління ризиками проектів та програм.

Запропоновані інформаційні технології, які дозволяють визначати ймовірності настання ризикових подій при плануванні та керівництві проектами та програмами, зокрема проактивному управлінні ризиками.

Запропоновано використання співвідношення «сигнал/шум» для чисельної оцінки ризиків варіативної складової та віднормованого до світового (100 балів) значення середнього $IQ_{\text{сеп}}$ творчого складу команди проекту.

Здійснені виробничі випробування результатів дослідження із позитивним техніко-економічним ефектом. Підтверджено ефективне використання нових проектно-орієнтованих методів для управління процесом будівництва в умовах ризиків, які впливають із протиріччя між виконавцями проекту.

Список літератури

- Types of Risk in Project Management / Project-management.com. – 2017.
- Hubbard, Douglas**. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It. John Wiley & Sons, 2009. – р. 46.
- Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). – 5-е изд. – USA/США: Project management institute, 2013. – 586 с.
- Flyvbjerg, Bent**. Why Your IT Project May Be Riskier Than You Think / **Bent Flyvbjerg, Alexander Budzier** // *Harvard Business Review*. – 2011. – 89(9). – Р. 601-603.
- Савельєва, О. С.** Управління програмою супроводження систем аварійного захисту АЕС / **О. С. Савельєва, І. І. Становська, Т. В. Бібік, К. І. Березовська** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления*. – Харьков, 2016. – № 2/3 (80). – С. 49 – 56. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65641.
- Бушуев, С. Д.** Основы индивидуальных компетенций для Управления Проектами, Программами и Портфелями (National Competence Baseline, NCB Version 4.0) / **С. Д. Бушуев, Д. А. Бушуев** // *Том 1. Управление проектами*. – К.: Саммит-Книга, 2017. – 178.
- Гогунский, В. Д.** Управление комплексными рисками проекта сопровождения систем аварийной защиты объектов ответственного назначения / **В. Д. Гогунский, Т. В. Бибики, И. И. Становская** // *Вестник Национального университета кораблестроения*. – 2012. – № 2. – С. 104 – 108.
- SO/IEC Guide 73:2009 (2009). Risk management - Vocabulary. International Organization for Standardization.
- ISO/DIS 31000 (2009). Risk management - Principles and guidelines on implementation. International Organization for Standardization.
- Simon, Peter**. Practical Risk Management: The ATOM Methodology / **Peter Simon, David Hillson** // *Management Concepts*. – 2012. – Vienna, VA.
- Вайсман, В. А.** Теория проектно-ориентированного управления: обоснование закона Бушуева С. Д. / **В. А. Вайсман, В. Д. Гогунский, С. В. Руденко** // *Наукові записки Міжнародного гуманітарного університету. Наукове видання. Серія «Управління проектами та програмами»*. – 2009. – Вип. 16. – С. 9 – 13.
- Гогунский, В. Д.** Закон Бушуева – гарантия неполной трансформации серийных проектов в операционную деятельность / **В. Д. Гогунский, И. И. Становская, И. Н. Гурьев** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Системы управления*. – Харьков, 2013. – № 4/3 (64). – С. 41 – 44.
- Савельєва, О. С.** Інформаційні технології оптимізації конструкції та технології виготовлення гумометалевих виробів / **О. С. Савельєва, І. І. Становська, О. Ю. Лебедєва, А. В. Торопенко** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. – Харьков, 2016. – № 2/2 (80). – С. 28 – 33. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65456.
- Савельєва, О. С.** Разработка термодинамической критериальной поддержки когнитивных моделей переноса в управлении проектами и программами / **О. С. Савельєва, И. И. Становская, А. В. Торопенко, И. Н. Щедров, Е. И. Березовская** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. – Харьков, 2015 – № 6/3(78). – С. 53-59. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
- Иванов, М. Т.** Теоретические основы радиотехники / **М. Т. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков** // *Под ред. В. Н. Ушакова*. – М.: Высшая школа, 2002. – 306 с.
- Лекции по Теории передачи сигналов. URL: <http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA4OS8yLTEuaHR> (дата обращения: 19.07.2017).
- Осипов, Л. А.** Обработка сигналов на цифровых процессорах. Линейно-аппроксимирующий метод / **Л. А. Осипов**. Горячая линия–Телеком. – М., 2001. – 114 с.
- Berman, Alan**. Constructing a Successful Business Continuity Plan / **Alan Berman** // *Business Insurance Magazine*. – 2015.
- Ушаков, Д. В.** Психология интеллекта и одаренности / **Д. В. Ушаков**. Институт психологии РАН. – М., 2011. – 464 с.

Bibliography (transliterated)

- Types of Risk in Project Management. Project-management.com, 2017.
- Hubbard, Douglas**. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It. John Wiley & Sons, 2009, 46.
- Rukovodstvo k svodu znanij po upravleniyu proektami (Rukovodstvo PMBOK®), 2013. 5-e izd, USA/SShA: Project management institute, 586.
- Flyvbjerg, Bent, Budzier, Alexander**. Why Your IT Project May Be Riskier Than You Think. *Harvard Business Review*, 2011, **89** (9), 601–603.
- Savelyeva, O., Stanovska, I., Bibik, T., Berezovska, K.** Upravlinnya programoyu suprovodzhennya sistem avarijnogo zahistu AES. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Processy upravleniya*, 2016, **2/3** (80), 49 – 56, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65641.
- Bushuev, S., Bushuev, D.** Osnovy individualnyh kompetencij dlya Upravleniya Proektami, Programmami i Portfelyami (National Competence Baseline, NCB Version 4.0), 2017, Sammit-Kniga 1, 178.
- Gogunskij, V., Bibik, T., Stanovskaya, I.** Upravlenie kompleksnymi riskami proekta soprovozhdeniya sistem avarijnoj zashity obektov otvetstvennogo naznacheniya. *Vestnik Nacionalnogo universiteta korablestroeniya*, 2012, **2**, 104-108.
- SO/IEC Guide 73:2009. Risk management-Vocabulary. International Organization for Standardization, 2009.
- ISO/DIS 31000. Risk management-Principles and guidelines on implementation. International Organization for Standardization, 2009.
- Peter, Simon, David, Hillson**. Practical Risk Management: The ATOM Methodology Management Concepts, 2012, Vienna, VA.
- Vajsman, V., Gogunskij, V., Rudenko, S.** Teoriya proektno-orientirovannogo upravleniya: obosnovanie zakona Bushueva S.D. *Naukovi zapiski Mizhnarodnogo humanitarnogo universitetu. Seriya «Upravlinnya proektami ta programami»*, 2009, **16**, 9-13.
- Gogunskij, V., Stanovskaya, I., Gurev, I.** Zakon Bushueva – garantiya nepolnoj transformacii serijnyh proektov v operacionnyuy deyatelnost. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Sistemy upravleniya*, 2013, **4/3** (64), 41 – 44.
- Savelyeva, O., Stanovska, I., Lebedyeva, O., Toropenko, A.** Informacijni tehnologii optimizaciyi konstrukciji ta tehnologii vigotvleniya gumometallevih virobiv. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Informacionnye tehnologii*, 2016, **2/2** (80), 28-33, doi:

- 10.15587/1729-4061.2016.65456.
14. **Saveleva, O., Stanovskaya, I., Toropenko, A., Shedrov, I., Berezovskaya, E.** Razrabotka termodinamicheskoy kriterialnoj podderzhki kognitivnyh modelej perenosa v upravlenii proektami i programmami. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Informacionnye tehnologii*, 2015, 6/3(78), 53 – 59, doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
 15. **Ivanov, M., Sergienko, A., Ushakov, V.** Teoreticheskie osnovy radiotekhniki. 2002, Vysshaya shkola, 306.
 16. Lekcii po Teorii peredachi signalov. Available at: <http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA4OS8yLTEuaHR> (data obrasheniya: 19.07.2017).
 17. **Osipov, L.** Obrabotka signalov na cifrovyyh processorah. Linejno-approksimiruyushij metod. *Goryachaya liniya–Telekom*, 2001, 114.
 18. **Berman, Alan.** Constructing a Successful Business Continuity Plan. *Business Insurance Magazine*, 2015.
 19. **Ushakov, D.** Psihologiya intellekta i odarennosti. Institut psihologii RAN, 2011, 464.

Відомості про авторів (About authors)

Колеснікова Катерина Вікторівна – доктор технічних наук, професор, Одеський технологічний університет «ШАГ», м. Одеса, Україна; e-mail: amberk4@gmail.com.

Kateryna Kolesnikova – Doctor of Technical Sciences, Professor of Information Technologies Department, Odessa Technological University «STEP», Odessa, Ukraine; e-mail: amberk4@gmail.com.

Становська Іраїда Іванівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; м. Одеса, Україна; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Iraida Stanovska – Candidate of Technical Sciences, Docent of Mathematics and Modeling Systems Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Герганов Максим Леонідович – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри інформаційних технологій; м. Одеса, Україна; e-mail: max.at942@gmail.com.

Maksym Gerganov – Candidate of Technical Sciences, Docent of information technology Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: max.at942@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Колеснікова, К. В. Інформаційна технологія дискретизації поняття «ризик» при управлінні проектами та програмами / **К. В. Колеснікова, І. І. Становська, М. Л. Герганов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.27.

Please cite this article as:

Kolesnikova, K., Stanovskaya, I., Gerganov, M. Information technology of the "risk" concept discretization in the projects and programs management. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 16-21, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.27.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Колесникова, Е. В. Информационная технология дискретизации понятия «риск» при управлении проектами и программами / **Е. В. Колесникова, И. И. Становская, М. Л. Герганов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.27.

АННОТАЦИЯ Показано, что соотношение для количественной оценки рисков проектной деятельности не может быть практически использовано, поскольку вероятность наступления рискового события не имеет смысла как статистическая характеристика, так как проектная деятельность, по определению, уникальна. Предложено рассматривать отдельно риски составляющих проекта: технологической, вариативной и креативной, определяя параметры риска по разным информационным технологиям. Подтверждено эффективное использование новых проектно-ориентированных методов для управления процессом строительства с использованием операций транспортировки специальных грузов в условиях рисков, вытекающих из противоречия между исполнителями проекта.

Ключевые слова: проектная деятельность; оценка рисков; технологическая; вариативная и креативная составляющие; информационные технологии.

Надійшла (received) 28.06.2018

УДК 574:004.942

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.28

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНЫХ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕМАСКИРОВКИ КРЫС ПРИ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

К. В. НОСОВ^{1*}, Ю. Г. БЕСПАЛОВ¹, Е. В. ВЫСОЦКАЯ², А. Н. СТРАШНЕНКО²,
А. И. ПЕЧЕРСКАЯ²

¹ Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, УКРАИНА

² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

*email: k-n@nm.ru

АННОТАЦИЯ Статья посвящена определению системных колориметрических параметров демаскировки крыс (*Rattus norvegicus*) при видеорегистрации в городских условиях. Найдена комбинация значений колориметрических параметров, которая может сыграть роль системного колориметрического параметра, являющейся наиболее выраженной мерой пестроты защитной окраски *Rattus norvegicus*. Эффективность использования найденного системного колориметрического параметра была проверена обработкой полученного изображения крысы на фоне фрагмента городского пейзажа. Полученные результаты обработки изображения крысы показывают эффективность повышения контрастности силуэта животного, что увеличивает эффективность видео-регистрации численности и миграций серой крысы в условиях города.

Ключевые слова: серая крыса; защитная окраска; колориметрические параметры; обработка изображения; траектория системы; дискретные модели динамических систем; база данных

DETERMINATION OF THE SYSTEMIC COLORIMETRIC PARAMETERS OF UNMASKING RATS AT VIDEOR REGISTRATION IN URBAN CONDITIONS

К. В. NOSOV¹, Yu. G. BESPALOV¹, O. V. VYSOTSKA², H. M. STRASHNENKO²,
A. I. PECHERSKA²

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, UKRAINE

²Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The relevance of the article is determined by threats to biobesopathy in urban conditions, which can be created by loss of control over the population of rats (*Rattus norvegicus*). The purpose of the study is to determine of the system colorimetric parameters of unmasking rats with video recording in urban conditions. Methods of solution. This goal is achieved by mathematical modeling of systemic colorimetric parameters of the rat's protective coloration. Exceeding these values over similar background values of the urban landscape fragments allows unmasking animals. Modeling is performed using new class of models – discrete models of dynamic systems, based on the actual image material *Rattus norvegicus*. Images taken from the Internet and processed using MatLab package. Results. A values combination of the colorimetric parameters are found that can play the role of the system colorimetric parameters, which is the most pronounced measure of the variegation of the *Rattus norvegicus* protective coloration. This value is entered in a specially created database, which contains information about the spatial coordinates of this segment in the image. The value of the specified color parameter for each segment during image processing is denoted by a conventional color. Placing a segment on an image is determined by its spatial coordinates entered in the database. The effectiveness of SCP using was verified by image processing of the rat against the background of a fragment of the urban landscape. Conclusions. The results of image processing of the rat show the effectiveness of contrast increasing of the silhouette of the animal, which increases the efficiency of video recording of numbers and migrations of the gray rats in urban conditions.

Keywords: gray rat; protective coloration; colorimetric parameters; image processing; trajectory of the system; discrete models of dynamic systems; database

Введение

Серая крыса (*Rattus norvegicus*) является потенциальным резервуаром ряда опасных инфекционных заболеваний человека. В связи с этим контроль за численностью и распространением этих животных имеет важное значение для обеспечения биобезопасности. В частности – такой контроль

является необходимым элементом некоторых мероприятий в сферах санитарии, гигиены и ветеринарной медицины. Речь идет о мероприятиях по элиминации угроз эпидемий и эпизоотий.

В настоящее время существуют возможности широкого использования для контроля численности и распространения *Rattus norvegicus* таких высокотехнологичных методов как видеосъемка и

видеонаблюдение. Такие возможности особенно велики в городах, где роль крыс как потенциального источника вышеуказанных угроз биобезопасности достаточно велика.

Препятствием для эффективного использования в указанных целях систем видеонаблюдения является наличие у *Rattus norvegicus* защитной окраски.

Защитная окраска животных в настоящее время является популярным в среде биологов предметом изучения. Эта популярность обусловлена, в частности, удобством этого предмета для исследования ряда актуальных проблем фундаментальной биологии [1]. Речь идет о проблематике эволюционной теории вообще и адаптационных механизмов живых организмов в частности.

Окраска животных служит, наряду с задачами маскировки, также и другим целям (сигнализации, терморегуляции и т.д.) [1]. В данной статье, в частности, уделяется достаточно много внимания роли геометрических аспектов функционирования защитной окраски животных и отмечается сравнительно малая изученность проблемы роли многообразия в эффективности функционирования защитной окраски животных.

В работе [2] описывается влияние на маскирующие водных животных адаптационные механизмы некоторых специфических оптических параметров водной среды. В работах [3, 4] описываются связанные с маскировкой способы использования морскими животными биологического свечения и поляризации света.

Работы [5-7] посвящены соответственно: адаптационным механизмам, связанным с изменением цвета, более общим проблемам стратегий функционирования маскировки животных, более узкой проблеме реализации этих стратегий в разных частях морских акваторий.

В работах [8, 9] описываются сложившиеся в ходе эволюционного процесса отношения между развитием цветного зрения животных и их окраской, биохимическими и физиологическими механизмами ее формирования. Работа [10] посвящена оказывающим влияние на окраску параметрам генома популяции диких животных.

Результаты моделирования используемых с разными целями в водной среде факторов окраски рыб описаны в работе [11]. Функциональная классификация использования для межвидовой сигнализации окраски животными и растениями дана в работе [12]. В работе [13] освещена роль окраски насекомых в механизмах их терморегуляции.

Частный, но имеющий большое практическое значение (в том числе в рамках настоящей работы) аспект роли окраски краевых участков силуэта животного в разрушении целостного визуального восприятия его контура отмечается в работе [14]. Более общий аспект этой проблемы, связывающий

эффективность маскировки животного с комбинацией параметров цвета и рисунка отмечается в работах [6, 15]. Описание аспектов обработки мозгом зрительной информации, характер отношений которых влияет на скорость различных процессов визуального восприятия дано в работе [16].

Как указывалось выше сравнительно мало изучена проблема влияния степени вариации на параметры рисунка защитной окраски, что и отмечается в обзорной статье [1]. Можно предположить, что это связано с относительно слабой конкретной содержательной интерпретацией известного положения о положительном влиянии биоразнообразия на характер функционирования (в частности – на стабильность) живых систем. Определенный прогресс в этом направлении наметился в связи с разработкой Е. Н. Букваревой с соавторами [17] концепции оптимального многообразия. В этой концепции значительная роль отводится связи эффекта разнообразия системы с наличием в ней ресурсов.

В работе [18] в качестве меры многообразия предлагается количество стратегий использования системой ресурсов. В работе [19] предлагается более общий подход к использованию в качестве меры биоразнообразия количество стратегий функционирования системы. В работах [18, 19] указанные стратегии отождествляются с комбинациями значений параметров системы присутствующими в цикле изменений ее состояния. В указанных [18, 19] работах этот цикл наглядно представлен с помощью нового класса математических моделей – дискретных моделей динамических систем (ДМДС) [21-24].

В работе [19] показана возможность обработки с использованием ДМДС изображения животного (рыбы), повышающая его контрастность на фоне водного растительного сообщества. В описанном в данной работе [19] случае этот эффект достигается с использованием результатов анализа многообразия сочетаний колориметрических параметров этого растительного сообщества – местообитания рыбы. Эти результаты позволяют предложить метод компьютерной обработки, повышающий монотонность растительного фона, на котором повышается контрастность изображения животного.

В работах [18, 19] для наглядного представления множества стратегий системы используется идеализированная траектория системы (ИТС), построенная с помощью ДМДС.

Следует отметить, что ДМДС является эффективным инструментом, помогающим исследователю сформулировать некоторые положения, которые являются лишь рабочими гипотезами, которые в дальнейшем должны проверяться другими методами. Конкретно основания для этих рабочих гипотез относительно структуры и динамики исследуемых систем создаются следующим образом. На основе структуры корреляций значений

компонентов системы ДМДС позволяет построить структуру межкомпонентных и симметричных внутрикомпонентных отношений в ней, которые обусловлены позитивными и негативными влияниями. На основе этой структуры для определенных начальных условий может быть построена ИТС, отражающая цикл смены разных комбинаций значений компонентов системы. Этим комбинациям соответствуют столбцы матрицы, в форме которой представлена ИТС. Столбцы матрицы трактуются также как условные шаги по времени, последовательность которых представляет динамику системы. В работах [18, 19] эти комбинации трактуются как стратегии функционирования системы. В рамках настоящей работы такая матрица непосредственно не отражает динамики цикла изменения состояний какой-либо биологической системы. Она лишь представляет множество комбинаций значений колориметрических параметров (КП) защитной окраски *Rattus norvegicus*. В связи с этим термин ИТС далее по тексту заменяется термином «идеализированная псевдотраектория системы» (ИПТС).

Эволюционно указанное множество возникло как адаптация к множеству комбинаций значений КП растительных сообществ в природных местах обитания этих животных. Соответствие многообразия значений КП защитной окраски крыс многообразию значений КП указанных растительных сообществ представляет собой в данном случае важный аспект адаптационной функции биоразнообразия. Следует отметить, что в условиях современного города такого соответствия может оказаться недостаточно. Для выполнения защитной окраской крыс ее адаптационной функции необходимо максимальное многообразие комбинаций значений ее КП. Речь идет о максимуме многообразия, который может быть обеспечен соответствующими ресурсами организма животного. Следует отметить, что защитная окраска крыс является расчленяющей (ее кажущаяся однородность следствие тонких различий между большим количеством оттенков). Притом, в соответствии со сказанным в работе [14], разрушающее визуальное восприятие контура животного действие такой окраски должно в наибольшей степени проявляться на краях силуэта. Реализация этого маскирующего животного эффекта предполагает, что в его расчленяющей окраске на краю силуэта всегда присутствует пятно, комбинация значений КП которого достаточно близка к такой комбинации фона конкретной детали городского пейзажа. При этом весьма вероятно, что многообразие комбинаций значений КП данной детали городского пейзажа существенно меньше такого многообразия в расчленяющей окраске крысы. При том, что это многообразие окраски крысы, хотя и достаточно велико, но, вероятно, меньше общего многообразия комбинаций значений КП деталей городского пейзажа.

В рамках настоящей работы с использованием результатов, полученных в исследованиях [19], именно многообразие комбинаций значений КП в расчленяющей окраске крысы может быть использовано для ее демаскировки. Такое использование осуществляется путем реализации следующей процедуры.

Изображение разбивается на сегменты. Каждый сегмент разбивается на микросегменты. Для каждого микросегмента определяется значение КП. Для множества значений КП микросегментов каждого сегмента определяется значение системного колориметрического параметра (СКП), которое характеризует многообразие значений указанных КП в сегменте. Это значение заносится в специально созданную базу данных (БД), содержащую информацию о пространственных координатах данного сегмента на изображении. При обработке изображения значение указанного СКП для каждого сегмента обозначается условным цветом. Размещение сегмента на изображении, определяется занесенными в БД его пространственными координатами.

Предметом данной работы является процедура компьютерной обработки изображения животного, основанная на результатах проведенного с помощью ДМДС моделирования, которые позволяют выявить наиболее выраженные для его силуэта параметры пестроты окраски. Такая процедура позволяет элиминировать маскирующий эффект расчленяющей окраски с использованием исходных цветных цифровых фотографий, полученных с помощью сравнительно дешевой и простой в эксплуатации, широко используемой в городских условиях аппаратуры для видеонаблюдения.

Актуальность решения этой задачи определяется угрозами для биобезопасности в городских условиях, которые могут быть созданы потерей контроля над численностью популяции *Rattus norvegicus*.

Цель работы

Целью исследования является определение системных колориметрических параметров демаскировки крыс при их видеорегистрации в городских условиях.

Изложение основного материала

В рамках данной работы находится СКП защитной окраски крысы с достаточно большим многообразием значений комбинаций КП. Для формулировки рабочей гипотезы относительно вида этого СКП анализируется вид ИПТС построенного с помощью ДМДС и представляющего многообразие комбинаций значений КП защитной окраски крысы. ДМДС осуществлялось с использованием коэффициента корреляции Спирмена и подхода основанного на расширенной трактовке закона

Либиха. Моделирование осуществляется на основе фактического материала изображений *Rattus norvegicus*, находящегося в интернете и обработанного с помощью пакета MathLab. Эффективность использования указанного СКП проверяется обработкой полученного цифровой фотографией изображения крысы на фоне фрагмента городского пейзажа.

С использованием ДМДС в результате настоящей работы получена ИПТС, которая представляет множество неповторяющихся комбинаций КП защитной расчленяющей окраски *Rattus norvegicus*. Предполагается, что эти КП, отражают разные аспекты биопродукционных процессов растительных сообществ, в которых в ходе эволюционного процесса формировалась эта защитная окраска. Определение значений этих КП производилось на основе компьютерной обработкой значений компонентов RGB-модели цифровой фотографии обитающих на территории г. Харьков (Украина) представителей *Rattus norvegicus*. Конкретно: речь идет о следующих КП:

R/G – «желто-зеленый индекс», отражающий пигментное разнообразие в растительном сообществе связанное с его стабильностью;

R/(R+G+B) – отражает содержание в вышеуказанных растительных сообществах желто-оранжевых растительных пигментов, преобладание которых характерно для старых и мертвых клеток фотосинтезирующих организмов;

G/(R+G+B) – отражает содержание зеленого пигмента хлорофилла, преобладание которого характерно для молодых активно фотосинтезирующих растительных клеток;

(G)/(R+G) – отражает отношение фотосинтетической продукции растительного сообщества, агентом которой является зеленый хлорофилл, к суммарной биомассе, содержащей молодые, живые, старые и мертвые клетки.

Вид указанной ИПТС представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Вид ИПТС, отражающей множество комбинаций колориметрических параметров защитной расчленяющей окраски *Rattus norvegicus*

Номера условных шагов по времени	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R/G	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2
R/(R+G+B)	3	3	2	1	1	1	2	1	2	3
G/(R+G+B)	2	3	3	3	2	1	1	1	1	1
G/(R+G)	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1

В табл. 1 столбцы представляют условные шаги по времени. Строки – значения колориметрических параметров, данные в условных баллах (1 – низкие, 2 – средние, 3 – высокие).

Смысл: данное в условных баллах число градаций значений параметра $R^*G/(R+G+B)$, равное

пяти (1, 2, 3, 6, 9) значительно больше равного двум (1, 2) числа градаций также данных в условных баллах значений параметра R/G, соответствующих в модели воспринимаемым глазом комбинациям градаций красного и зеленого, формирующим расчленяющую защитную серо-коричневую окраску крыс. Соответственно, можно сформулировать рабочую гипотезу, в соответствии с которой показатель (например – сигма) вариабельности значений колориметрического параметра $R^*G/(R+G+B)$ может, в рамках вышеописанной (с расчленением на сегменты и микросегменты) процедуры обработки изображения обеспечить демаскирующий эффект. Речь идет о демаскировке крысы в городских условиях. Данный эффект подтверждается результатами такой обработки изображениями, представленными ниже.

Для определения наиболее многообразной по значениям комбинации КП составляем матрицу, представленную в табл. 2. Столбы матрицы представляют условные шаги по времени. Строки матрицы представляют данные в тех же условных баллах, что и в табл. 1 произведения значений КП.

Таблица 2 – Матрица произведений значений КП

Номера условных шагов по времени	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R/G * R/(R+G+B)$	6	6	2	1	1	1	4	1	4	6
$R/G * G/(R+G+B)$	4	6	3	3	2	1	2	1	2	2
$R/G * G/(R+G)$	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
$R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$	6	9	6	3	2	1	2	1	2	3
$R/(R+G+B) * G/(R+G)$	3	3	4	2	2	2	2	1	2	3
$G/(R+G+B) * G/(R+G)$	2	3	6	6	4	2	1	1	1	1

В табл. 3 представлены количества и состав не повторяющихся комбинаций произведений значений КП, присутствующих в табл. 2.

Таблица 3 – Данные о количестве и составе не повторяющихся комбинаций произведений значений КП

Комбинации произведений значений КП	Количество комбинаций	Состав комбинаций
$R/G * R/(R+G+B)$	4	6, 2, 1, 4,
$R/G * G/(R+G+B)$	5	4, 6, 3, 2, 1
$R/G * G/(R+G)$	2	2, 1
$R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$	5	6, 9, 3, 2, 1
$R/(R+G+B) * G/(R+G)$	4	3, 4, 2, 1
$G/(R+G+B) * G/(R+G)$	5	2, 3, 6, 4, 1

Наибольшее число комбинаций произведений значений КП (5) найдена для следующих комбинаций: $R/G * G/(R+G+B)$; $R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$;

$G/(R+G+B) * G/(R+G)$. Далее анализируем комбинации произведений значений КП по их разбросу.

Наибольший разброс значений для комбинации, представленной произведением $R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$. Оно находится в интервале от 1 до 9. Для других комбинаций этот разброс меньше. Его значение лежит в интервалах: $R/G * R/(R+G+B)$ – от 1 до 6; $R/G * G/(R+G+B)$ – от 1 до 6; $R/G * G/(R+G)$ – от 1 до 2; $R/(R+G+B) * G/(R+G)$ – от 1 до 4; $G/(R+G+B) * G/(R+G)$ – от 1 до 6.

С учетом указанных результатов анализа вида ИПТС, представленной в табл. 1, каковы результаты детализированы в табл. 2-4 и была найдена комбинация значений КП, которая может сыграть роль искомой СКП. Речь идет об СКП, являющейся наиболее выраженной мерой пестроты защитной окраски *Rattus norvegicus* и равной $R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$. Для этого и проводился анализ вида ИПТС с нахождением такой комбинации значений, вариабельность которой будет наибольшей. Эта вариабельность (выраженная, например, значением среднего квадратичного отклонения) и будет мерой пестроты. При обработке изображения с использованием таких СКП можно обозначать значение этой меры пестроты условным цветом. Выше упоминалось о значительной вероятности того, что значение меры пестроты силуэта крысы будет выше такой меры фона конкретного фрагмента городского пейзажа. Соответственно – велика вероятность повышения контрастности на этом фоне силуэта крысы при обработке изображения с обозначением меры пестроты условным цветом. Чувствительность такого метода будет зависеть от числа градаций значений комбинаций КП. Это число для показателя $R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$ является наибольшим.

Соответственно, можно сформулировать рабочую гипотезу, в соответствии с которой показатель (например – среднее квадратичное отклонение) вариабельности значений колориметрического параметра $R * G / (R + G + B)$ может, в рамках вышеописанной (с расчленением на сегменты и микросегменты) процедуры обработки изображения обеспечить демаскирующий эффект. Речь идет о демаскировке крысы в городских условиях. Данный эффект подтверждается результатами обработки изображения, представленными на рис. 1, 2, 3.

На рис. 3 представленное на рис. 2 изображение после обработки в соответствии с процедурой, описанной в данной статье. Справа – шкала условных цветов, отражающая степень вариабельности (в средних квадратичных отклонениях) колориметрических параметров. Отчетливо видно повышение вариабельности КП окраски животного на краевых участках силуэта.



Рис. 1 – Исходное изображение *Rattus norvegicus* на фоне фрагмента городского пейзажа (доцятый забор)

Такая процедура, как было сказано выше, предполагает разработку специальной БД, поля значений которой отражают пространственное положение сегмента и значение СКП для множества его микросегментов.

На рис. 2 изображено не обработанное в соответствии с описанной в данной работе процедурой, представленное на рис. 1 изображение, контрастность которого искусственно ухудшена компьютерными методами, имитирующими ухудшенные условия видеонаблюдения (туман, пыль, плохое освещение, прочее).

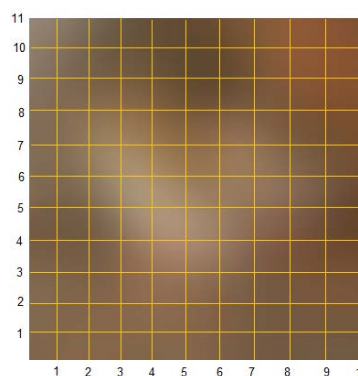


Рис. 2 – Не обработанное изображение в соответствии с описанной в данной работе процедурой

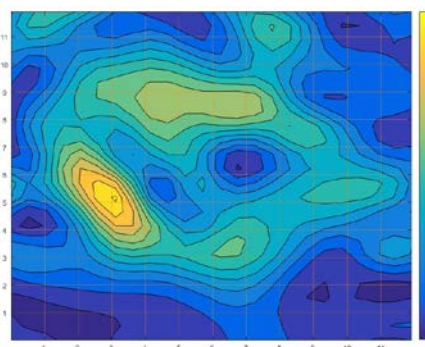


Рис. 3 – Изображение после обработки в соответствии с процедурой, использующей $R/(R+G+B) * G/(R+G+B)$

Таким образом, представленные на рис. 1-3 результаты обработки изображения крысы показывают эффективность повышения контрастности силуэта животного путем процедуры, включающей следующие этапы:

- построение, с помощью ДМДС, ИПТС, представляющей множество комбинаций защитной расчлняющей окраски *Rattus norvegicus*;

- нахождение, путем анализа вида указанного ИПТС, СКП, обладающего наибольшим многообразием комбинаций значений;

- разбиение изображения на сегменты, а сегментов на микросегменты, для каждого из которых определяются значения вышеуказанных КП;

- построение БД, в записях которого присутствуют данные о полях значений, отражающих степень вариабельности КП в выборке микросегментов каждого сегмента и его координаты на изображении;

- обработка изображения с обозначением условным цветом степени вариабельности КП в выборке микросегментов каждого сегмента.

Обсуждение результатов

Представленные в настоящей работе результаты использования предложенной процедуры с помощью ДМДС говорят об эффективности ее применения для улучшения видео-регистрации численности и миграций серой крысы в условиях города. Речь идет о повышении эффективности путем компьютерной обработки видеoinформации, элиминирующей адаптирующие животных к условиям городского пейзажа параметры защитной расчлняющей окраски. Существенным моментом новизны указанной процедуры является использование ДМДС в качестве инструмента порождения рабочих гипотез. При этом важную роль играет возможность с помощью ДМДС непосредственно наглядно представить структуру обратных связей и следующую из нее динамику исследуемой системы. Эта возможность дает весьма значимое преимущество, например, в сравнении с описанными в работе [17] применениями различных мер биоразнообразия, для описания различных параметров функционирования изучаемых биологических систем. Эти преимущества связаны, в частности, с меньшими, в случае использования ДМДС, требованиями к исходному фактическому материалу. Он может быть существенно меньше по объему и содержать лакуны, не позволяющие дать непосредственное описание динамики исследуемого процесса в реальном времени. В настоящей работе динамика присутствует опосредовано – как аспект функционирования растительных сообществ, на фоне которых в ходе эволюции сформировалась защитная окраска *Rattus norvegicus*.

Выводы

Таким образом, найдена комбинация значений СКП демаскировки крыс (*Rattus norvegicus*) при видеорегистрации в городских условиях. Обработка изображения крысы на фоне фрагмента городского пейзажа с помощью найденной комбинации СКП показала эффективность повышения контрастности силуэта животного, что позволяет повысить эффективность видео-регистрации численности и миграций серой крысы в условиях города.

Список литературы

1. **Endler, J. A.** The current and future state of animal coloration research / **J. A. Endler, J. Mappes** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0352.
2. **Johnsen, S.** The asymmetry of the underwater horizontal light field and its implications for mirrorbased camouflage in silvery pelagic fish / **S. Johnsen, E. Gassmann, R.A. Reynolds** [et al.] // *Limnol. Oceanogr.* – 2014. – Vol. 59. – P. 1839-1852. – doi:10.4319/lo.2014.59.6.1839.
3. **Marshall, J.** Fluorescence as a means of colour signal enhancement / **J. Marshall, S. Johnsen** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0335.
4. **Feller, K. D.** Selection of the intrinsic polarization properties of animal optical materials creates enhanced structural reflectivity and camouflage / **K. D. Feller, T. M. Jordan, D. Wilby** [et al.] // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0336.
5. **Duarte, R. C.** Camouflage through colour change: mechanisms, adaptive value and ecological significance / **R. C. Duarte, A. V. Flores, M. Stevens** // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0342
6. **Merilaita, S.** How camouflage works / **S. Merilaita, N. E. Scott-Samuel, I. C. Cuthill** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0341.
7. **Johnsen, S.** Hide and seek in the open sea, pelagic camouflage and visual countermeasures / **S. Johnsen** // *Ann. Rev. Mar. Sci.* – 2014. – Vol. 6. – P. 369-392. – doi:10.1146/annurev-marine-010213-135018.
8. **Lind, O.** Coevolution of coloration and colour vision? / **O. Lind, M. J. Henze, A. Kelber** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0338.
9. **Shawkey, M. D.** Interactions between colour-producing mechanisms and their effects on the integumentary colour palette / **M. D. Shawkey, L. D'Alba** // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0536.
10. **San-Jose, L. M.** Genomics of coloration in natural animal populations / **L. M. San-Jose, A. Roulin** //

- Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences.* – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0337.
11. **Wilkins, L.** Modelling colour constancy in fish, implications for vision and signaling in water / **L. Wilkins, N.J. Marshall, S. Johnsen** [et al.] // *J. Exp. Biol.* – 2016. – Vol. 219. – P. 1884-1892. – doi:10.1242/jeb.139147.
 12. **Caro, T.** Interspecific visual signaling in animals and plants: a functional classification / **T. Caro, W. L. Allen** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences.* – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0344.
 13. **Umbers, K. D.** Colour in insect thermoregulation, empirical and theoretical tests in the colour-changing grasshopper, *Kosciuscola tristis* / **K. D. Umbers, M. E. Herberstein, J. S. Madin** // *J. Insect Physiol.* – 2013. – Vol. 59. – P. 81-90. – doi:10.1016/j.jinsphys.2012.10.016.
 14. **Troscianko, J.** Quantifying camouflage: how to predict detectability from appearance / **J. Troscianko, J. Skelhorn, M. Stevens** // *BMC Evol. Biol.* – 2017. – Vol. 17. – P. 7. –doi:10.1186/s12862-016-0854-2.
 15. **Stoddard, M. C.** Colour, vision and coevolution in avian brood parasitism / **M. C. Stoddard, M. E. Hauber** // *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences.* – 2017. – Vol. 372(1724). – doi:10.1098/rstb.2016.0339.
 16. **Nothdurft, H. C.** Fast identification of salient objects depends upon cue location / **H. C. Nothdurft** // *VPL Reports.* – 2016. – Vol. 5. – P. 1-8. – doi:10.4126/FRL01-006401398
 17. **Bukvareva, E. N.** Optimization, Niche and Neutral Mechanisms in the Formation of Biodiversity / **E. N. Bukvareva, G. M. Aleshchenko** // *American Journal of Life Sciences.* – 2013. – V. 1. – No. 4. – P. 174-183. – doi: 10.11648/j.ajls.20130104.16.
 18. **Bespalov, Y.** Discrete Modeling Dynamical Systems That Determine the Role of Biodiversity in Different Regimes of Using Resources at Different Levels of Organization of Living Matter. URL: <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2018/03/15/281279.full.pdf>. – doi: 10.1101/281279.
 19. **Bespalov, Yu., Nosov, K., Kabalyants, P.** Discrete dynamical model of mechanisms determining the relations of biodiversity and stability at different levels of organization of living matter. Available at: <https://www.biorxiv.org/content/early/2017/07/11/161687>. – doi: 10.1101/161687.
 20. **Balym, Y.** Mathematical modeling of systemic colorimetric parameters unmasking wild waterfowl / **Y. Balym, O. Vysotska, A. Pecherska, Yu. Bespalov** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2017. – № 5/2(89). – P. 12-18. – doi:10.15587/1729-4061.2017.110107.
 21. **Zholtkevych, G. N.** Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogenic Eutrophication / **G. N. Zholtkevych, Y.G. Bespalov, K. V. Nosov** [et al.] // *Acta Biotheoretica.* – 2013. – № 61(4). – P. 449-465. – doi:10.1007/s10441-013-9184-6.
 22. **Vysotska, O.** Modeling of a procedure for unmasking the foxes during activities on the elimination of biosafety threats related to rabies / **O. Vysotska, Y. Balym, M. Georgiyants** [et al.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2017. – Vol 5, №10 (89). – P. 46-54. – doi:10.15587/1729-4061.2017.109868
 23. **Zholtkevych, G. N.** Descriptive Models of System Dynamics / **K. V. Nosov, L. I. Rak, E. V. Vysotskaya** [et al.] // *Proceedings of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI), CEUR-WS.org.* – 2016. – Vol. 1614. – P. 57-72.
 24. **Жолткевич, Г. Н.** Дискретное моделирование динамических систем отношений размерных классов в популяции трески / **Г. Н. Жолткевич, К. В. Носов, Е. В. Высоцкая** [и др.] // *Системы обработки информации.* – 2016. – № 8. – С. 87-91.

Bibliography (transliterated)

1. **Endler, J. A., Mappes, J.** The current and future state of animal coloration research. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0352.
2. **Johnsen, S., Gassmann, R. A. Reynolds, Mobley C.** The asymmetry of the underwater horizontal light field and its implications for mirrorbased camouflage in silvery pelagic fish. *Limnol. Oceanogr.* 2014, **59**, 1839-1852, doi:10.4319/lo.2014.59.6.1839.
3. **Marshall, J., Johnsen, S.** Fluorescence as a means of colour signal enhancement. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0335.
4. **Feller, K. D., Jordan, T. M., Wilby, D., Roberts, Nicholas W.** Selection of the intrinsic polarization properties of animal optical materials creates enhanced structural reflectivity and camouflage. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0336.
5. **Duarte, R. C., Flores, A. V., Stevens, M.** Camouflage through colour change: mechanisms, adaptive value and ecological significance. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0342.
6. **Merilaita, S., Scott-Samuel, N. E., Cuthill, I. C.** How camouflage works. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0341.
7. **Johnsen, S.** Hide and seek in the open sea, pelagic camouflage and visual countermeasures. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 2014, **6**, 369-392, doi:10.1146/annurev-marine-010213-135018.
8. **Lind, O., Henze, M. J., Kelber, A.** Coevolution of coloration and colour vision? *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0338.
9. **Shawkey, M. D., D'Alba, L.** Interactions between colour-producing mechanisms and their effects on the integumentary colour palette. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0536.
10. **San-Jose, L. M., Roulin, A.** Genomics of coloration in natural animal populations. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0337.
11. **Wilkins, L., Marshall, N.J., Johnsen, S., Osorio, D.** Modelling colour constancy in fish, implications for

- vision and signaling in water. *J. Exp. Biol.*, 2016, **219**, 1884-1892, doi:10.1242/jeb.139147.
12. **Caro, T., Allen, W. L.** Interspecific visual signaling in animals and plants: a functional classification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0344.
 13. **Umbers, K. D., Herberstein, M. E., Madin, J. S.** Colour in insect thermoregulation, empirical and theoretical tests in the colour-changing grasshopper, *Kosciuscola tristis*. *J. Insect Physiol.*, 2013, **59**, 81-90, doi:10.1016/j.jinsphys.2012.10.016.
 14. **Troscianko, J., Skelhorn, J., Stevens, M.** Quantifying camouflage: how to predict detectability from appearance. *BMC Evol. Biol.*, 2017, **17**, 7, doi:10.1186/s12862-016-0854-2.
 15. **Stoddard, M. C., Hauber, M. E.** Colour, vision and coevolution in avian brood parasitism. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences.*, 2017, **372**(1724), doi:10.1098/rstb.2016.0339.
 16. **Nothdurft, H. C.** Fast identification of salient objects depends upon cue location. *VPL Reports*, 2016, **5**, 1-8, doi:10.4126/FRL01-006401398.
 17. **Bukvareva, E. N., Aleshchenko, G. M.** Optimization, Niche and Neutral Mechanisms in the Formation of Biodiversity. *American Journal of Life Sciences*, 2013, **1**, 4, 174-183, doi: 10.11648/j.ajls.20130104.16.
 18. **Bespalov, Y.** Discrete Modeling Dynamical Systems That Determine the Role of Biodiversity in Different Regimes of Using Resources at Different Levels of Organization of Living Matter. Available at: <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2018/03/15/281279.full.pdf>, doi: 10.1101/281279.
 19. **Bespalov, Yu., Nosov, K., Kabalyants, P.** Discrete dynamical model of mechanisms determining the relations of biodiversity and stability at different levels of organization of living matter. Available at: <https://www.biorxiv.org/content/early/2017/07/11/161687>, doi:10.1101/161687.
 20. **Balym, Y., Vysotska, O., Pecherska, A., Bespalov, Yu.** Mathematical modeling of systemic colorimetric parameters unmasking wild waterfowl. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **5/2** (89), 12-18, doi:10.15587/1729-4061.2017.110107.
 21. **Zholtkevych, G. N., Bespalov, Y. G., Nosov, K. V., Abhishek, M.** Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Antropogeneous Eutrophication. *Acta Biotheoretica*, 2013, **61** (4), 449-465, doi:10.1007/s10441-013-9184-6.
 22. **Vysotska, O., Balym, Y., Georgiyants, M., Pecherska, A., Nosov, K., Bespalov, Y.** Modeling of a procedure for unmasking the foxes during activities on the elimination of biosafety threats related to rabies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **5**, **10** (89), 46-54, doi:10.15587/1729-4061.2017.109868.
 23. **Zholtkevych, G. N., Nosov, K.V., Bespalov, Yu. G., Rak, L. I., Vysotskaya E. V., Balkova, Y. B., Kolomyichenko, V. K.** Descriptive Models of System Dynamics // *Proceedings of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications*. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI), CEUR-WS.org, 2016, **1614**, 57-72.
 24. **Zholtkevich, G. N., Nosov, K. V., Bespalov, Yu. G., Vysotskaya, E. V., Porvan, A. P.** Diskretnoe modelirovanie dinamicheskikh sistem otnosheni razmernykh klassov v populyatsii treski. *Systemy obrobky informatsii*, 2016, **8**, 87-91.

Сведения об авторах (About authors)

Носов Константин Валентинович – кандидат физико-математических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории моделирования адаптационных механизмов, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, г. Харьков; Украина; e-mail: k-n@nm.ru.

Konstantin Nosov – Ph. D., Associate Professor, Researcher of the Laboratory of Adaptive Mechanisms Modeling, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: k-n@nm.ru.

Беспалов Юрий Гаврилович – старший научный сотрудник научно-исследовательской части, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, г. Харьков; Украина; e-mail: bespalov@univer.kharkov.ua.

Yuriy Bespalov – Scientific Employee of the Research Section, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: bespalov@univer.kharkov.ua.

Высоцкая Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков; Украина; e-mail: evisotska@ukr.net.

Olena Vysotska – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: evisotska@ukr.net.

Страшненко Анна Николаевна – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков; Украина; e-mail: strashneno4ka@rambler.ru.

Anna Strashnenko – Ph. D., Scientific Employee of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv; Ukraine; e-mail: strashneno4ka@rambler.ru.

Печерская Анна Ивановна – кандидат технических наук, старший преподаватель, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков; Украина; e-mail: anna.pecherska@nure.ua.

Anna Pecherska – Ph. D., lecturer of the Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv; Ukraine; e-mail: anna.pecherska@nure.ua.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Носов, К. В. Процедура определения системных колориметрических параметров демаскировки крыс при видеорегистрации в городских условиях / **К. В. Носов, Ю. Г. Беспалов, Е. В. Высоцкая, А. Н. Страшненко, А. И. Печерская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 22-30. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.28.

Please cite this article as:

Nosov, K. V., Bepalov, Yu. G., Vysotska, O. V., Strashnenko, H. M., Pecherska, A. I. Determination of the systemic colorimetric parameters of unmasking rats at video registration in urban conditions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 22-30, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.28.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Носов, К. В. Процедура визначення системних колориметричних параметрів демаскування щурів при відеореєстрації в міських умовах / **К. В. Носов, Ю. Г. Беспалов, О. В. Высоцька, Г. М. Страшненко, А. І. Печерська** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 22-30. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.28.

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена визначенню системних колориметричних параметрів демаскування щурів (*Rattus norvegicus*) при відео-реєстрації в міських умовах. Знайдена комбінація значень колориметричних параметрів, яка може зіграти роль системного колориметричного параметру, що є найбільш вираженою мірою строкатості захисного забарвлення *Rattus norvegicus*. Ефективність використання знайденого системного колориметричного параметру була перевірена обробкою зображення щура на тлі фрагмента міського пейзажу. Отримані результати обробки зображення щура показують ефективність підвищення контрастності силуету тварини, що збільшує ефективність відео-реєстрації чисельності та міграцій сірого щура в умовах міста.

Ключові слова: сірий щур; захисне забарвлення; колориметричні параметри; обробка зображення; траєкторія системи; дискретні моделі динамічних систем; база даних

Поступила (received) 30.06.2018

УДК 615.47

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29

ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГА ОЩУЩЕНИЯ ОДОРИВЕКТОРА ПРИ РИНОМАНОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Я. В. НОСОВА^{1*}, О. Г. АВРУНИН², Т. В. ЖЕМЧУЖКИНА³

¹ аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

³ доцент кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

*email: nyav007@gmail.com

АННОТАЦИЯ Статья посвящена автоматизации определения порога ощущения одоривектора при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности. Данный порог соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при рино-ольфактометрической оценке обонятельной чувствительности человека. Таким образом, усовершенствован метод определения порога ольфакторной чувствительности, который отличается тем, что позволяет за счет анализа формы циклограммы носового дыхания повысить объективность диагностики нарушений обонятельной чувствительности или респираторно-обонятельных нарушений.

Ключевые слова: чувствительность обонятельная; одоривектор; порог чувствительности; нарушения дыхательно-обонятельные; ольфактометрия.

POSSIBILITIES FOR THE AUTOMATED DETECTION OF THE ODORIVEKTOR SENSATION THRESHOLD FOR A RHINOMANOMETRIC ASSESSMENT OF OLFACTORY SENSITIVITY

Ya. NOSOVA^{1*}, O. AVRUNIN², T. ZHEMCHUZHKINA³

¹ Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

² Professor of Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

³ Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The use of existing devices for the study of olfactory function requires a large amount of time and complex equipment, which limits their use in practical rhinology, and most importantly, ultimately, reduces to a subjective evaluation of the reaction to the supplied odorant. It should be noted that computer olfactometry is one of the most promising methods for diagnosing olfactory disorders namely respiratory genesis. When the odorivector senses normal in the subject near the threshold of sensation (when the intensity of breathing is increased), respiration is arbitrarily briefly shortened, and when the threshold of sensation sets in, the breathing cycles turn into "sniffing", which contributes to deeper air entering the olfactory area and recognizing the smell. This point in time can be characterized as the onset of the threshold of sensation of the odorivector. In this article, we propose a structural diagram of the method for determining the threshold of olfactory sensitivity. The main unit is the digital signal processing unit, in which the pneumatic power of the respiratory pattern is calculated as the product of the pressure drop and the air volume flow, and the calculation of the respiration energy is performed by integrating the cyclogram pneumatic breathing power. It is established that to establish the threshold of olfactory sensitivity it is expedient to use the developed method of automated determination of the threshold of sensation of an odorivector. The method is based on the analysis of the respiratory cycle, namely, the search for the time at which the subject briefly breathes for a short time. This threshold corresponds to the reaction of the test subject to the feed odor with a rhino- olfactometry evaluation of the human olfactory sensitivity. Improvement of the method consists in determining the threshold of olfactory sensitivity, which makes it possible, by analyzing the shape of the nasal respiratory cycle, to increase the objectivity of diagnosing abnormalities of olfactory sensitivity or respiratory and olfactory disorders. The prospect of the work consists in testing the computer system of respiratory-olfactory disorders and preliminary medical approbation.

Keywords: sensitivity olfactory; odouriver; threshold of sensitivity; violations of the respiratory and olfactory; olfactometry.

Введение

Церебральные механизмы обоняния человека тесно связаны с фундаментальными механизмами формирования потребностей, мотиваций и эмоций. То есть обонятельный анализатор, кроме выполнения

чисто сенсорных функций, способен влиять на деятельность различных систем мозга и организма в целом, поэтому интерес к нему продолжает нарастать [1-3].

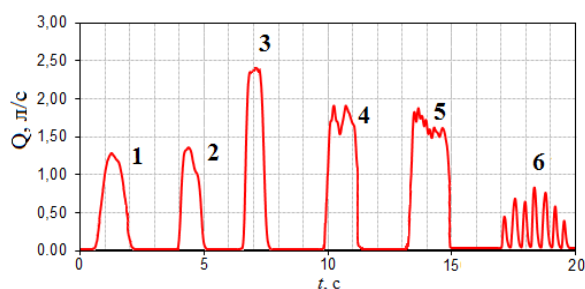
Применение существующих устройств для исследования функции обоняния требует большого

количество времени и сложной аппаратуры, что ограничивает их применение в практической ринологии, а главное, в конечном счете, сводится к субъективной оценке реакции на подаваемый одорант [4]. Однако, исследователи кафедры биомедицинской инженерии (ХНУРЭ) совместно с кафедрой оториноларингологии (ХНМУ) предложили метод компьютерной ольфактометрии [5-7], учитывающий вышеперечисленные недостатки существующих устройств.

Следует отметить, что компьютерная ольфактометрия является одним из наиболее перспективных методов диагностики обонятельных нарушений именно респираторного генеза.

Метод компьютерной ольфактометрии [6-7] основан на применении принципиально новой конструкции, сочетающей в себе риноманометр и ольфактометрическую насадку с контейнером для пахучего вещества. Особенностью данного метода является также возможность определять энергетические характеристики носового дыхания при достижении порога ощущения. Фиксация порога ощущения в ответ на подаваемый одорант происходит путем нажатия на специальную кнопку во время тестирования дыхательно-обонятельных нарушений.

Исследования данных риноманометрии в динамическом режиме (с визуализацией циклограмм дыхания) открывают новые возможности при анализе и интерпретации результатов тестирования носового дыхания [8-9]. Так, на рис. 1 для изменения расхода воздуха приведены типичные циклы вдоха при спокойном дыхании в норме (1 и 2, соответственно).



1, 2 – спокойное дыхание (норма); 3 – форсированное дыхание (ригидность носового клапана); 4, 5 – форсированное дыхание – ступенчатый вдох (нормально-функционирующая подвижность носового клапана); 6 – ступенчатый вдох – «принюхивание»

Рис.1 – Варианты дыхательных циклов

В форсированном режиме дыхания при ригидном носовом клапане на рис.1 (3) и при носовом клапане с нормальной функциональной подвижностью, ограничивающей поток воздуха с характерной усеченной вершиной на циклограмме (4 и 5, соответственно), а также ступенчатый вдох (6) – короткое «потягивание» воздуха, которое можно охарактеризовать, как своеобразное «принюхивание»,

что иллюстрируется высокочастотными биениями сигнала на диаграмме расхода воздуха.

Таким образом, представляется необходимым разработать алгоритм определения обонятельной чувствительности при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности.

Цель работы

Целью работы является разработка и реализация алгоритма автоматизированного определения порога ощущения одоривектора, что соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности.

Изложение основного материала

При ощущении одоривектора в норме у испытуемого вблизи достижения порога ощущения (при повышении интенсивности дыхания) произвольно кратковременно учащается дыхание и при наступлении порога ощущения дыхательные циклы (после 4-го дыхательного цикла) на рис. 1 превращаются в «принюхивание», что способствует более глубокому попаданию воздуха в обонятельную область и распознаванию запаха [8]. Этот момент времени можно характеризовать как наступление порога ощущения T одоривектора (рис. 2).

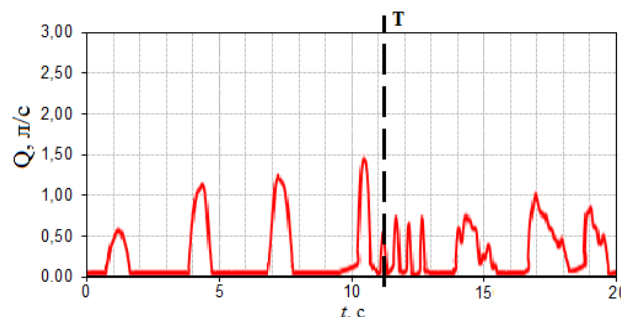


Рис. 2 – Циклограмма расхода воздуха при носовом дыхании (T – порог ощущения)

Была разработана структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности (рис.3).

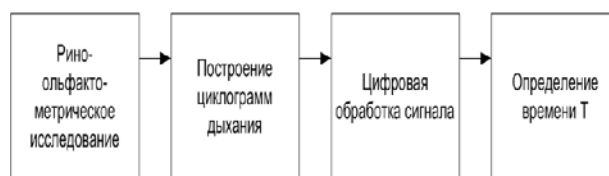


Рис. 3 – Структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности

Первый блок включает рино-ольфактометрическое исследование. Его суть на

первом этапе включает выполнение подготовки к проведению процедуры динамической риноманометрии (rinoflowmetry), при которой измеряются показатели перепада давления Δp на носовой полости и расхода Q воздуха при носовом дыхании. Носитель одоривектора размещается в воздушном тракте риноманометра, как правило, на входе датчика измерения расхода воздуха.

Для исследования обонятельной чувствительности применяются три обонятельных вещества. Так как иннервация слизистой оболочки носа, кроме обонятельного нерва, происходит чувствительными ветвями глазного и верхнечелюстного нервов (ветви тройничного нерва), то целесообразно применять одоривекторы разного рецепторного действия: раствор валерианы, который обусловлен нервом *p. olfactorius*; уксусная кислота, обусловленная *p. trigemini* и нашатырный спирт, обусловленный *p. glossopharyngeus*.

Далее выполняется непосредственно процедура динамической ринофлоуметрии с помощью риноманометра для получения циклограмм дыхания (блок 2 рис.3), представляющие собой зависимости расхода $Q(t)$ воздуха и перепада давления $\Delta p(t)$ на носовой полости от времени. При этом тестируемый выполняет дыхательные маневры с нарастанием их интенсивности.

Блок цифровой обработки сигнала реализован на основе алгоритма поиска момента времени реакции тестируемого на подаваемый одорант.

Далее в блоке цифровой обработки сигнала выполняется расчет пневматической мощности $N(t)$ циклограммы дыхания как произведения перепада давления и объемного расхода воздуха, а также расчет энергии дыхания E , характеризующий колориметрические затраты на дыхание при появлении чувствительности к одоривектору, выполняется интегрированием циклограммы пневматической мощности дыхания.

Обсуждение результатов

Рассмотрим описание работы разработанного алгоритма на примере конкретного сигнала (рис.4).

Начальный этап заключается в фиксации уплощенной формы и локальных экстремумов сигнала расхода воздуха во время компьютерной риноманометрии путем численного дифференцирования сигнала расхода воздуха по времени и анализа количества нулевых значений производной во время фазы вдоха дыхательного цикла (при положительном значении сигнала расхода воздуха). Численное дифференцирование измеряемого сигнала расхода воздуха осуществляется согласно формуле:

$$y(t) = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q(i) - Q(i-1)}{t(i) - t(i-1)},$$

где $Q(i)$ – дискретно заданные i -е значения сигнала расхода воздуха в моменты времени $t(i)$, $i \in [1; n]$,

n – количество отсчетов сигнала расхода воздуха,

Δt – временной интервал между отсчетами сигнала.

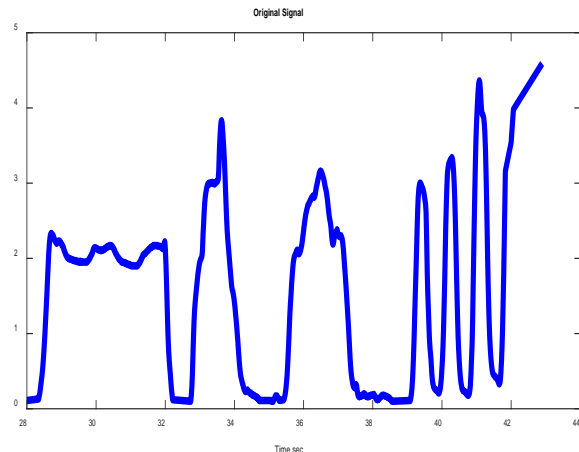


Рис. 4 – Исходный рино-ольфактометрический сигнал

Исходный сигнал имеет неравномерную дискретизацию по времени. Проведем передискретизацию сигнала y по равномерной временной шкале t_1 с периодом дискретизации T_s равным 0,001 с.

Для этого выполняем процедуру линейной интерполяции. Она заключается в замене $y(t)$ линейной функцией на основе значений $y(t)$ в двух точках. Для двух соседних точек линейная интерполяция задается уравнением [10]:

$$y = y_0 + [(t-t_0)(y_1-y_0)] / (t_1-t_0).$$

Линейная интерполяция носит локальный характер и используется для нахождения значений $y(t)$ на отрезке $[t_{i-1}; t_i]$, $[t_i; t_{i+1}]$, где $i=1, 2, \dots, N$. В результате интерполяции получаем новый сигнал $t_1(y_1)$.

Задаем порог $Thr=0,5$, по которому будем отсекал сигнал для определения дыхательных периодов. Выполняем поиск периодов дыхания, где значение сигнала превышает заданный порог (рис.1). Для этого в цикле по всем точкам y_1 ($i=1:N$, где N - количество точек в массиве y_1) проверяем условие превышения i -й точкой сигнала порога Thr .

В случае выполнения условия, переменной Act_i присваиваем значение 1, в противном случае – значение 0. Таким образом, формируем новый массив значений.

$$Act(i) = \begin{cases} 1; & y_1(t_1) > 0,5 \text{ л / с} \\ 0; & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Выполняем процедуру поиска точек начала периодов дыхания путем перебора всех точек массива Act. Если точка массива Act равна нулю, а следующая равна единице, то эта точка и есть началом искомого периода дыхания. Таким образом, формируем массив St.

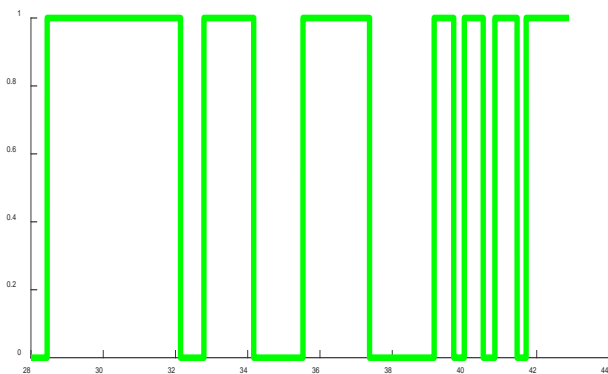


Рис. 5 – Иллюстрация построения импульсов, соответствующих дыхательным периодам

Выполняем поиск точек конца периодов дыхания риноанометрического сигнала аналогичным образом. При переборе всех точек массива Act проверяем следующее условие: если текущая точка равна единице, а следующая равна нулю, то эта точка является концом периода дыхания. Найденные точки конца периода дыхания обрабатываемого сигнала записываем в массив Fin.

Необходимо предусмотреть случай, когда сигнал прерывается, и последний дыхательный период не имеет конечной точки, то есть длина массива с точками начала периодов дыхания (St) будет больше длины массива с точками конца периодов дыхания (Fin), тогда будем считать последнюю точку сигнала концом последнего периода дыхания.

Длина периодов дыхания в отсчетах определяется разностью между точками конца и начала соответствующего периода. Для построения графика во временной шкале необходимо умножить значение длины в отсчетах на период дискретизации. Далее вычисляем длины пауз между периодами дыхания в отсчетах и аналогичным образом умножаем результат на период дискретизации. Длина паузы определяется разностью между точкой начала текущего периода и точкой конца предыдущего периода дыхания.

Далее находим точку b , соответствующую порогу ощущения запаха. Условие нахождения порога восприятия запаха определяется следующим выражением:

$$b = \{A_{i+1} < A_i \ \& \ B_{i+1} < B_i\},$$

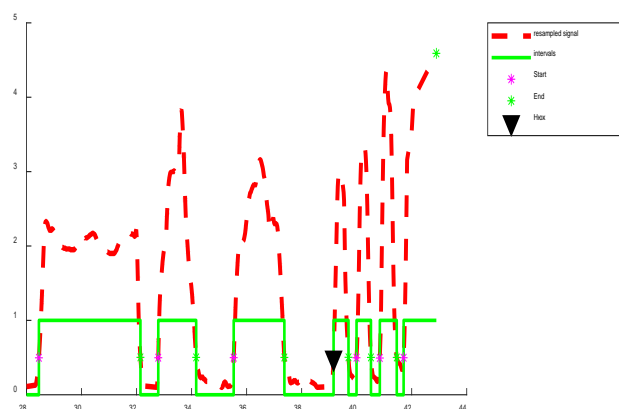
где A_{i+1} – ширина (i+1)-го периода дыхания;

A_i – ширина i-го периода дыхания;

B_{i+1} – длина (i+1) паузы между периодами дыхания;

B_i – длина i-й паузы между периодами дыхания;

b – точка начала i-го периода дыхания, что соответствует порогу восприятия запаха (рис.4) .



Испытуемый почувствовал запах на 39.16 секунде

Рис. 6 – Результаты работы блока цифровой обработки рино-ольфактометрического сигнала

После определения точки сигнала, соответствующей времени ощущения одоривектора тестируемым, на экран компьютера выводится график с исходным риноанометрическим сигналом, искомая точка отмечена треугольником, а также выводится текстовое сообщение.

Выводы

Разработана структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности. Установлено, что для установления порога обонятельной чувствительности целесообразно использовать разработанный метод автоматизированного определения порога ощущения одоривектора. Метод основан на анализе циклограммы дыхания, а именно, поиске момента времени при котором у испытуемого произвольно кратковременно учащается дыхание. Данный порог соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при рино-ольфактометрической оценке обонятельной чувствительности человека.

Усовершенствование метода заключается в определении порога ольфакторной чувствительности, что позволяет за счет анализа формы циклограммы носового дыхания повысить объективность диагностики нарушений обонятельной

чувствительности или респираторно-обонятельных нарушений.

Перспектива работы заключается в тестировании компьютерной системы дыхательно-обонятельных нарушений и предварительной медицинской апробации.

Список литературы

1. Шевчук, Ю. В. Клініко-експериментальне дослідження периферійної ланки нюхового аналізатора / Ю. В. Шевчук // Науковий вісник Ужгородського університету, серія „Медицина”. – 2008. – вип. 33. – С. 72-74.
2. Boesveldt, S. Gustatory and olfactory dysfunction in older adults: a national probability study. / S. Boesveldt, S. T. Lindau, M. K. McClintock, T. Hummel, J. N. Lundström // *Rhinology*. – 2011. – 49 (3). – P. 324 – 330. – doi: 10.4193/Rhino10.155.
3. Henrot, P. To rediscover the olfactory cleft / P. Henrot, P. Gallet, B. Grignon, T. Georgel, R. Jankowski // *European Society of Radiology*. – 2010. – C-1701. – doi:10.1594/ecr2010/C-1701.
4. Scadding, G. Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper / G. Scadding, P. Hellings, I. Alobid, et al. // *Clinical and Translational Allergy*. – 2011. – 1:2. – doi:10.1186/2045-7022-1-2.
5. Nosova, Ya. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis / Ya. Nosova, N. Shushlyapina, S. V. Kostishyn, L. G. Koval, Z. Omiolek, et al. // *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. – 2016. – 100312M. – doi:10.1117/12.2248364.
6. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О. Г., Журавльов А. С., Шушляпіна Н. О., Носова Я. В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500604; заявл. 26.01.2015; опубл. 25.05.2015, Бюл.№10. – 2 с.
7. Пристрій для тестування респираторних порушень нюху: пат. 110452 С2 Україна: МПКА61В 5/08(2006.01) / Аврунін О. Г., Журавльов А. С., Шушляпіна Н. О., Носова Я. В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500603; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11. – 4 с.
8. Nosova, Ya. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / Ya. V. Nosova, O. G. Avrunin, V. V. Semenets // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No. 1 (1). – P. 64 – 68. – doi:10.30837/2522-9818.2017.1.064.
9. Avrunin, O. Extended of diagnostic capabilities for the Rhinomanometry method / O. Avrunin, N. Shushlyapina, J. Ivanchenko // Chapter 5.1 (315-321 p) in Spatial aspects of socio-economic systems' development: the economy, education and health care. Monograph. Opole: The

Academy of Management and Administration in Opole. – Publishing House WSZiA. – 2015. – 380 p.

10. Могилев, А. В. Методы программирования. Компьютерные вычисления / А. В. Могилев, Л. В. Листрова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 320 с.

Bibliography (transliterated)

1. Shevchuk, Yu. V. Clinical and experimental study of the peripheral link of the olfactory analyzer. *Scientific Bulletin of Uzhgorod University, series "Medicine"*, 2008, 33, 72-74.
2. Boesveldt, S., Lindau, S. T., McClintock, M. K., Hummel, T., Lundström, J. N. Gustatory and olfactory dysfunction in older adults: a national probability study. *Rhinology*, 2011, 49 (3), 324 – 330, doi: 10.4193/Rhino10.155.
3. Henrot, P., Gallet, P., Grignon, B., Georgel, T., Jankowski, R. To rediscover the olfactory cleft. *European Society of Radiology*, 2010, C-1701, doi:10.1594/ecr2010/C-1701.
4. Scadding, G., Hellings, P., Alobid, I., et al. Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper. *Clinical and Translational Allergy*, 2011, 1:2, doi:10.1186/2045-7022-1-2.
5. Nosova, Ya. Shushlyapina, N., Kostishyn, S. V., Koval, L. G., Omiolek, Z., et al. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis. *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2016, 100312M, doi:10.1117/12.2248364.
6. A method for increasing the objectivity of olfactometric studies: Pat. 110453 C2 Ukraine: IPC A61V 5/08 (2006.01) / Avrunin O. G., Zhuravlev A. S., Shushlyapina N. O., Nosova Y. V., Faruk Kh., Applicant and Patent Owner Kharkiv National University of Radio Electronics. - №201500604; Stated. 2015/06/25; Published May 25, 2015, Bul. # 10, 2s.
7. Device for testing respiratory disturbances of olfactory: pat. 110452 C2 Ukraine: IPC A61V 5/08 (2006.01) / Avrunin O. G., Zhuravlev A. S., Shushlyapina N. O., Nosova Y. V., Faruk Kh., Applicant and Patent Owner Kharkiv National University of Radioelectronics. - №201500603; Stated. 2015/06/25; Published Jun 10, 2015, Bul. # 11, 4s.
8. Nosova, Ya., Avrunin, O. G., Semenets, V. V. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2017, 1 (1), 64 – 68, doi:10.30837/2522-9818.2017.1.064.
9. Avrunin, O., Shushlyapina, N., Ivanchenko, J. Extended of diagnostic capabilities for the Rhinomanometry method. Chapter 5.1 (315-321 p) in Spatial aspects of socio-economic systems' development: the economy, education and health care. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. *Publishing House WSZiA*, 2015, 380 p.
10. Mogilev, A. V., Lystrova, L. V. Programming methods. Computer calculations. *SPb.: BHV-Petersburg*, 2008, 320 p.

Сведения об авторах (About authors)

Носова Яна Витальевна – аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: nyav007@gmail.com.

Yana Nosova – Scientific Degree (Ph. D.), Docent/Professor, Position, Affiliation, Company, City, Ukraine; e-mail: nuav007@gmail.com.

Аврунін Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, г. Харьков, Украина; e-mail: oleh.avrunin@nure.ua.

Oleh Avrunin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Biomedical Engineering, Kharkov, Ukraine; e-mail: oleh.avrunin@nure.ua.

Татьяна Владимировна Жемчужкина – доцент, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: tatyana.zhemchuzhkina@nure.ua.

Tatyana Zhemchuzhkina – Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE; e-mail: tatyana.zhemchuzhkina@nure.ua.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Носова, Я. В. Разработка блока цифровой обработки риноманометрического сигнала / **Я. В. Носова, О. Г. Аврунин, Т. В. Жемчужкина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 31-36. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

Please cite this article as:

Nosova, Ya., Avrunin, O., Zhemchuzhkina, T. Development of a digital processing unit for a rhinomanometric signal. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 31-36, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Носова, Я. В. Розробка блоку цифрової обробки риноманометричного сигналу / **Я. В. Носова, О. Г. Аврунін, Т. В. Жемчужкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 31-36. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

АНОТАЦІЯ Розроблено структурну схему методу визначення порогу ольфакторної чутливості. Розроблено та реалізовано метод автоматизованого визначення порогу відчуття одорівектора. Даний поріг відповідає реакції пацієнта на поданий запах при рино-ольфактометричній оцінці нюхової чутливості людини. Таким чином, удосконалена методика визначення порогу ольфакторної чутливості, яка відрізняється тим, що дозволяє за рахунок аналізу форм циклограм носового дихання підвищувати об'єктивність діагностики порушень нюхової чутливості або респіраторно-нюхових порушень.

Ключові слова: чутливість нюхова; одорівектор; поріг чутливості; порушення дихально-нюхові; ольфактометрія

Поступила (received) 28.06.2018

УДК 681.5.013

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.30

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ "GREY WOLF" В ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ

Ю. С. ПІРГАЧ, О. В. СТЕПАНЕЦЬ*

кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, УКРАЇНА

*email: stepanets.av@gmail.com

АНОТАЦІЯ У роботі розглядається можливість оптимізації систем автоматичного регулювання технологічних параметрів неперервних процесів. Проведено огляд сучасних пошукових алгоритмів оптимізації, подібних до роботи біологічних та фізичних об'єктів і структур. Розглянуто особливості чистих приміщень як об'єкта керування, вказані основні причини нестаціонарності динамічних характеристик, що призводять до необхідності корекції параметрів налаштувань регуляторів. Досліджено метод оптимізації «Grey wolf» у застосуванні до системи автоматичного регулювання технологічних параметрів вентиляції чистих приміщень. Процес та результати оптимізації Grey Wolf Optimizer порівняно з методом оптимізації Хука—Дживса. Показані особливості та переваги від застосування методу для налаштування каскадної структури системи автоматичного керування з двома ПІД-регуляторами на задані показники якості.

Ключові слова: оптимізація систем автоматичного регулювання; Grey Wolf Optimizer; налаштування ПІД-регуляторів

GRAY WOLF OPTIMIZATION METHOD FOR AUTOMATIC VENTILATION SYSTEMS OF CLEAN ACCESSORIES

O. PIRHACH, Y. STEPANETS

Department of Automation of heat-and-power engineering processes, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The manufacturing processes complication leads to cost increasing of equipment service and maintenance costs. An important role in overcoming these factors is played by modern automatic control systems, regulators optimization and adaptation of control systems to changing conditions. Today, the actual problem remains the adjustment and optimization of automatic control systems, especially complex structures.

The article researches the population optimization algorithm "Gray wolf" as applied to the search for optimal PID-controller settings. A cascade automatic control system with two PID regulators optimized for a minimum of integral IAE, ISE quality criteria, as well as control time is considered. The advantage of the method under investigation is shown in a comparing with the Hook-Jeeves zero-order optimization method. The mathematical modeling of the automatic control system of air temperature in a clean room with the "Grey wolf" optimization method is performed. Attention is focused on the convenience of using the method, since it does not require an accurate setting of the initial parameters of the regulators. This eliminates the need for an a priori knowledge of the customizable system dynamics by the user.

The commissioning of control parameters optimizing systems will help to increase the efficiency of the equipment in conditions of variable operating modes. The recommended area of the method used is the complex structures of automatic control systems, where the search for optimal settings by classical methods is difficult or does not exist.

Key words: automatic control system optimization; Grey Wolf Optimizer; PID-controller adjustment

Вступ

Загальні тенденції розвитку промисловості свідчать про безперервне посилення вимог до якості та безпеки продукту, що виробляється, до часу, який витрачається на його виробництво і до собівартості його отримання. На високий рівень піднімається питання про неприпустимість виникнення аварійних зупинок технологічних процесів і надійність обладнання. Умови ринкових відносин швидко навчили приватний бізнес, що витрати на ремонт і відновлення процесу виробництва – це втрата часу, а втрачений час – це не зароблені гроші, тобто гроші, фактично віддані конкуренту.

У сформованих непротиставлених обставинах стає очевидним, що звичайних систем автоматичного

управління технологічними процесами, які забезпечують дотримання регламентних змінних в заданих діапазонах, вже не досить. Необхідним стало вивчення можливості прогнозування роботи технологічної системи, вивчення властивостей технологічного процесу. Важливим фактором у вирішенні описаної проблеми стає стабільність як властивість технологічного процесу. Очевидно, що амортизація елементів і вузлів технологічного обладнання, залежність їх характеристик від таких умов експлуатації, як температура і вологість, запиленість та хімічна агресивність, навколишнього середовища, режимів роботи відчутно впливають на динамічну точність і стійкість САУ.

У той же час цілком очевидно, що ефективність використання САУ багато в чому визначається

виконанням вимог щодо забезпечення стабільності показників якості в широкому діапазоні змін умов функціонування, що викликають в САУ різні параметричні збурення.

При синтезі САУ постає задача визначення оптимальних параметрів системи, які задовольняють мінімуму заданого критерію якості. Ці задачі можна вирішувати на основі єдиного підходу, заснованого на пошуковій процедурі, організованій за певним алгоритмом. У даний час відома велика кількість таких алгоритмів, причому їх різноманітність викликана, з одного боку, прагненням отримати алгоритм, що забезпечує досить швидку збіжність пошукової процедури, а з іншого, - з урахуванням тих чи інших особливостей рельєфу цільової функції або відсутності будь-яких відомостей про рельєф. У залежності від числа пошукових змінних розрізняють одновимірний і багатовимірний пошуки. В якості самостійної процедури одновимірний пошук застосовують доволі рідко, проте його часто використовують як важливий елемент багатовимірному пошуку.

Чисте приміщення [1] - це середовище, в якому мінімальна кількість мікроорганізмів і шкідливих речовин, що згубно впливають на людське здоров'я. Саме при таких умовах відбувається виробництво лікарських засобів, операції і лікування хворих, переливання крові, виробництво годинників та оптики, збирається мікроелектроніка, здійснюється обробка їжі.

Вентиляція в чистому приміщенні сприяє зменшенню поширення мікроорганізмів, подачі чистого повітря, запобігання надходження забрудненого повітря, контролю рівня температури і вологості.

Мета роботи

Задачі оптимізації відрізняються великою різноманітністю та складністю, у зв'язку з чим відсутній універсальний метод їхнього рішення.

Усі методи розв'язання оптимізаційних задач можна розбити на дві великі групи: методи класичного аналізу та методи математичного програмування [2].

Методи, розроблені в класичній математиці, засновані на розв'язанні систем алгебраїчних рівнянь, отриманих при прирівнюванні нульових частинних похідних досліджуваної функції по оптимізуючих параметрах. Ці методи дозволяють розв'язувати задачі пошуку оптимуму тільки при відсутності обмежень на оптимізовані параметри або при обмеженнях у вигляді рівностей (метод множників Лагранжа).

Методи класичного аналізу застосовують у тому випадку, коли аналітичний вигляд критерію оптимізації й обмежень відомий, і рівняння можна виразити в явній формі. Інакше застосовують методи математичного програмування, коли розв'язання некласичних оптимізаційних задач здійснюється за допомогою визначеної програми дій, тобто алгоритму,

що вказує послідовність операцій, у зв'язку з чим ці методи іноді називають також алгоритмічними.

Методи МП класифікують відповідно до типів некласичних оптимізаційних задач, ефективність розв'язання яких залежить від природи цільової функції $f_0(\vec{u})$. Залежно від постановки задачі оптимізації розрізняють методи безумовної та умовної оптимізації. Залежно від здатності алгоритму шукати локальний або глобальний екстремум виділяють методи локальної та глобальної оптимізації.

Нині значна увага дослідників приділяється алгоритмам, пошук у яких здійснюється по аналогії з фізичними чи біологічними процесами.

Одним із таких алгоритмів глобальної оптимізації, є алгоритм імітації відпалу [3]. У ньому процедура пошуку глобального розв'язку імітує фізичний процес відпалу. Алгоритм ґрунтується на імітації фізичного процесу, який відбувається при кристалізації речовини з рідкого стану в твердий, у тому числі при відпалі металів. За допомогою моделювання такого процесу шукається така точка або множина точок, на яких досягається мінімум деякої числової функції. У багатьох практичних ситуаціях, де наявні алгоритми не працюють, моделювання відпалу має великі плюси: загальність застосування і простота реалізації.

Також існують алгоритми випадкового пошуку [4], що відносяться до алгоритмів нелінійного математичного програмування. Такі алгоритми здобули собі широку популярність під час вирішення практичних інженерних задач. Найпростіший алгоритм – локальний неадаптивний алгоритм випадкового пошуку. Задается початкова точка, надається їй прирощення, після чого порівнюються значення цільової функції в двох точках і краща стає поточною. Так відбувається поки не виконається умова зупинки. Перевагами даного алгоритму є його простота, стійкість і інтуїтивна зрозумілість. Недоліками – низька швидкість збіжності, а також невизначеність у виборі умови зупинки.

Існують також адаптивні алгоритми випадкового пошуку екстремуму. Їх основна ідея полягає в тому, що пошук ведеться не з якоїсь однієї початкової точки, а по всій області, і в процесі його виконання змінюється закон розподілу генерації вектора робочих параметрів (точок, в яких обчислюється значень цільової функції). Зазвичай на початкових етапах розподіл є рівномірним, а потім щільність ймовірності збільшується в районі передбачуваного оптимуму.

Останні роки все більше набувають популярності біологічні методи оптимізації. Дані алгоритми відносяться до класу стохастичних пошукових. У багатьох джерелах [5] також можна зустріти такі визначення, як поведінковий, інтелектуальний, метаевристичний або популяційний.

Популяційні алгоритми поділяються на такі категорії: еволюційні, включаючи генетичні, що імітують поведінку живої природи (наприклад,

алгоритм оптимізації роєм світлячків, пошук зозулі та ін.), алгоритми, що імітують поведінку неживу природу (наприклад, алгоритм гравітаційного пошуку), алгоритми, засновані на поведінці людського суспільства (наприклад, алгоритм еволюції розуму).

Одним із таких перспективних алгоритмів є алгоритм оптимізації, що імітує поведінку зграї сірих вовків - Grey Wolf Optimizer (GWO) [6]. Алгоритм імітує ієрархію лідерства і механізм полювання сірих вовків в природі. Чотири типи сірих вовків, таких як альфа, бета, дельта і омега використовуються для моделювання ієрархії лідерства. Крім того, існують три основні етапи полювання, такі як пошук здобичі, оточення здобичі та атака здобичі, що реалізуються для виконання оптимізації.

Метою роботи є дослідження можливості застосування та ефективності роботи алгоритму оптимізації Grey Wolf Optimizer у задачі для пошуку оптимальних параметрів налаштування регуляторів каскадної системи регулювання температури в чистих приміщеннях [7].

Виклад основного матеріалу

Сірий вовк належить до сімейства собачих та вважаються вершиною хижаків, а це означає, що вони знаходяться на вершині харчового ланцюга. Сірі вовки в основному віддають перевагу жити в зграї. Розмір групи 5-12 особин в середньому. Особливий інтерес в тому, що вони мають дуже сувору соціальну домінуючу ієрархію [8].

Лідерів чоловічої і жіночої зграї називають альфи. Альфа особини відповідають за прийняття рішення про полювання, спальне місце, час пробудження, і так далі. Цікаво, що альфа особини не обов'язково найсильніші члени зграї, але найкращі з точки зору управління зграєю. Це показує, що організація і дисципліна зграї набагато важливіша, ніж його сила.

Другий рівень в ієрархії сірих вовків – бета особини – підлеглі вовки, які допомагають альфа в процесі прийняття рішень або інших видів діяльності зграї. Бета-вовк може бути чоловічої чи жіночої статі, і він чи вона, ймовірно, є найкращим кандидатом, щоб бути альфа в разі, якщо один з альфа-вовків зникає або стає дуже старий.

Найнижчий рівень зграї сірих вовків – омеги. Омега-вовки повинні підкорятися усім іншим домінуючим особинам. Це останні вовки, яким дозволено з'їсти здобич.

Якщо вовк не є альфа, бета або омега, він називається підлеглим (або дельта). Дельта вовки повинні підкорятися альфа і бета, але вони домінують над омега. Розвідники, вартові, старійшини, мисливці і доглядачі відносяться до цієї категорії. Вони несуть відповідальність за кордони території і попереджують зграю в разі будь-якої небезпеки. Вартові захищають і гарантують безпеку зграї. Мисливці допомагають альфа і бета особинам при полюванні здобичі. І,

нарешті, доглядачі несуть відповідальність за слабких, хворих і поранених вовків в зграї. Основні фази полювання сірого вовка наступні [9]: відстеження, погоня, наближення до здобичі, оточення, наступ, виснаження здобичі, атака здобичі.

Між кількістю пошукових агентів (вовків) та часом відпрацювання алгоритму, якістю оптимізації та кількістю шуканих розв'язків є певна залежність – чим більша кількість пошукових агентів, тим результат оптимізації кращий, але із значною затримкою по часу виконання оптимізації. Тому кількість пошукових агентів потрібно обирати відповідно до поставлених задач як компроміс між швидкістю пошуку рішення та його точністю.

Основною вимогою до чистих приміщень є забезпечення наступних параметрів повітря [10]:

- 1.Кратність повітрообміну
- 2.Перепади тиску між сусідніми приміщеннями
- 3.Температура
- 4.Вологість
- 5.Концентрація часток в приміщенні

Кратність повітрообміну показує інтенсивність вентиляції приміщення, тобто кількість обмінів повітря у приміщенні, яке подається або витягується протягом однієї години.

Перепади тиску важливі для того, щоб повітря з менш чистих приміщень не потрапляло в більш чисте, а також для забезпечення певної концентрації часток в повітрі. Перепад задається залежно від конфігурації приміщення та процесів, які там відбуваються, та підтримується за допомогою автономного регулятора перепаду.

Залежно від допустимої концентрації часток є різні класи чистоти. Для процесів, які мають відбуватись в повністю стерильному приміщенні є клас А (найвищий), а для робіт з найнижчою стерильністю - клас К.

У кожній вентиляційній установці є щонайменше 4 фільтри. З часом фільтр забруднюється, що призводить до падіння тиску на ньому. Часто різниця падіння тиску між чистим та забрудненим фільтром може бути аж в два рази. Із падінням тиску буде падати витрата повітря і порушуватись аеродинамічний баланс. Щоб з цим боротись, після розгалуження магістрального повітропроводу на кожну гілку встановлюють автоматичні регулятори витрати повітря. Для забезпечення постійної витрати повітря на групу приміщень в центральній магістралі підтримується надлишковий тиск, а локальні регулятори прикриваючи жалюзі не пропускають повітря більше ніж потрібно, і відкриваються більше, коли падіння на фільтрах збільшується. Забезпечити необхідний тиск на центральній магістралі можна, встановивши на вентилятор перетворювач частоти, а на виході з установки датчик статичного тиску.

Для чистих приміщень характерне значне тепловідлення від виробничого обладнання, а так як допустимі температури – 20...25°C, щоб їх

компенсувати необхідно робити високі кратності повітрообміну.

Керування температурою в чистому приміщенні здійснюється за допомогою калорифера та компресорно-конденсаторного блоку. Можливий вигляд установки показано на рис. 1. Більшу частину року в Україні система вентиляції чистого приміщення працює в режимі нагріву повітря. Тому дослідження проводитимуться на контурі регулювання температури повітря в приміщенні за допомогою зміни кількості теплоносія, що проходить через водяний калорифер.

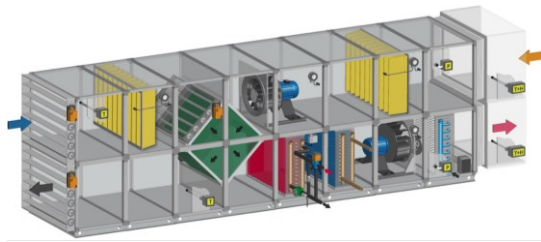


Рис. 1 – Схематичне зображення об'єкта керування

Вентильовані приміщення є інерційними об'єктами, тому для регулювання застосована каскадна система, де інерційним контуром є температура повітря в приміщенні, а випереджуючим – температура повітря в припливному повітропроводі після усіх теплообмінників.

Моделі об'єктів представлені у вигляді передавальних функцій інерційного (1) та випереджаючого (2) контурів.

$$W(s) = \frac{0,15}{330s+1} e^{-10s} \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{0,4}{50s+1} e^{-2s} \quad (2)$$

Показниками якості регулювання температури виступають мінімум інтегральних критеріїв якості, зокрема, інтегрального квадратичного та інтегрального модульного критеріїв якості, а також значення часу регулювання каскадної системи автоматичного регулювання (САР) (рис. 2, рис 3) [11].

Дослідження

Дослідження роботи методу оптимізації GWO порівняне із популярним методом нульового порядку Хука-Дживса (НЮ). Для методу оптимізації Хука-Дживса початкові налаштування регуляторів визначені за експрес-методикою [12]. Індикація параметрів показує приналежність до конкретного регулятора: «1» - коректуючий регулятор температури повітря в приміщенні, «2» - стабілізуючий регулятор температури повітря на виході з вентиляційної установки.

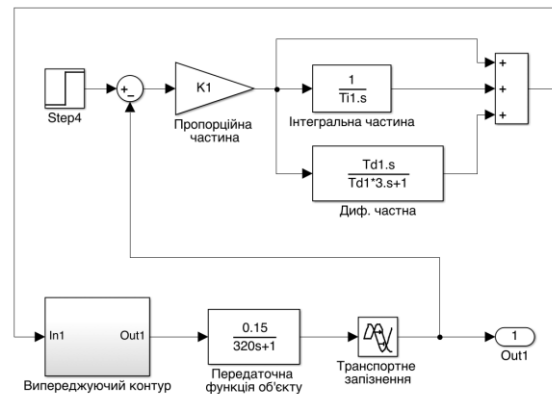


Рис. 2 – Схема каскадної системи автоматичного регулювання

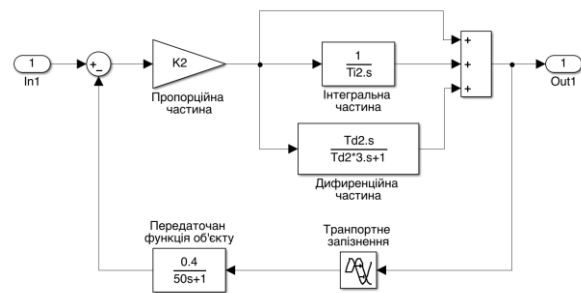


Рис. 3 – Схема випереджаючого контуру каскадної системи автоматичного регулювання

$$\begin{aligned} K_1 &= 16.8 & K_2 &= 2.33 \\ T_{i1} &= 110 & T_{i2} &= 121.2 \\ K_2 &= 0.001 & T_{d2} &= 0.66 \end{aligned}$$

Метод оптимізації GWO не потребує жорстко заданих початкових параметрів для роботи алгоритму [13]. Перед початком пошуку оптимальних параметрів задаються межі, в яких буде відбуватись пошук кожного з параметрів системи для пошуку мінімуму цільової функції. Існує можливість задавати початкові параметри одним набором чисел і їх пошук буде відбуватись у певній околиці цього набору. Однак, у цьому випадку можуть бути знайдені неприпустимі для конкретної задачі величини, наприклад, від'ємні значення параметрів регулятора. Отже, межі були обрані наступні:

$$\begin{aligned} K_1 &= [0.001; 100] & K_2 &= [0.001; 60] \\ T_{i1} &= [0.001; 500] & T_{i2} &= [0.001; 500] \\ T_{d1} &= [0.001; 1] & T_{d2} &= [0.001; 1] \end{aligned}$$

Також для методу оптимізації GWO була встановлена кількість пошукових агентів (вовків), яка становить 20 [14]. Нижче наведені графіки перехідних процесів деяких кроків оптимізації алгоритмів GWO та Хука-Дживса (рис. 4 – рис. 6). Проміжні кроки ілюструють динаміку пошуку оптимальних налаштувань у прив'язці до впливу поточних значень

на перехідні процеси. Зважаючи на інерційність об'єкта керування, а також природу пошукового алгоритму GWO його не можна використовувати для on-line оптимізації. Однак на етапі проектування системи, якщо модель об'єкта визначена аналітично, або під час пуско-налагоджувальних робіт, коли проведена ідентифікація контуру, застосування методу для налаштування складних структур шляхом математичного моделювання цілком виправдане.

Максимальна кількість ітерацій пошуку обома методами була обмежена значенням 30.

Як цільові функції методів оптимізації, значення яких потрібно мінімізувати впродовж процедури оптимізації, використані інтегральний квадратичний (ISE), інтегральний модульний (IAE) критерії якості АСР та час перехідного процесу.

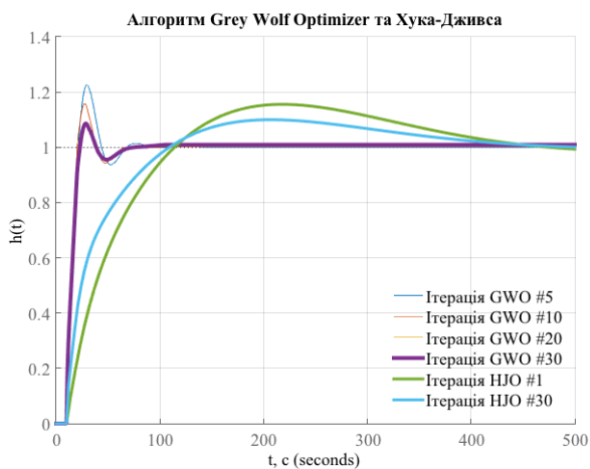


Рис. 4 – Перехідні характеристики АСР на деяких кроках алгоритму GWO та Хука-Дживса для оптимізації інтегрального модульного критерію якості

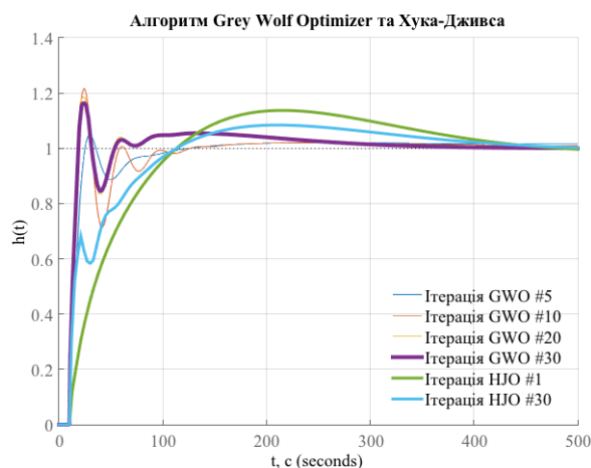


Рис. 5 – Перехідні характеристики АСР на деяких кроках алгоритму GWO та Хука-Дживса для оптимізації інтегрального квадратичного критерію якості

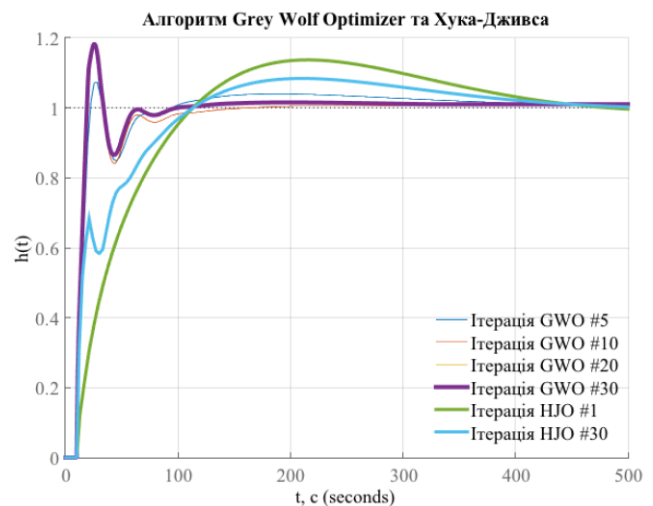


Рис. 6 – Перехідні характеристики АСР на деяких кроках алгоритму GWO та Хука-Дживса для оптимізації часу регулювання системи

Результати оптимізації по інтегральному квадратичному (ISE), інтегральному модульному (IAE) критерію якості АСР та часу регулювання системи зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати оптимізації

Метод		GWO						
Крит.	Парам.	Знач.	K_1	Ti_1	Td_1	K_2	Ti_2	Td_2
	IAE		16,57	94.2	466.12	0.98	1.79	113.78
ISE		12.84	51.1	77.72	1	4.33	418.95	1
Час регулювання		92	90.07	334.9	1	2.3	172.45	1
Метод		НЮ						
Крит.	Парам.	Знач.	K_1	Ti_1	Td_1	K_2	Ti_2	Td_2
	IAE		55.31	19.001	109.42	0.62	4.37	120.37
ISE		18.81	19.9484	109.72	3.12	5.461	118.88	3.42
Час регулювання		220	20.1	109.6	3.13	5.5	119.2	3.41

Таблиця містить показники якості роботи системи та параметри налаштувань регуляторів.

Як видно з перехідних характеристик та результатів порівняння, наведених у таблиці 1, метод оптимізації GWO очікувано [15] має кращі результати мінімізації ISE, IAE та часу регулювання. Крім того, область вхідних даних методу GWO встановлена у широкому діапазоні, але наближення до результату мінімізації відбулось вже на перших 15 кроках алгоритму. На рис. 7 – 9 показані залежності мінімізованого параметру від ітерацій алгоритму.

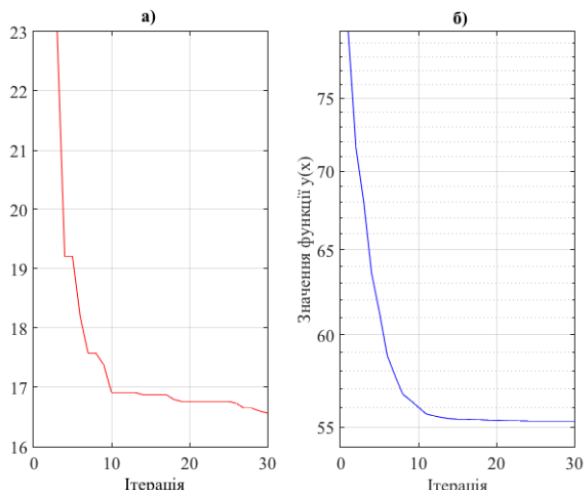


Рис. 7 – Залежність мінімізованого параметру IAE від ітерацій алгоритму.

а) для алгоритму GWO, б) для алгоритму Хука-Дживса

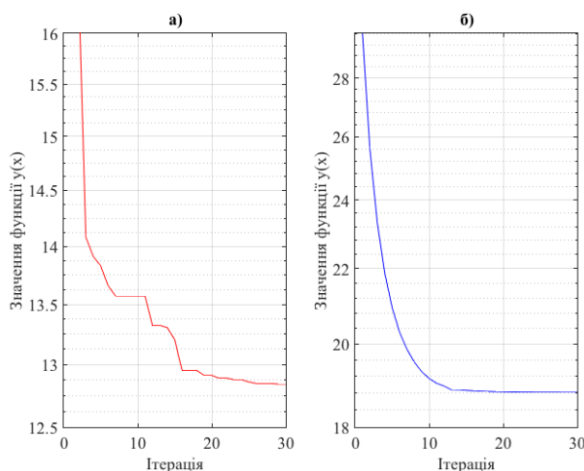


Рис. 8 – Залежність мінімізованого параметру ISE від ітерацій алгоритму.

а) для алгоритму GWO, б) для алгоритму Хука-Дживса

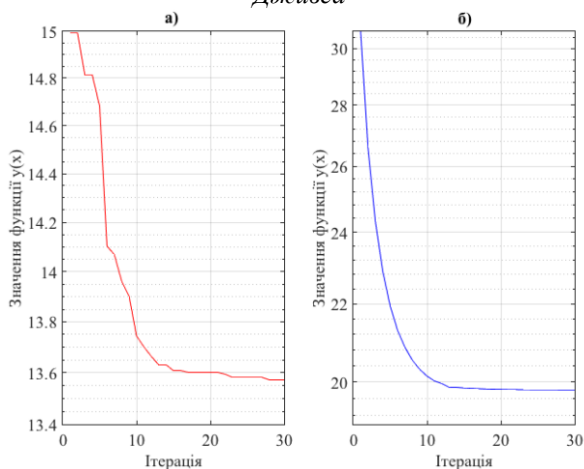


Рис. 9 – Залежність мінімізованого параметру часу регулювання від ітерацій алгоритму.

а) для алгоритму GWO, б) для алгоритму Хука-Дживса

Висновки

Існує велика кількість алгоритмів, які базуються на випадковому пошуку екстремумів і всі вони з успіхом застосовуються на практиці з огляду на їх простоту, стійкість роботи, відсутність необхідності обчислення похідних, наочності і задовільною і хорошою збіжністю, особливо на задачах великої розмірності. Дослідження популяційного алгоритму пошуку екстремумів функцій Grey Wolf Optimizer (GWO) як методу оптимізації для автоматичної системи керування вентиляцією чистого приміщення показало його ефективність у пошуку оптимальних налаштувань складних структур керування зі значною кількістю параметрів.

Результати оптимізації GWO порівнювались із результатами методу Хука-Дживса. Для об'єктивності порівняння максимальна кількість ітерацій була встановлена 30. Загальний час виконання операцій алгоритму GWO для пошуку мінімуму інтегрального модульного та інтегрального квадратичного критеріїв якості дещо більший ніж у алгоритму Хука-Дживса. Це пояснюється високою обчислювальною складністю та кількістю пошукових агентів алгоритму, який зазвичай використовується для оптимізації більш складних систем.

Отже, результати мінімізації інтегральних критеріїв якості перехідних процесів каскадної АСУ наступні: інтегральний модульний критерій (IAE) для методу GWO становить 16,47, для методу Хука-Дживса – 55,31; інтегральний квадратичний критерій (ISE) для методу GWO становить 12,84, для методу Хука-Дживса – 18,81, час регулювання системи для методу GWO становить 92с, для методу Хука-Дживса – 220с. Із результатів видно, що метод GWO виконав оптимізацію краще. Так, можна зробити висновок, що алгоритм Grey Wolf Optimizer може використовуватись для складних задач оптимального налаштування автоматичних регуляторів в системах керування складної структури.

Список літератури

1. Федотов, А. Е. Чистые помещения. Проблемы, теория, практика / А. Е. Федотов. - М.: Асинком, 2003. - 576 с.
2. Вдовин, М. Л. Математичне програмування: теорія та практикум : навч. посібн. / М. Л. Вдовин, Л. Г. Данилюк. - Львів : "Новий Світ-2000", 2015. - 160с.
3. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс. — М.: ДМК Пресс, 2004. - 312 с.
4. Жалдак, М. Л. Основы теории і методів оптимізації / М. Л. Жалдак, Ю. В. Триус. - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.
5. Konstantinov, S. V. Comparative analysis of evolutionary algorithms for the problem of parametric optimization of PID controllers / S. V. Konstantinov, A. A. Baryshnikov

- // *Procedia Computer Science*. – 2017. – №103. – С. 100-107. – doi:10.1016/j.procs.2017.01.021.
6. **Mirjalili, S.** Grey Wolf Optimizer / **S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, A. Lewis** // *Advances in Engineering Software*. – 2014. – № 69. – 46-61. – doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
 7. **El-Fergany, A. A.** Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms / **A. A. El-Fergany, H. M. Hasanien** // *Electric Power Components and Systems*. – 2015. – № 43. – С. 1548–1559. – doi: 10.1080/15325008.2015.1041625.
 8. **Heidari, A. A.** An efficient modified grey wolf optimizer with Levy flight for optimization tasks / **A. A. Heidari, P. Pahlavani** // *Applied Soft Computing*. – 2017. – №60. – С.115–134. – doi:10.1016/j.asoc.2017.06.044.
 9. **Muro, C.** Wolf-pack hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations / **C. Muro, R. Escobedo, L. Spector, R. Coppinger** // *Behavioural Processes*. – 2011. – №88(3). – С. 188-192. doi: 10.1016/j.beproc.2011.09.006.
 10. **Бондарь, Е. С.** Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / **Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич**. - Киев: Аванпост-Прим, 2005. — 560 с.
 11. **Becchio, C.** Toward NZEB by optimizing HVAC system configuration in different climates / **C. Becchio, S. P. Corgnati, M. Vio, G. Crespi, L. Prendin, M. Ranieri, D. Vidotto** // *Energy Procedia*. – 2017. – № 140. – С.115-126. – doi:10.1016/j.egypro.2017.11.128.
 12. **Тимченко, О.** Методи налаштування регуляторів / **О. Тимченко, Я. Меденець, О. Стрепко** // *Українська академія друкарства*. - 2013. - С. 54-59.
 13. **Mirjalili, S.** How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons / **S. Mirjalili** // *Applied Intelligence*. – 2015. – №43(1). – С. 150–161. – doi:10.1007/s10489-014-0645-7.
 14. **El-Gaafary, A. A. M.** Grey Wolf Optimization for Multi Input Multi Output System / **A. A. M. El-Gaafary, Y. S. Mohamed, A. M. Hemeida, A. A. Mohamed** // *Universal Journal of Communications and Network*. – 2015. – №3(1). – С. 1-6. – doi:10.13189/ujcn.2015.030101.
 15. **Mirjalili, S.** Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization / **S. Mirjalili, S. Saremi, S. M. Mirjalili, L. dos S. Coelho** // *Expert Systems with Applications*. – 2016. – №47. – С. 106–119. – doi:10.1016/j.eswa.2015.10.039.
 - L'viv: “Novij Svit-2000”, 2015, 2, 160.
 3. **Dzhons, M. T.** Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: DMK Press, 2004, 312.
 4. **Zhaldak, M. L., Trius, Y. V.** Fundamentals of theory and methods of optimization: Textbook. Cherkasy: Brama-Ukraine, 2005, 608.
 5. **Konstantinov, S. V., Baryshnikov, A. A.** Comparative analysis of evolutionary algorithms for the problem of parametric optimization of PID controllers. *Procedia Computer Science*, 2017, **103**, 100-107, doi:10.1016/j.procs.2017.01.021.
 6. **Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis A.** "Grey Wolf Optimizer". *Advances in Engineering Software*, 2014, 69, 46-61, doi:10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
 7. **El-Fergany, A. A., Hasanien, H. M.** Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms. *Elec. Power Compon. Syst.*, 2015, 43, 1548–1559, doi:10.1080/15325008.2015.1041625.
 8. **Heidari, A. A., Pahlavani, P.** An efficient modified grey wolf optimizer with Levy flight for optimization tasks, *Appl. Soft Comput.*, 2017, 60, 115–134, doi:10.1016/j.asoc.2017.06.044.
 9. **Muro, C., Escobedo, R., Spector, L., Coppinger, R.** Wolf-pack hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations. *Behavioural Processes*, 2011, 88(3), 188-192, doi:10.1016/j.beproc.2011.09.006.
 10. **Bondar, Y. S., Gordienko, O. S., Mikhailov, V. A., Nymich, G. V.** Automation of ventilation and air conditioning systems. Kiev: Avanpost-Prim, 2005, 561.
 11. **Becchio, C., Corgnati, S. P., Vio, M., Crespi, G., Prendin, L., Ranieri, M., Vidotto, D.** Toward NZEB by optimizing HVAC system configuration in different climates. *Energy Procedia*, 2017, 140, 115-126, doi:10.1016/j.egypro.2017.11.128.
 12. **Timchenko, O., Medenets, Y., Strepkov, O.** Methods of adjusting regulators. *Ukrainska akademiia drukarstva*, 2013, 54-59.
 13. **Mirjalili, S.** How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons. *Applied Intelligence*, 2015, 43(1), 150–161, doi:10.1007/s10489-014-0645-7.
 14. **El-Gaafary, A. A. M., Mohamed, Y. S., Hemeida, A. M., Mohamed, A. A.** Grey Wolf Optimization for Multi Input Multi Output System. *Universal Journal of Communications and Network*, 2015, 3(1), 1-6, doi:10.13189/ujcn.2015.030101.
 15. **Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., Coelho, L. S.** Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert Systems with Applications*, 2016, 47, 106–119, doi:10.1016/j.eswa.2015.10.039.

Bibliography (transliterated)

1. **Fedotov, A. E.** CHistyе pomeshcheniya. Problemy, teoriya, praktika. M.: Asinkom, 2003, 1, 576.
2. **Vdovin, M. L., Danilyuk, L. G.** Matematichne programuvannya: teoriya ta praktikum: navch. posibn.

Відомості про авторів (About authors)

Піргач Юлія Сергіївна – магістрант, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна; email: julia.pohonets@gmail.com.

Yuliia Pirhach – Master, Department of Automation of heat-and-power engineering processes, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: julia.pohonets@gmail.com.

Степанець Олександр Васильович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів; м. Київ, Україна; email: stepanets.av@gmail.com.

Oleksandr Stepanets - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Automation of heat-and-power engineering processes, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: stepanets.av@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Піргач, Ю. С. Метод оптимізації "Grey Wolf" в задачах автоматизації систем вентиляції чистих приміщень / **Ю. С. Піргач, О. В. Степанець** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 37-44. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.30.

Please cite this article as:

Pirhach, Y., Stepanets, O. Gray Wolf optimization method for automatic ventilation systems of clean accessories. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 37-44, doi:10.20998/2413-4295.2018.12.30.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пиргач, Ю. С. Метод оптимизации "Grey Wolf" в задачах автоматизации систем вентиляции чистых помещений / **Ю. С. Пиргач, А. В. Степанец** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 37-44. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.30.

АННОТАЦИЯ В работе рассматривается возможность оптимизации систем автоматического регулирования технологических параметров непрерывных процессов. Проведен обзор современных поисковых алгоритмов оптимизации, подобных работе биологических и физических объектов и структур. Рассмотрены особенности чистых помещений как объектов управления, указаны основные причины нестационарности динамических характеристик, которые приводят к необходимости коррекции параметров настроек регуляторов. Исследован метод оптимизации «Grey wolf» в применении к системе автоматического регулирования технологических параметров вентиляции чистых помещений. Проведено сравнение процесса и результатов оптимизации Grey Wolf Optimizer с методом оптимизации Хука—Дживса. Показаны особенности и преимущества применения метода для настройки каскадной структуры системы автоматического управления с двумя ПОД-регуляторами на заданные показатели качества.

Ключевые слова: оптимизация систем автоматического регулирования; Grey Wolf Optimizer; настройка ПОД-регуляторов

Поступила (received) 02.07.2018

УДК 004.94:658

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.31

КО-КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ МНОГОМЕРНЫХ АТТРИБУТОВ КАЧЕСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

С. В. ШТАНГЕЙ¹, И. В. ТЕРЕЩЕНКО^{1*}, А. И. ТЕРЕЩЕНКО²

¹ кафедра інформаційно-комунікаційної інженерії, Харківський Національний Університет Радіоелектроніки, Харків, УКРАЇНА

² кафедра управління інформаційною і кібернетичною безпекою, Державний Університет Телекомунікацій, Київ, УКРАЇНА

*email: iter@ukr.net

АННОТАЦИЯ В статье предлагается метод ко-кластеризации стохастических данных многомерных критических параметров процесса (CPPs) с целью оценки влияния обнаруженных факторов на многомерные атрибуты критического качества (CQAs) продукта на стадии первоначального проектирования процесса производства. Метод представляет новый подход к обеспечению качества продукта, который учитывает проблему ко-кластеризации массивов данных CPPs для определения каузальной связи с CQAs. Используется технология неметрического многомерного шкалирования (NMDS) для определения исходных параметров ко-кластеризации.

Ключевые слова: качество через дизайн; критические атрибуты качества; ко-кластеризация; многомерный статистический анализ

CO-CLUSTERING THE DATA OF MULTIVARIATE QUALITY ATTRIBUTES FOR THE ESTIMATION OF MUTUAL INFLUENCE FACTORS

S. SHTANGEY¹, I. TERESHCHENKO^{1*}, A. TERESHCHENKO²

¹ department of info-communication engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

² department of management of information and cyber security, State University of Telecommunications, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Nowadays, competitiveness and efficiency of companies must be continuously improved to face worldwide competitors. Evolutions of computer-intensive technologies development and massive integration of numerical simulations to the design process require new methodologies for numerical design of experiments which use to improve quality of products by taking into account uncertainties in product development. Simultaneous clustering of rows and columns, known as co-clustering, is an important method of two-way analysis of empirical data for practical approaches. The article propose a method of contingency data co-clustering based on multivariate statistical analysis (MSA) for evaluating the influence of critical process parameters (CPPs) factors on the time multivariate critical quality attributes (CQAs) of product. Factorized multivariate CPPs increase the possibility to use methods of multivariate statistical analysis for evaluating the influence of CPPs on the multivariate CQAs. The article solves the objective of product's quality assurance at the stage of the initial manufacture process design in accordance with the process-analytical technology for the design of modern certified manufacturing known as «quality-by-design» (QbD). The method proposed in the article presented a new approach of product's quality assurance which takes into account the block clustering problem on both the individuals and variables parameters for data arrays of computer format. A key feature of the article is the use of nonmetric multidimensional scaling (NMDS) technology to determine the initial parameters of co-clustering. Cluster analysis is an essential tool in different kinds of scientific areas including data mining. Therefore, the subject matter of the article is relevant and given for further development.

Keywords: quality-by-design; critical quality attributes; co-clustering; multivariate statistical analysis

Введение

Одно из важнейших условий развития любого современного производства – обеспечение постоянно высокого сертифицированного качества конечного продукта. Быстро меняющаяся конъюнктура рынка и усиление конкуренции объективно способствуют имплементации высокотехнологичных методов обеспечения качества на этапе разработки продукции [1-3] с дальнейшим менеджментом всего производственного процесса в соответствии с определёнными критическими атрибутами качества CQA (Critical Quality Attributes) [4].

Современная идеология использования высокотехнологичных аналитических/синтетических методов при достижении стандартов качества на ранних этапах проектирования [1] как многоцелевая задача [5] имплементирована в концепции QbD (Quality-by-Design) [4, 6, 7], которая активно внедряется FDA (United States Food Drug Administration) [4] и получает распространение в разных отраслях экономики. В качестве важного инструмента QbD рассматривается аналитическая технология PAT (Process Analytical Technology) [4, 8], которая оперирует информационными технологиями многомерного статистического анализа (MSA, Multivariate Statistical Analysis) для обеспечения

качества продукции и поддержания его критических атрибутов в пределах установленных стандартами значений пространства разработки (design space). Методология QbD базис качества продукта закладывает на стадии проектирования и вводит понятие «пространства разработки» (design space) как некую комбинацию одного или нескольких параметров (атрибутов) процесса, влияющих на желаемое свойство (качество) продукта [6, 9]. Такой подход формирует требования к концепции РАТ рассматривать контроль качества продукта как научное направление, цель которого снизить риск для пациентов/потребителей путем контроля производства на основе глубокого понимания процесса [4].

С точки зрения РАТ, процесс считается хорошо понятным, когда [4]:

- Все критические источники изменчивости идентифицируются и объясняются;
- Изменчивость управляется процессом;
- Атрибуты качества продукта могут быть точно и надежно предсказаны.

В качестве современного инструментария РАТ используются методы прикладной хемометрики [10] и компьютерно-интенсивные информационные технологии [11, 12], которые могут быть отнесены к четырем классам [4]:

- Многомерные инструменты для проектирования, сбора и анализа данных;
- Анализаторы процессов;
- Инструменты управления технологическим процессом;
- Непрерывное совершенствование и инструменты управления знаниями.

Многомерные данные многофакторного эксперимента и результаты их анализа позволяют установить допустимые диапазоны изменчивости каждого критического параметра производственного процесса CPPs (Critical Process Parameters) исходя из степени влияния на атрибуты критического качества продукта (CQAs) или ожидаемую спецификацию качества продукта [6].

Эффективным методом дескриптивного и индуктивного статистического оценивания каузальных связей $CPPs \rightarrow CQAs$ является многомерный кластерный анализ [13]. Современные методы кластерного анализа предлагают блочные модели классификации разных видов данных в т. ч. модели исследования смеси распределений многомерных массивов (матриц, таблиц) данных, которые позволяют установить латентные зависимости параметров наблюдений [14-18].

Данные технологии блоковой кластеризация (бикластеризации) или двухмодальной кластеризации представляют методику data mining, которая позволяет провести одновременную кластеризацию строк и столбцов матрицы данных. Алгоритмы бикластеризации позволяют формировать подмножества строк (кластеры), которые проявляют

сходные свойства через подмножество столбцов (бикластеры). Если рассматривать строки как данные наблюдений, то объединение столбцов, т. е. параметров процесса в однородные группы раскрывает скрытые связи между ними, которые важны для интерпретации в практических приложениях.

В работах [13, 15-17] представлен большой обзор литературы по данной тематике. Новые публикации совершенствуют теорию определения исходных данных для блочного моделирования [19, 20]. Однако не достаточно освещённой остаётся тематика приложения результатов исследований к задачам обеспечения качества продукции, которое должно содержать интерпретацию влияния бикластеризованных CPPs на многомерный отклик процесса производства в виде CQAs. Важной практической проблемой также остаются рекомендации выбора влияющих на сходимость начальных приближений параметров итерационных двухмодальных алгоритмов [19].

Представленные в статье результаты развивают направление интерпретации и соответствуют базовым принципами РАТ исследования изменчивости показателей производственных процессов и обеспечения качества продукта на ранних стадиях проектирования. В качестве инструментов исследований использованы информационные технологии многомерного блочного кластерного анализа.

Цель работы (цель и задачи исследования)

Цель статьи представить метод многомерного статистического кластерного анализа для оценивания характера и особенностей факторного влияния многомерных массивов временных данных критических параметров производственного процесса CPPs (Critical Process Parameters) на критические атрибуты качества продукта (CQAs). CPPs и CQAs объединим общим названием «атрибуты качества».

Объектом исследования является процесс обеспечения качества продукта на ранних этапах проектирования производства.

Предметом исследований являются информационные технологии оценки факторного влияния кластеризованных CPPs на CQAs.

Важно, что эти технологии рассматриваются в рамках многомерного статистического анализа (MSA), на котором в настоящее время основаны базовые алгоритмы сбора, обработки и анализа данных. Методы MSA рекомендованы современными версиями мировых стандартов ISO, GMP как инструменты обеспечения качества и безопасности продукции [21-23]. Результаты MSA характеризуют определённый этап процесса производства в соответствии с процессной технологией структурирования функции качества QFD (Quality Function Deployment) [24]. Применение QFD даёт

хорошо интерпретируемые схемы и матрицы данных на каждом из этапов QFD, к которым применимы информационные технологии объектно-ориентированного MSA.

При использовании MSA ставится цель снижения затрат/потерь при стабилизации качества продукта посредством сбора и последующего статистического анализа данных о параметрах процесса на этапе проектных разработок [25]. При этом решается, как минимум, две важнейшие задачи [6]:

1. Определение критических атрибутов качества CQAs (Critical Quality Attributes) как профильные показатели или характеристики, которые необходимо контролировать (прямо или косвенно) для обеспечения качества продукта.

2. Определение характера влияния критически важных параметров процесса CPPs на критические атрибуты качества продукта CQAs, по которому они подразделяются на три класса: неклассифицированные, критические или некритические.

Зависимость CQAs от CPPs рассматривается как функция качества: $CQAs = F(CPP_i)$. Данная функция структурирована соответственно основным этапам производственного/технологического процесса QFD [24], для которых определены критические атрибуты качества и применимы принципы QbD.

Отметим, что гипотеза независимого влияния каждого из компонент многомерных CPPs на критические атрибуты качества продукта CQAs представляет идеалистический подход и, как правило, не является адекватной. В этой связи значение приобретает классификация атрибутов CPPs как факторов объектного (группового) влияния на атрибуты CQAs с дальнейшим многомерным статистическим анализом этого влияния. Данная проблема исследования и регулирования каузальной связи $CPPs \rightarrow CQAs$ является актуальной т.к. сопровождает производства на протяжении всего жизненного цикла продукции.

Изложение основного материала

Современные сложные производственные процессы характеризуются связанными ансамблями данных X и Y , включающих определённое количество многомерных компонент, что определяет особенности проведения статистического анализа.

Критические атрибуты выполнения важнейших (критических) процессов представляют собой результаты мониторинга $CPPs - X$ и $CQAs - Y$. В общем случае случайные значения данных параметров (случайных величин) сформированы в массивы (таблицы) временных данных компьютерного формата от аппаратно-программных средств контроля производства. Примем, что задана

матрица случайных данных $X = \{x_{ij}; i \in I, j \in J\}$, где $I (i = 1, \dots, n)$ – набор из n объектов (строки матрицы данных, наблюдения), $J (j = 1, \dots, d)$ – набор из d переменных (столбцы матрицы, атрибуты).

В терминах MSA компоненты $X - x_{ij}$ являются предикторами, экзогенными или объясняющими переменными и рассматриваются как значения многомерной случайной величины X . Переменным X однозначно соответствует многомерный отклик процесса Y . Компоненты $Y - y_{iu} (i = 1, \dots, n; u = 1, \dots, b)$ являются эндогенными, зависимыми переменными. Категория $X \rightarrow Y$ описывается функцией качества процесса производства: $CQAs = F(CPP_i)$

В статье представлена последовательность действий проведения блочной кластеризации массива данных X с целью дальнейшей интерпретации влияния структурированных данных на многомерный отклик процесса производства Y .

Цель блочной кластеризации (бикластеризации) – разделить массив значений матрицы на однородные блоки, где каждый из наборов I и J представлены g и m кластерами соответственно.

Основную идею методов кластеризации можно сформулировать как организацию перестановок объектов и переменных для создания структуры соответствия в виде блоков $g \times m$ массива данных $n \times d X$.

Существуют алгоритмы, которые выполняют блочную кластеризацию таблиц (матриц) различных типов данных: двоичных, случайных, непрерывных или категориальных [26].

Эти алгоритмы состоят в оптимизации по некоторому критерию некоторой целевой функции от параметров модели, вид которой зависит от типа и особенностей данных X .

Статистические свойства массива данных, тенденции к кластеризации предложено оценивать на этапе разведочного анализа данных (exploratory data analysis) с помощью объектно-ориентированного языка R [27]. Так, актуальные пакеты языка R используют латентную блочную модель LBM (latent block model) данных с оценкой параметров блочных (кластерных) распределений по EM-алгоритму (expectation-maximization algorithm) [26]. LBM задаёт плотность распределения на множестве X в виде (1):

$$p(X, Q) = \sum_{(z, w) \in Z \times W} p(z, Q) p(w, Q) f(X | z, w; Q), \quad (1)$$

Распределение (1) при условии независимости разбиений по строкам и столбцам: $row \mathbf{z} = (z_{ik})_{i, k}$

$column \mathbf{w} = (w_{jl})_{j, l}, k = 1, \dots, g, l = 1, \dots, m,$

а также блочной специфичностью распределений $f(X | z, w; Q)$ может быть записано в виде (2):

$$p(X, Q) = \sum_{(z, w) \in Z \times W} \prod_{ik} \pi_k^{z_{ik}} \prod_{jl} p_l^{w_{jl}} \prod_{ijkl} f(x_{ij}, \alpha_{kl})^{z_{ik} w_{jl}}, \quad (2)$$

где Z и W – множества всех возможных кластеров z из I и w из J , $f(x_{ij}, \alpha_{kl})^{z_{ik} w_{jl}}$ – плотность вероятности блочных распределений x_{ij} с параметрами α_{kl} . Q – вектор параметров $Q = (\pi, p, \alpha)$, где $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_g)$ и $p = (p_1, \dots, p_m)$ вероятности того, что строка и столбец относятся к компонентам k -й строки и l -го столбца соответственно, $\alpha_{kl} \in \alpha$.

Важно, что при блочной кластеризации матрица X размером $n \times d$ трансформируется в матрицу весов $\alpha_{kl} x^{zw}$ размером $g \times m$, что можно трактовать как сжатие данных. Кластеризация по строкам и столбцам даёт взвешенные значения атрибутов (d) и наблюдений (n) в образованных классах, которые задаются матрицами $x^z (g \times d)$ и $x^w (n \times m)$. Процесс блочной кластеризации и сжатие данных иллюстрирует рис.1.

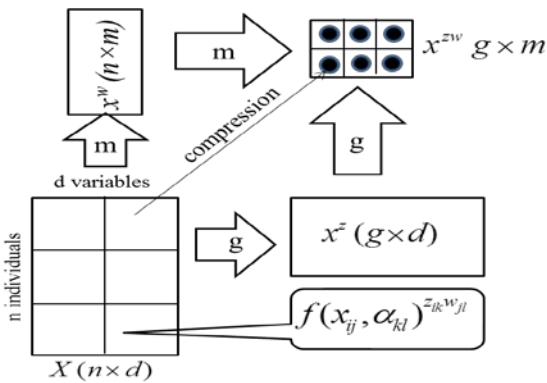


Рис. 1 – Процесс блочной кластеризации и сжатие данных

Для модели распределения (2) полными данными считаются вектор (X, z, w) , где ненаблюдаемыми параметрами z и w являются кластеры, раскрывающие скрытые связи данных массива X . Оценки вектора параметров Q находят по максимуму логарифма правдоподобия (3):

$$L(Q; X, z, w) = \sum_{ik} z_{ik} \log \pi_k + \sum_{jl} w_{jl} \log p_l + \sum_{ijkl} z_{ik} w_{jl} \log f(x_{ij}, \alpha_{kl}), \quad (3)$$

Для максимизации (3) используется итерационный неиерархический EM-алгоритм, который предполагает наличие функции плотности вероятности для каждого кластера с соответствующим значениями математического ожидания и дисперсии или/и вектора параметров Q [26].

На *E-stage (expectation)* вычисляется ожидаемое значение функции правдоподобия, при этом текущее приближение скрытых переменных вектора Q рассматривается как наблюдаемое.

На *M-stage (maximization)* вычисляется оценка Q максимизирующая правдоподобие (3) и таким образом уточняется значение Q , вычисляемое на E-шаге. Затем это новое значение Q используется для E-шага на следующей итерации – с (4). Алгоритм выполняется до сходимости.

$$Q(Q, Q^c) = \sum_{ik} s_{ik}^c \log \pi_k + \sum_{jl} t_{jl}^c \log p_l + \sum_{ijkl} e_{ijkl}^c \log f(x_{ij}, \alpha_{kl}), \quad (4)$$

$$\text{где } t_{ik}^c = P(z_{ik} = 1 | x, Q^c), r_{jl}^c = P(w_{jl} = 1 | x, Q^c), \\ e_{ijkl}^c = P(z_{ik} w_{jl} = 1 | x, Q^c).$$

Важно отметить, что рассмотренная схема блочной кластеризации не являются жесткой и допускает комбинирование нескольких процедур различных алгоритмов. В частности, для EM-алгоритма решения прикладных задач распространены модели смешанного Гауссова (Gaussian mixture model), Crobin (Crobin model) и другие виды представления данных [15, 17]. Использование той или иной модификации зависит от конкретного приложения поставленной задачи и адекватности описания эмпирических данных.

Предложена следующая схема бикластеризации массива данных предикторов X с целью дальнейшей оценки влияния на массив многомерных откликов процесса Y :

1. Проведение разведочного анализа данных X с целью определения статистических свойств массива данных и тенденций к кластеризации. На этом шаге также оценивается число возможных кластеров по переменной числа наблюдений n (кластеризация строк).

2. Проведение канонического анализа зависимости изменчивости значений матрицы многомерных откликов Y от влияния предикторов X методом неметрического многомерного шкалирования (NMDS, nonmetric multidimensional scaling). На этом шаге число возможных кластеров по переменной предикторов d (кластеризация столбцов) предложено оценивать по степени корреляции этих компонент с осями ординации NMDS.

3. Проведение бикластеризации массива данных предикторов X с оценочными значениями

числа возможных кластеров по переменным наблюдений и предикторов. Анализ и интерпретация полученных результатов.

Исследования выполнены с использованием программных пакетов языка R.

Разведочный анализ свойств предикторов производился по корреляционной матрице и визуализации тенденции образования кластеров VAT (Visual Assessment of cluster Tendency), как показано на рис. 2a,b .

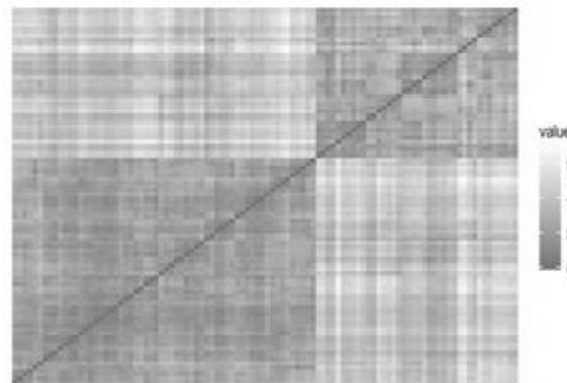
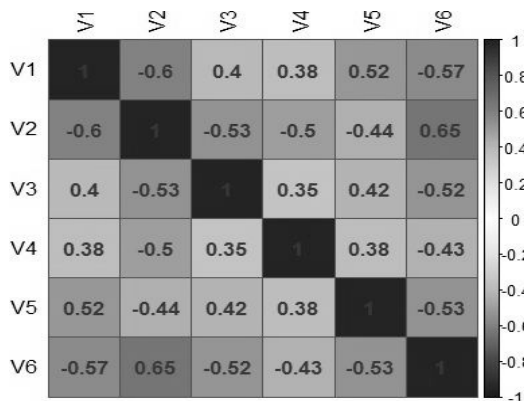


Рис. 2 – Корреляционная матрица компонент предикторов X – a и визуализация тенденций образования кластеров – b

Потенциальное объединение наблюдений в группы представлено темными квадратами вдоль главной диагонали «VAT-диаграммы» рис. 2b.

Оценка веса компонент X (variable importance) в общем разбросе данных с помощью метода главных компонент PCA (principle components analysis) и результат объединения предикторов X в кластеры, показаны на рис. 3a,b.

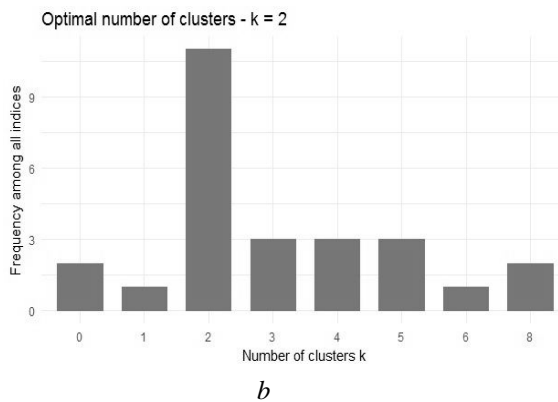
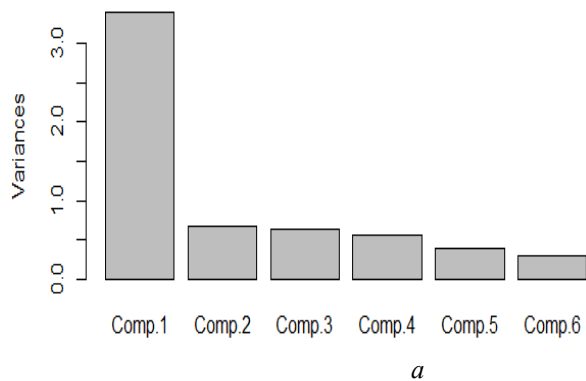


Рис. 3 – Результат оценки веса компонент предикторов X – a. Результат определения оптимального числа кластеров по переменной числа наблюдений n – b

Поиск оптимальной схемы объединения предикторов X в кластеры производился перебором различных комбинаций числа групп, метрик дистанций и методов кластеризации с помощью 30 индексов качества. Оптимальное число кластеров по параметру n равно двум, как показано на рис. 3b.

Влияние изменчивости компонент X на компоненты многомерных откликов Y исследовалось методом неметрического многомерного шкалирования (NMDS) этих массивов данных. Проекция значений массива Y на оси ординации NMDS1-NMDS2 с наложением компонент предикторов (ординационный триплет) показаны на рис. 4. Метод NMDS характеризуется наиболее адекватными оценками для больших матриц данных с значительным вкладом случайных факторов в рассеяние значений, что обосновывает его применение в рассматриваемом случае.

Показатели корреляций (рис.2a) и отсутствие мультиколлинеарности между предикторами, определённые с помощью функций findCorrelation и findLinearCombos языка R, свидетельствуют о преобладающем вкладе случайной составляющей в разброс значений массива X.

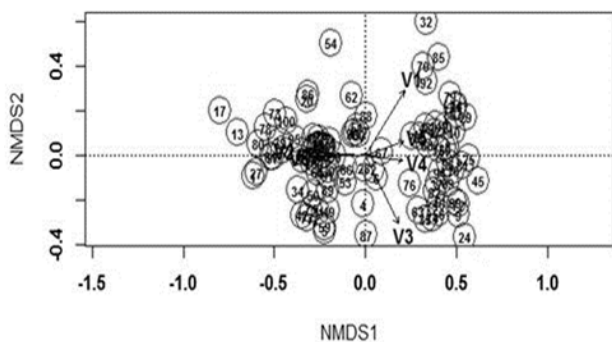


Рис. 4 – Результати ординації значень откликов Y на осі NMDS1-NMDS2 і зв'язь з компонентами предикторів X

Составляющие предикторов X (V_i) на рис. 4 наложены на плоскость неметрического шкалирования многомерных откликов Y в зависимости от рассчитанных коэффициентов корреляции с осями ординации NMDS1-NMDS2. Из рис. 4 видно, что модель NMDS визуализирует представление о влиянии переменных предикторов X (V_i) на отклики Y . Численной характеристикой являются коэффициенты корреляции каждой из компонент предикторов с осями ординации NMDS1-NMDS2 и оценка статистической значимости этих коэффициентов. Важно отметить, что классы Y хорошо различимы на фоне осей составляющих X , компактное группирование которых на плоскости NMDS1-NMDS2 может говорить о наличии скрытой связи при влиянии на отклики Y и возможности образования кластеров. Технология NMDS даёт возможность исследовать различия не только двух и более матриц данных, но и параметров одной матрицы параметров. Поэтому предложено использовать метод NMDS для определения меры сходства между компонентами массива предикторов X и определения числа кластеров по атрибутивным переменным. Предположение о возможности образования кластеров по переменной предикторов d подтверждается построением ординационного триплота по значениям матрицы предикторов X , рис.5.

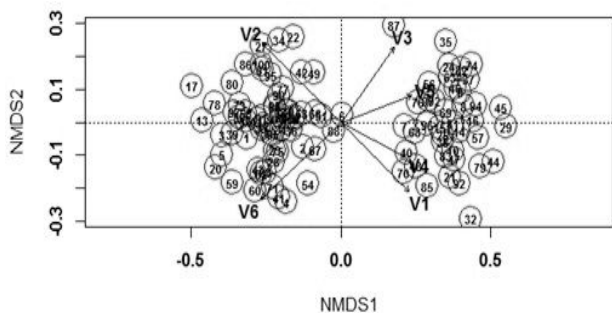


Рис. 5 – Ординационный триплет значений предикторов X на осі NMDS1-NMDS2

Бикластеризация массива X проводилась с использованием программного пакета «blockcluster»

языка R для случайных значений массива X распределённых по закону Пуассона [26].

Рисунок 6 визуализирует итог применения инструментов пакета «blockcluster» и образование блоков кластеров по переменной наблюдений n и атрибутов d .

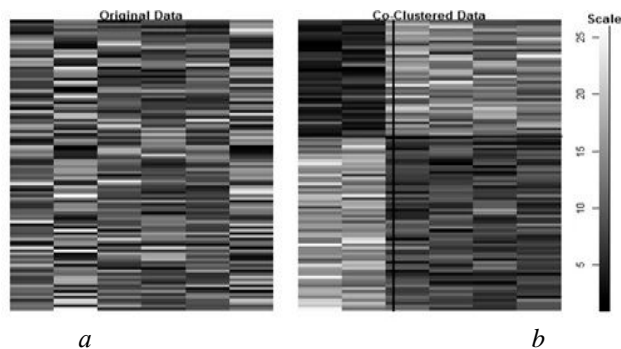


Рис. 6 – Результат объединения массива предикторов X – а в блочные кластеры – б

Результаты бикластеризации дополнены блочными и смешанными гистограммами распределений данных массива предикторов X . Программный пакет предоставляет возможность проводить блочную кластеризацию массивов данных как выборку из распределения соответствующего смешанной модели Гаусса.

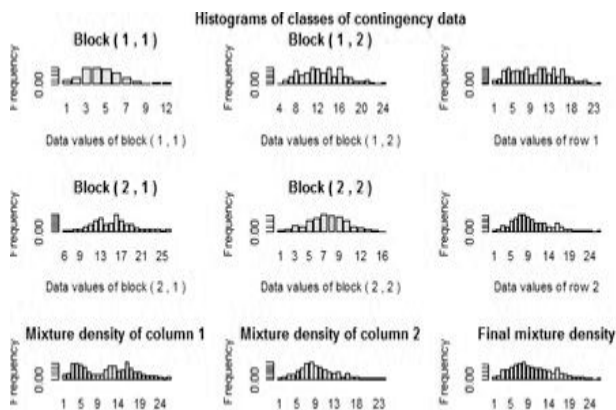


Рис. 7 – Блочные и смешанные гистограммы распределений данных массива предикторов X

Приведенные на рис.6 и рис.7 результаты блочной кластеризации данных массива предикторов X обосновано согласуются с результатами NMDS т.е. ординационный триплет NMDS также как и бикластерная диаграмма дают адекватное представление о классовой структуре исследуемых данных. Оценки NMDS могут быть вполне дополнены последующим анализом блочного деления с помощью бикластерных методов.

Обсуждение результатов

В статье представлены результаты исследования на этапе проектирования процесса производства, в ходе которого проводился многомерный статистический анализ причинно-следственных связей между изменчивостью компонент отклика процесса и действием определенных факторов, отождествляемых с технологическими параметрами процесса.

Факторы получены как результат блочного группирования наблюдений массива объясняющих переменных в кластеры для разных метрик оценивания разброса значений в многомерном пространстве. Кластеры предложено трактовать как факторы влияния критических параметров процесса производства на критические атрибуты качества продукта.

Исследование содержит элементы разведочного, описательного и аналитического статистического анализа.

Разведочная характеристика данных использует показатели корреляционных свойств и тенденций образования кластеров исследуемого массива данных (рис. 2a,b). Кластеры детализированы и выделены темными квадратами вдоль главной диагонали «VAT-диаграммы» рис. 2b.

Значения относительного вклада каждой компоненты предикторов (Cmp.m) в общий разброс данных были получены с помощью метода PCA и сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Вклад компонент предикторов в общий разброс данных массива X

Cmp Prmtrs	Cmp 1	Cmp 2	Cmp 3	Cmp 4	Cmp 5	Cmp 6
Stndrd devtn	1.84	0.81	0.79	0.74	0.62	0.55
Prprtn of Vrnce	0.57	0.11	0.10	0.09	0.06	0.05
Cmltv Propor-tion	0.57	0.68	0.78	0.88	0.94	1.00

Отметим, что все компоненты многомерного массива X за исключением Cmp.1 (57%) характеризуются практически равным вкладом (proportions of variance близко к 10%) в разброс значений. Доступная в этом тесте тенденция кластеризации характеризуется статистикой Хопкинса (The Hopkins statistic, 0.334) показывает умеренную склонность к образованию кластеров при весомом влиянии случайного разброса данных.

Поскольку предлагаемые методы бикластеризации используют итерационные процедуры критичные к выбору начального приближения числа разбиений массивов данных по

параметрам наблюдений и атрибутов [19, 26], предложено оценивание возможного числа блоков проводить по результатам разведочного анализа данных и применения метода NMDS. Далее показано, что метрика неметрического многомерного шкалирования даёт адекватные оценки группирования для матриц данных с существенным вкладом стохастичности в разброс значений.

Так, ожидаемое число разбиений по переменной наблюдений можно получить посредством сравнительных процедур перестановочных тестов для различных сочетаний числа групп и метрик дистанций (рис.3b).

Отметим, что ординация составляющих X на плоскости компонент NMDS потенциально оценивает количество блоков по переменной атрибутов (рис.4). При этом важно подчеркнуть, что классификация атрибутов проводится именно по ординационному триплоту категории X → Y характеризующему каузальную связь массива атрибутов X с многомерными откликами Y.

В табл. 2 приведены коэффициенты корреляции компонент предикторов V_i с осями ординации NMDS1-NMDS2 и статистическая значимость (p) этих коэффициентов.

Имеет место высокая корреляция составляющих предикторов с осями ординации NMDS и существенная статистическая значимость коэффициентов корреляции (p=0.01).

Таблица 2 – Статистическая значимость (p) коэффициентов корреляции компонент X (V_i) с осями ординации NMDS

NMDS \ V	NMDS1	NMDS2	r2	Pr(>r)
V1	0.59247	0.80559	0.8215	0.001
V2	-0.99910	0.04248	0.8738	0.001
V3	0.50809	-0.86131	0.7751	0.001
V4	0.99283	-0.11953	0.2704	0.001
V5	0.95839	0.28547	0.2925	0.001
V6	-0.99975	-0.02231	0.5143	0.001

В статье акцентировано внимание, что эти закономерности ординационного триплота NMDS далее позволяют определить число кластеров по переменной атрибутов массива X и связать концентрацию разброса значений с составом компонент атрибутов (рис. 5).

Количественные показатели дескриптивных статистических исследований (кластеры $g \times m$) позволяют провести блочную кластеризацию массива X (рис.6). С помощью программного пакета «blockcluster» языка R оригинальные данные матрицы X распределённые по закону Пуассона группируются в блочную таблицу 2×2 .

Вид блочных гистограмм распределений значений предикторов на рис. 7 в основном

унимодален с наличием достаточно больших частот некоторых величин, что как уже отмечалось объясняется влиянием случайных факторов. Значения строковых и столбцевых блочных вероятностей приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значения блочных вероятностей компонент строк и столбцов

Row proportions	0.400	0.599
Column proportions	0.666	0.333

Этот фрейм данных раскрывает скрытую связь компонент предикторов как критических параметров процесса при их влиянии на многомерный отклик процесса в виде критических атрибутов качества продукта. Отметим, что предложенная логика статистического анализа в практическом приложении позволяет конкретизировать технологические параметры варибельности процесса производства на стадии проектирования и снизить возможные потери от снижения качества продукции.

Выводы

Актуальным направлением анализа каузальных связей массивов критических атрибутов качества процесса производства является совместное или комбинированное использование различных статистических методов. Этому во многом способствует объектно-ориентированный подход к исследованиям, реализованный в языке программирования R.

Блочная кластеризация массивов эмпирических данных критических атрибутов качества процесса производства при многомерных статистических исследованиях каузальной связи позволяет определить практически значимые параметры и их латентные зависимости.

При отсутствии аналитической или физической зависимости между составляющими предикторов, образование классов по атрибутивному измерению объясняет изменение откликов как следствие влияния косвенных (не явных) факторов, связанных с технологией процесса.

Важным результатом является заключение о возможности использования метода NMDS для определения тенденции кластеризации и числа возможных кластеров по атрибутивным параметрам исследуемого массива. Оценки бикластеризации релевантны результатам оценок методом NMDS в отношении состава и характера компонентного влияния предикторов на многомерный отклик процесса.

Перспектива дальнейших исследований состоит в синтезе новых или имплементации известных методов MSA для анализа данных технологических процессов на ранних стадиях

проектирования с целью достижения высокого качества продукции.

Список литературы

1. **Steimera, C.** Model-based design process for the early phases of manufacturing system planning using SysML / **C. Steimera, J. Fischerb, J. C. Auricha** // *27th CIRP Design 2017. Procedia CIRP.* – 2017. – P. 163-168. – doi: 10.1016/j.procir.2017.01.036.
2. **Blondet, G.** Simulation Data Management for Adaptive Design Of Experiment. A literature review / **G. Blondet, N. Boudaoud, J. Duigou** // *QUALITA' 2015, Nancy, France.* – 2015. [Electronic resource]. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01149776> (2018.06.19).
3. **Zwier, Marijn P.** Physics in Design: Real-time numerical simulation integrated into the CAD environment / **Marijn P. Zwier, Wessel W. Wits** // *Procedia CIRP 60.* – 2017. – P. 98-103. – doi: 10.1016/j.procir.2017.01.054.
4. **Zhang, L.** Application of quality by design in the current drug development / **L. Zhang, S. Mao** // Shenyang Pharmaceutical University, Wenhua Road, Shenyang, China: *Asian journal of pharmaceutical sciences.* – 2017. – №.103. – P. 1-8. – doi: 10.1016/j.ajps.2016.07.006.
5. **Mohamed, I.** Progressive Modeling: The Process, the Principles, and the Applications / **I. Mohamed** // *Procedia Computer Science.* – 2013. – V. 16. – P. 39-48. – doi: 10.1016/j.procs.2013.01.005.
6. **Lionberger, R. A.** Quality by Design: Concepts for ANDAs / **R. A. Lionberger, S. L. Lee, L. M. Lee, et al.** // *The AAPS Journal.* – 2008. – 10(2). – P. 268-276. – doi: 10.1208/s12248-008-9026-7.
7. **Pramod, K.** Pharmaceutical product development: A quality by design approach / **K. Pramod, M. A. Tahir, N. A. Charoo, et al.** // *International Journal of Pharmaceutical Investigation.* – Jul-Sep 2016. – 6(3). – P. 129-138. – doi: 10.4103/2230-973X.187350.
8. Guidance for Industry PAT – A Framework for Innovative Pharmaceutical Development, Manufacturing, and Quality Assurance. [Electronic resource]. URL: <http://www.fda.gov/cder/OPS/PAT.htm> (2018.06.19).
9. **Cohen, L.** Research Methods in Education. Sixth edition / **L. Cohen, L. Manion, K. Morrison.** Taylor & Francis e-Library, 2007. – 638 p.
10. **Brereton, R. G.** Applied chemometrics for scientists / **R. G. Brereton.** University of Bristol, UK, John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 379 p.
11. **Skold, M.** Computer Intensive Statistical Methods / **M. Skold** // *Mathematical Statistics Centre for Mathematical Sciences Lund University.* – 2005, 2nd printing. – 2006. – 133 p. [Electronic resource]. URL: <http://www.maths.lth.se/> (2018.06.19).
12. **Ripley, B. D.** Computer-Intensive Statistics / **B. D. Ripley** // APTS 2011–12 lecture material – 2008. – 70 p. [Electronic resource]. URL: <http://www.stats.ox.ac.uk/~ripley/APTS2012/APTS-CIS-lects.pdf> (2018.06.19).
13. **Berkhin, P.** A Survey of Clustering Data Mining Techniques / **P. Berkhin** // *ResearchGate.* – 2002. – 59 p. – doi: 10.1007/3-540-28349-8_2.
14. **Govaert, G.** Latent Block Model for Contingency Table / **G. Govaert, M. Nadif** // *Communications in Statistics – Theory and Methods.* – 2010 – 39, 3. – P. 416-425. – doi: 10.1080/03610920903140197.
15. **Charrad, M.** Simultaneous Clustering: A Survey / **M. Charrad, M. Ben Ahmed** // *PREMI'11 Proceedings of*

- the 4th international conference on Pattern recognition and machine intelligence.* – Springer-Verlag Berlin, 2011. – P. 370-375.
- Keribin, C.** Estimation and selection for the latent block model on categorical data / [C. Keribin, V. Brault, G. Celeux, et al.] // *Statistics and Computing.* – November 2015. – V. 25, 6. – P. 1201-1216. – doi: 10.1007/s11222-014-9472-2.
 - Brault, V.** Co-clustering through Latent Bloc Model: a Review / V. Brault, M. Mariadassou // *Journal de la Société Française de Statistique.* – 2015. – 156 (3). – P. 120-139. – doi: 10.1111/evo.12770.
 - Brault, V.** Fast and Consistent Algorithm for the Latent Block Model / V. Brault, A. Channarond // *Electronic Journal of Statistics. arXiv:1610.09005v1 [math.ST].* – 2016. – 22 p.
 - Schepers, J.** Maximal Interaction Two-Mode Clustering / J. Schepers // *Journal of Classification* 34. – 2017. – P. 49-75. – doi: 10.1007/s00357-017-9226-x.
 - Celeux, G.** Variable selection in model-based clustering and discriminant analysis with a regularization approach / G. Celeux, C. Maugis-Rabusseau, M. Sedki // *Advances in Data Analysis and Classification.* – Springer Verlag, 2018. – 21 p.
 - ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidance on the Concept and Use of the Process Approach for management systems. [Electronic resource]. URL: https://www.iso.org/iso/04_concept_and_use_of_the_process_approach_for_management_systems.pdf (2018.06.19).
 - ISO 22000: 2005 Food safety management systems. [Electronic resource]. URL: <https://www.iso.org/standard/35466.html> (2018.06.19).
 - Food and Drug Administration. Final Report on Pharmaceutical cGMPs for the 21st Century – A Risk Based Approach. [Electronic resource]. URL: http://www.fda.gov/cder/gmp/gmp2004/GMP_finalreport2004.htm (2018.06.19).
 - Jaiswal, E. S.** A Case Study on Quality Function Deployment (QFD) / E. S. Jaiswal // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE).* – 2012. – V. 3, 6. – P. 27-35. – doi: 10.9790/1684-0362735.
 - Araujo, F.** Variable selection methods in multivariate statistical process control: A systematic literature review / F. Araujo, P. Pimentel, F. S. Fogliatto // Department of Industrial Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, 90035-190 Porto Alegre, RS, Brazil, *Computers & Industrial Engineering.* – 2018. – V. 115. – P. 603-619. – doi: 10.1016/j.cie.2017.12.006.
 - Bhatia, P.** Blockcluster: An R Package for Model Based Co-Clustering / P. Bhatia, S. Iovleff, G. Govaert // *Journal of Statistical Software.* – 2014. – V. VV, II. – 23 p.
 - Bhatia, P. S.** A tutorial for blockcluster R package Version 4 / P. S. Bhatia, S. Iovleff // *CRAN*, 2018. [Electronic resource]. URL: https://cran.r-project.org/web/packages/blockcluster/vignettes/blockcluster_tutorial.pdf (2018.06.19).
 - 2015, Nancy, France, 2015. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01149776> (19 June 2018).
 - Zwier, M. P., Wits, W. W.** Physics in Design: Real-time numerical simulation integrated into the CAD environment. *Procedia CIRP* 60, 2017, 98-103, doi: 10.1016/j.procir.2017.01.054.
 - Zhang, L., Mao, S.** Application of quality by design in the current drug development. *Shenyang Pharmaceutical University, Asian journal of pharmaceutical sciences*, 103, 2017, 1-8, doi: 10.1016/j.ajps.2016.07.006.
 - Mohamed, I.** Progressive Modeling: The Process, the Principles, and the Applications. *Procedia Computer Science*, 16, 2013, 39-48, doi: 10.1016/j.procs.2013.01.005.
 - Lionberger, R. A., Lee, S. L., Lee, L. M., et al.** Quality by Design: Concepts for ANDAs. *The AAPS Journal*, 10(2), 2008, 268-276, doi: 10.1208/s12248-008-9026-7.
 - Pramod, K., Tahir, M. A., Charoo, N. A., et al.** Pharmaceutical product development: A quality by design approach. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 6(3), 2016, 129-138, doi: 10.4103/2230-973X.187350.
 - Guidance for Industry PAT – A Framework for Innovative Pharmaceutical Development, Manufacturing, and Quality Assurance. Available at: <http://www.fda.gov/cder/OPS/PAT.htm> (19 June 2018).
 - Cohen, L., Manion, L., Morrison, K.** Research Methods in Education. Sixth edition. *Taylor & Francis e-Library*, 2007, 638.
 - Brereton, Richard G.** Applied chemometrics for scientists. University of Bristol, UK, *John Wiley & Sons Ltd*, 2007, 379.
 - Skold, M.** *Computer Intensive Statistical Methods.* Mathematical Statistics Centre for Mathematical Sciences Lund University, 2005, 133. Available at: <http://www.maths.lth.se/> (2018.06.19).
 - Ripley, B. D.** Computer-Intensive Statistics. *APTS 2011–12 lecture material*, 2008, Available at: <http://www.stats.ox.ac.uk/~ripley/APTS2012/APTS-CIS-lects.pdf> (19 June 2018).
 - Berkhin, P.** A Survey of Clustering Data Mining Techniques. *ResearchGate*, 2002, 59, doi: 10.1007/3-540-28349-8_2.
 - Govaert, G., Nadif, M.** Latent Block Model for Contingency Table. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 2010, 39, 3, 416-425, doi: 10.1080/03610920903140197.
 - Charrad, M., Ben Ahmed, M.** Simultaneous Clustering: A Survey. *PREMI'11 Proceedings of the 4th international conference on Pattern recognition and machine intelligence.* Springer-Verlag Berlin, 2011, 370-375.
 - Keribin, C., Brault, V.** Estimation and selection for the latent block model on categorical data. *Statistics and Computing*, 2015, 25, 6, 1201-1216, doi: 10.1007/s11222-014-9472-2.
 - Brault, V., Mariadassou, M.** Co-clustering through Latent Bloc Model: a Review. *Journal de la Société Française de Statistique*, 2015, 156 (3), 120-139, doi: 10.1111/evo.12770.
 - Brault, V., Channarond, A.** Fast and Consistent Algorithm for the Latent Block Model. *Electronic Journal of Statistics. arXiv:1610.09005v1 [math.ST]*, 2016, 22.
 - Schepers, J.** Maximal Interaction Two-Mode Clustering. *Journal of Classification*, 2017, 34, 49-75, doi: 10.1007/s00357-017-9226-x.
 - Celeux, G., Maugis-Rabusseau, C., Sedki, M.** Variable selection in model-based clustering and discriminant

Bibliography (transliterated)

- Steimera, C., Fischerb, J., Auricha, J. C.** Model-based design process for the early phases of manufacturing system planning using SysML. *27th CIRP Design 2017. Procedia CIRP*, 2017, 163-168, doi: 10.1016/j.procir.2017.01.036.
- Blondet, G., Boudaoud, N., Duigou, J.** Simulation Data Management for Adaptive Design Of Experiment. A literature review, by Blondet, Gaëtan, et al. *QUALITA'*

- analysis with a regularization approach. *Advances in Data Analysis and Classification*. Springer Verlag, 2018, 21.
21. ISO 9000 Introduction and Support Package: *Guidance on the Concept and Use of the Process Approach for management systems*. Available at: https://www.iso.org/iso/04_concept_and_use_of_the_process_approach_for_management_systems.pdf (19 June 2018).
 22. ISO 22000: 2005 *Food safety management systems*. Available at: <https://www.iso.org/standard/35466.html> (19 June 2018).
 23. Food and Drug Administration. *Final Report on Pharmaceutical cGMPs for the 21st Century – A Risk Based Approach*. Available at: http://www.fda.gov/cder/gmp/gmp2004/GMP_finalreport2004.htm (19 June 2018).
 24. **Jaiswal, E. S.** A case study on quality function deployment (QFD). *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2012, 3, 27-35, doi: 10.9790/1684-0362735.
 25. **Peres, F., Pimentel, A., Fogliatto, F. S.** Variable selection methods in multivariate statistical process control: A systematic literature review. Department of Industrial Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul, 90035-190 Porto Alegre, RS, Brazil, *Computers & Industrial Engineering*, 2018, **115**, 603-619, doi: 10.1016/j.cie.2017.12.006.
 26. **Bhatia, P., Iovleff, S., Govaert, G.** *Blockcluster: An R Package for Model Based Co-Clustering*. Journal of Statistical Software, 2014, **VV**, II, 23.
 27. **Bhatia, P., Iovleff, S.** A tutorial for blockcluster R package Version 4. CRAN, 2018, 1-20. Available at: https://cran.r-project.org/web/packages/blockcluster/vignettes/blockcluster_tutorial.pdf (19 June 2018).

Сведения об авторах (About authors)

Штангей Светлана Викторовна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники, доцент кафедры информационно-коммуникационной инженерии; г. Харьков, Украина; e-mail: kwertysv1@ukr.net.

Svitlana Shtangey – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor, Department of info-communication engineering; Kharkiv, Ukraine; e-mail: kwertysv1@ukr.net.

Терещенко Игорь Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники, доцент кафедры информационно-коммуникационной инженерии; г. Харьков, Украина; e-mail: iter@ukr.net.

Igor Tereshchenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor, Department of info-communication engineering; Kharkiv, Ukraine; e-mail: iter@ukr.net.

Терещенко Антон Игоревич – Государственный Университет Телекоммуникаций, аспирант, кафедра управления информационной и кибернетической безопасностью; Киев, Украина; e-mail: vti62@ukr.net.

Anton Tereshchenko – State University of Telecommunications, post-graduate student, department of management of information and cyber security; Kyiv, Ukraine; e-mail: vti62@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Штангей, С. В. Ко-кластеризация данных многомерных атрибутов качества для оценки факторов взаимного влияния / **С. В. Штангей, И. В. Терещенко, А. И. Терещенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 45-54. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.31.

Please cite this article as:

Shtangey, S., Tereshchenko, I., Tereshchenko, A. Co-clustering the data of multivariate quality attributes for the estimation of mutual influence factors. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 45-54, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.31.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Штангей, С. В. Ко-кластеризация даних багатомірних атрибутів якості для оцінки факторів взаємного впливу / **С. В. Штангей, І. В. Терещенко, А. І. Терещенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 45-54. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.31.

АНОТАЦІЯ У статті пропонується метод ко-кластеризації стохастичних даних багатомірних критичних параметрів процесу (CPPs) з метою оцінки впливу виявлених факторів на багатомірні атрибути критичної якості (CQAs) продукту на стадії початкового проектування процесу виробництва. Метод представляє новий підхід до забезпечення якості продукту, який враховує проблему ко-кластеризації масивів даних CPPs для визначення каузального зв'язку з CQAs. Використовується технологія неметричного багатомірного шкалювання (NMDS) для визначення вихідних параметрів ко-кластеризації.

Ключові слова: якість через дизайн; критичні атрибути якості; ко-кластеризація; багатомірний статистичний аналіз

Поступила (received) 16.06.2018

УДК 621.07.044.4:664.1

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.32

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ РОЗРЯДІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ СОКОСТРУЖКОВОЇ СУМІШІ

Ю. О. ДАШКОВСЬКИЙ, А. І. МАРИНІН, Ж. І. ПРОХОРЕНКО, А. І. УКРАЇНЕЦЬ

Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА
*email: Svyatnenko@i.ua

АНОТАЦІЯ На сьогоднішній день в харчовій і переробній промисловості все більше знаходять застосування електрофізичні методи обробки харчових продуктів і напівпродуктів, одним з яких є електрогідролітична обробка (ЕГО). В Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій були проведені експериментальні дослідження з метою вивчення дії впливу електрогідролітичного оброблення (ЕГО) на якісні показники сокостружкової суміші. Дослідження проводилися з використанням експериментальної установки, розроблену фахівцями НУХТ. Під час дослідження було встановлено ефект підвищення чистоти дифузійного соку, підвищення ступеню плазмолізу клітин цукрового буряку порівняно з контролем. З'ясовано, що при зростанні кількості розрядів до 7...10 зменшується життєдіяльність мікроорганізмів в межах 71...87% порівняно з контролем, при чому чутливими до знезаражуючої дії електрогідролітичного ефекту виявилися вегетативні клітини бактерій, дріжджів, міцеліальних грибів, наслідком чого є зменшення втрат цукрози.

Ключові слова: електрогідролітичне оброблення (ЕГО); дифузійний сік; цукровий буряк; контамінуюча мікрофлора.

INFLUENCE OF ELECTRICAL DISCHARGES ON PROPERTIES AND QUALITY INDICATORS OF SOCORATIVE MIXTURE

Y. O. DASHKOVSKIY, A. I. MARININ, J. I. PROKHORENKO, A. I. UKRAINETZ

National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Today, in the food and processing industry more and more are used electrophysical methods of processing food products and semi-finished products, one of which is electro-hydraulic treatment (ECO).

In the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies, experimental studies were conducted to study the effect of electrohydraulic treatment (EHO) on the quality parameters of the parboiled mixture. The research was carried out using an experimental installation developed by NUKHT specialists. During the study, the effect of increasing the purity of diffusion juice, increasing the degree of plasmolysis of sugar beet cells compared to control. An increase in the number of discharges up to 7-10 reduces the vital activity of microorganisms within the range of 71 ... 87% compared to control samples, at the same time vegetative cells of bacteria, yeast, and micelles fungus were sensitive to the disinfecting effect of the electrohydraulic effect. At electrohydraulic treatment of the mixture of sugar beet pulp and juice with a quantity of discharges 15 and at a voltage $U = 35$ kV, no significant changes occurred.

Keywords: electrohydraulic treatment (EHO); diffusion juice; sugar beet; contaminating microflora.

Вступ

Сучасний розвиток харчової промисловості України ставить дедалі жорсткіші умови до якості готової продукції, її асортименту, зниження втрат сировини та енергоресурсів. Одним з актуальних питань сьогодення є розроблення енергоощадних мало-відходних процесів перероблення сировини на кінцевий продукт за рахунок впровадження нових способів інтенсифікації технологічних процесів.

Основною проблемою традиційних способів оброблення рослинної сировини, яка є одним з основних об'єктів перероблення в харчовій, фармацевтичній, мікробіологічній, хімічній та інших галузях народного господарства, є недостатньо висока ефективність та глибина перероблення.

Нині, перспективним напрямом у розробленні нових процесів харчових виробництв є застосування електрофізичних методів оброблення.

Рядом дослідників [1-11], доведено перспективність електрофізичної обробки, як напрямку для харчової промисловості з метою інтенсифікації технологічних процесів і поліпшення якості продуктів і напівфабрикатів, зокрема для виробництва цукру, крохмалю, інуліну, фруктози тощо.

Мета роботи

Метою роботи є вивчення впливу режимів імпульсного електрогідролітичного оброблення на якісні показники та чистоту дифузійного соку у бурякоцукровому виробництві.

Об'єктом досліджень є сокостружкова суміж.

Виклад основного матеріалу

Електроіскрове оброблення (далі по тексту – ЕГО) засноване на механічній дії каналу розряду, що

розширюється, та короткочасного імпульсного розряду.

Як відомо [12], при електроіскровому розряді в рідині теплова дія на об'єкт практично відсутня, а механічний вплив відбувається внаслідок безпосереднього електричного контакту, через рідинну фазу. В той же час основним джерелом впливу на внутрішні дифузійні процеси при акустичному екстрагуванні є пружні хвилі, що виникають під час розряду [13].

При дії пружних хвиль кінцевої амплітуди на рослину сировину в клітинах останньої виникають складні структурні напруження [14].

В бурякоцукровому виробництві при отриманні дифузійного соку основною вимогою є максимальне вилучення цукрози із стружки цукрового буряка та зменшення переходу нецукрів у дифузійний сік при екстрагуванні [15].

Для вивчення впливу ЕЮ на цукрозу проводили оброблення модельного розчину цукрози, а саме розчину цукру-піску в дистильованій воді з вмістом СР=14 %, на лабораторній електроіскровій установці розробленими фахівцями Національного університету харчових виробництв, при напрузі розряду $U=35$ кВ та кількості розрядів 5, 10, 15.

Обговорення результатів

Результати досліджень представлені в таблиці 1. Встановлено, що в процесі ЕЮ модельного розчину цукрози її руйнування відсутнє. Зменшення pH_{20} можна пояснити незначним підкисленням розчину продуктами, що утворюються під час оброблення електроіскровими розрядами: атомарні та молекулярні кисень та водень, газоподібний перекис водню, а також електрично нейтральні Н, ОН, що присутні в парах води.

Таблиця 1 – Вплив режимів ЕЮ на модельний розчин цукрози

Кількість розрядів	СР,%	ЦК%	Ч,%	pH_{20}	РР,%
Контроль	14,0	14,0	99,34	7,5	0,009
5	14,0	14,0	99,12	7,1	0,012
10	14,0	14,0	98,32	6,8	0,012
15	14,0	13,95	97,89	6,4	0,014

Крім того, стосовно інтерпретації явища зміни pH_{20} можна стверджувати, що при прямій полярності процеси під час електричного розряду в об'ємі рідини між електродами будуть переважати окисні реакції, а при зворотній полярності – відновлювальними. Тому при різних стадіях розряду напруга та струм міняють свої значення поблизу полюсів і відбувається зміна окислювальних реакцій на відновлювальні і навпаки.

Також внаслідок переходу іонів матеріалу електроду відбувається підвищення електропровідності [16].

Як відомо, одним з головних якісних показників дифузійного соку є його доброякісність або чистота [17]. Тому в якості критерію для оптимізації ЕЮ була взята чистота отриманого дифузійного соку.

Для встановлення раціонального режиму оброблення та вивчення якісних змін дифузійного соку на лабораторній електроіскровій установці проводили ЕЮ сокостружкової суміші при різних режимах в діапазоні напруг на електродах від 15 до 45 кВ та кількістю розрядів 5, 7, 10, 12, 15. Робочий крок зміни напруги вибирався виходячи з особливостей конструкції та роботи торового розрядника (формуючого проміжку) [18].

Отримані залежності чистоти дифузійного соку від параметрів ЕЮ показують (рис. 1), що ЕЮ сокостружкової суміші з напругою 35 кВ та кількості розрядів від 7 до 10 сприяє підвищенню чистоти дифузійного соку до 1,2 %. Отримані параметри визначають раціональний режим ЕЮ сокостружкової суміші.

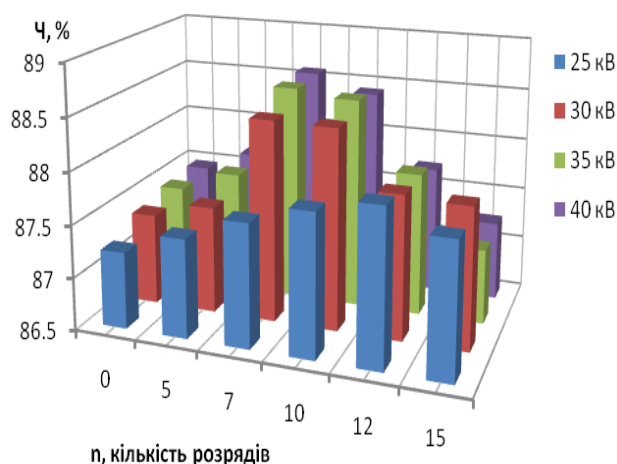


Рис. 1- Зміна чистоти дифузійного соку від параметрів ЕЮ сокостружкової суміші: напруги та кількості розрядів

Як видно з залежностей, ЕЮ з кількістю розрядів 12...15 і більше, веде до погіршення чистоти за рахунок збільшення переходу нецукрів у дифузійний сік з пошкоджених клітин бурякової тканини, які в подальшому погіршують умови кристалізації та зменшують вихід цукру.

Інтенсифікація процесу ЕЮ також характеризується витратами енергії на його досягнення. Імпульсне підведення енергії за дуже короткий проміжок часу дозволяє досягнути великих миттєвих потужностей при малих величинах витрат електроенергії (рис. 2).

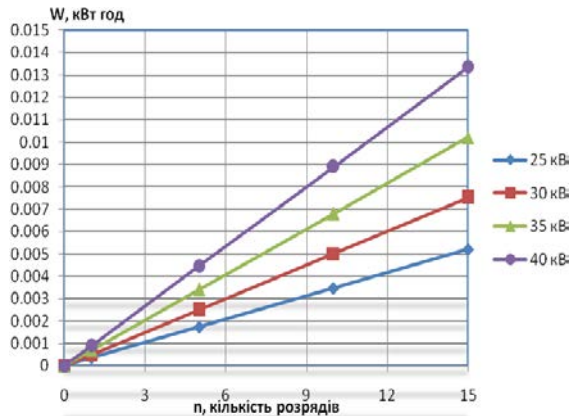


Рис. 2 - Витрати електроенергії на ЕІО оброблення сокостружкової суміші в залежності від наруги розряду та кількості розрядів:
◇ – 25 кВ; Δ – 35 кВ; □ – 30 кВ; ○ – 40 кВ

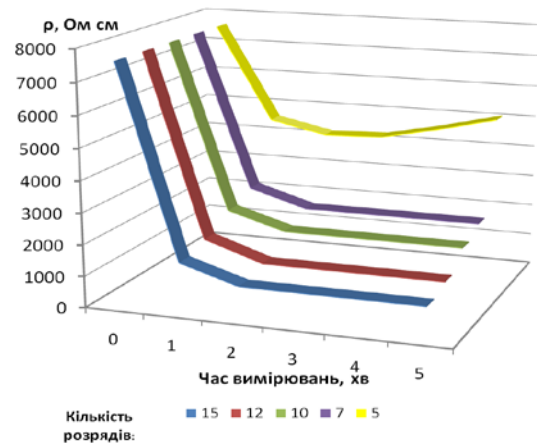


Рис. 3 - Зміна питомого опору бурякової тканини від часу вимірювання після ЕІО

Дані розрахунки велися за методикою [19] виходячи з параметрів генератора та електророзрядної камери.

Аналізуючи основні положення плазмолітичної теорії соковіддачі [20] та отримані результати експериментальних досліджень, ми можемо зробити висновок, що в структурі клітин цукрового буряку відбуваються певні зміни.

Для підтвердження структурних змін в тканині рослинної сировини було досліджено вплив ЕІО на електропровідність тканини цукрового буряку, яка залежить від проникності іонів розчинних речовин. Досягнення максимальної електропровідності свідчить про завершення процесу елекрогідроплазмолізу.

В оброблених шматочках цукрового буряку, розмірами 20×20×5 мм, визначали середні значення питомого опору, які наведені на рис. 3. З отриманих залежностей можна зробити висновок, що ЕІО призводить до зниження питомого опору та підвищення проникності клітини, що є підтвердженням нашого висновку стосовно структурних змін, що зазнала тканина цукрового буряку. В результаті чого можна зробити висновок, що після визначення ступеня плазмолізу тканини цукрового буряку в залежності від зміни питомого опору, при різних режимах ЕІО (рис. 3), елекрогідралічне оброблення в режимі з напругою 35 кВ та кількості розрядів 7...10 дозволяє збільшити проникність тканини та досягти ступеня плазмолізу в межах 53...98 % та збільшити проникність тканини.

Свідченням цього є зниження питомого опору бурякової тканини та збільшення її електропровідності.

Кінцеве значення ступеня плазмолізу тканини та питомого опору суттєво залежить від кількості розрядів.

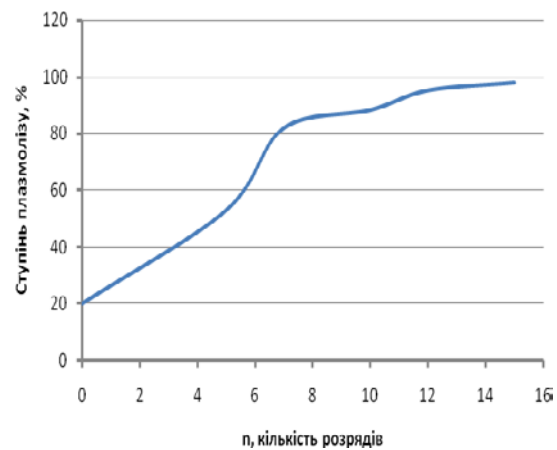


Рис. 4. - Зміна ступеня плазмолізу тканини цукрового буряку при ЕІО від кількості розрядів

Сокостружкова суміш і дифузійний сік є поживним середовищем для різних видів мікроорганізмів. Згідно літературних джерел [20] за рахунок мікроорганізмів втрати цукру можуть складати до 13 % від маси цукрози, що надійшла з буряками.

Відомо, що елекрогідралічне оброблення дифузійного соку [21] при напрузі розряду 30 кВ та чотирьох розрядах зменшує мікробіологічне забруднення в середньому на 88 %.

Як відомо, для зменшення мікробіологічної забрудненості в бурякоцукровому виробництві використовують технічний формалін, який є токсичною речовиною і негативно впливає на технологічні процеси.

Нами було проведено ряд досліджень впливу ЕІО на мікрофлору сокостружкової суміші при встановленій напрузі розряду 35 кВ [22].

Аналіз отриманих результатів показав, що у контрольних пробах сокостружкової суміші спостерігається наявність життєдіяльності всього спектру мікрофлори – бактерії, мікроміцети та

дріжджі. Електроіскрове оброблення сокостружкової суміші в режимі з напругою $U=35$ кВ та кількості розрядів 5 призводить до часткової інактивації деяких видів мікроміцетів та бактерій, при цьому кількість мікроорганізмів зменшилась в середньому на 50 % порівняно з контролем.

Збільшення кількості розрядів в діапазоні від 7 до 10 зменшує життєдіяльність мікроорганізмів в межах 71...87 % порівняно з контролем, при чому чутливими до дії ЕЮ виявилися вегетативні клітини бактерій, дріжджів, міцеліальних грибів.

Проведені дослідження показали принципову можливість і доцільність використання електричного розряду для зменшення контамінаційної мікрофлори сокостружкової суміші.

Висновки

1. В результаті досліджень вплив режимів ЕЮ на розклад цукрози, як основної складової дифузійного соку не виявлено руйнуючої дії електрогідралічного ефекту на цукрозу. Висунуто гіпотезу, що пояснює збільшення електропровідності та зниження pH_{20} середовища.

2. Встановлено, що раціональним режимом ЕЮ сокостружкової суміші, при якому досягається приріст чистоти дифузійного соку до 1,2 %, є напруга 35 кВ та кількість розрядів 7...10. При цьому візуальне вивчення змін, що відбуваються в клітині внаслідок електрогідралічного ефекту, дозволяє зробити висновок про денатурацію цитоплазми, розпад її на крупні суспендовані частинки.

3. Показано, що внаслідок структурних змін в клітині після ЕЮ сокостружкової суміші досягається збільшення проникності тканини та ступеня плазмолізу в межах 53...98 %.

4. Доведено, що внаслідок ЕЮ при вибраних раціональних режимах має місце зменшення кількості контамінуючої мікрофлори в середньому на 71...87 % порівняно з контролем, наслідком чого є зменшення втрат цукрози.

Список літератури

1. **Василів, В. П.** / Дослідження впливу електроіскрових розрядів на властивості соків цукрового виробництва / **В. П. Василів, І. С. Гулій, А. І. Українець** // *Харчова промисловість*. – 2001. – № 1(46). – С. 41 – 43.
2. **Святненко, Р. С.** Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів / **Р.С. Святненко., А. І. Маринін., О. В. Кочубей-Литвиненко** // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2017. – Вип. 1(96). – С. 125–130.
3. **Святненко, Р. С.** Дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на органолептичні показники незбираного молока / **Р.С. Святненко., А. І. Маринін., О. В. Кочубей-Литвиненко., М. І. Бойко** // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Житомирського*. – 2017. – Т. 19, № 75. – С. 157-160.

4. **Святненко, Р. С.** Влияние импульсного электромагнитного поля на жизнеспособность *Escherichia coli* в модельном растворе молочной сыворотки / **Р.С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, В. Б. Захаревич** // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Житомирського*. – 2016. – Т. 18. №. 2-3 (68). – С. 92.
5. **Святненко, Р. С.** Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia Coli* в модельному розчині води / **Р. С. Святненко, А. І. Маринін, А. І. Українець, О. В. Кочубей-Литвиненко** // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. – 2016. – №252. – С. 185-191.
6. **Meneses, N.** Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field. *Innov* / **N. Meneses G. Saldana, H. Jaeger., J. Raso., I. Alvarez., G. Cebrian** // *Food Sci. Emerg. Technol.* – 2013. – №20. – P. 126 – 132. – doi: 10.1016/j.ifset.2012.12.009.
7. **Tiwari, B. K.** Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices / **В.К. Tiwari С.Р. O'Donnell, P.J. Cullen** // *Trends in Food Science and Technology*. – 2009. – 20. – P. 137 – 145. – doi: 10.1016/j.tifs.2009.01.058.
8. **Fojt, L.** Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans* / **L. Fojt, L. Strásák, V. Vetterl** // *Bioelectrochemistry*. – 2007. – №70(1). – P. 91 – 95. – doi: 10.1016/j.bioelechem.2006.03.023.
9. **Wouters, P. I.** Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing / **Wouters, P. I. Alvarez, I. Raso** // *Trends Food Sci. Technol.* – 2001. – №12. – P.112–121. – doi: 10.1016/S0924-2244(01)00067-X.
10. **Bendicho, S.** Reduction of protease activity in simulated milk ultrafiltrate by continuous flow high intensity pulsed electric field treatments / **S. Bendicho, G. V. Barbosa-Canovas, O. Martín** // *Food Sci.* – 2003. – №68. – P. 952 – 957. – doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73649-2.
11. **Sviatnenko, R. S.** Vplyv impulsnykh elektrychnykh poliv na sklad i vlastyvoli nezbyranoho moloka / **R. S Sviatnenko, O. V. Kochubei-Lytyynenko, A. I. Marynin** // *Naukovi pratsi «NUKht»*. – 2016. – Т. 22. – №. 4. – С. 246.
12. **Ушаков, В. Я.** Импульсный электрический пробой жидкостей / **В.Я. Ушаков**. – Томск: изд. Томского ун-та, 1975. – 256 с.
13. До питання електрогідралічного оброблення сировини рослинного походження / **А. І. Маринін, В. В. Олішевський, В. П. Василів [та ін.]** // *Сучасні технології хімічних та харчових виробництв: І всеукраїнська конференція студентів та аспірантів*, 26–29 травня 2008 р. Дніпропетровськ: тези доповідей. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 23.
14. **Гулій, Г. А.** Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах / **Г. А. Гулій, П. П. Малюшевский**. – К.: Наукова думка, 1977. – 174 с.
15. **Василів, В. П.** Розроблення та застосування способу електрогідралічної інтенсифікації процесів харчових виробництв: Автореф. канд. ... техн. наук: спец. 05.18.12 / **В.П. Василів**; Нац. ун-т. харч. технологій – К.: НУХТ, 2005. – 20 с.
16. **Архипович, Н. А.** Общая технология сахаристых веществ / **Н. А. Архипович**. – К.: Выща школа, 1970. – 519 с.

17. Генератор импульсных токов ГИТ 50 – 5×1/4С УХЛ4. Паспорт АТКИ 435311.089 – 03 ПС. Проектно-конструкторское бюро электрогидравлики АН УССР. Николаев: – 1987.
18. **Василів, В. П.** Розроблення та застосування способу електрогидравлічної інтенсифікації процесів харчових виробництв: Автореф. канд. ... техн. наук: спец. 05.18.12 / **В. П. Василів**; Нац. ун-т. харч. технологій – К.: НУХТ, 2005. – 20 с.
19. **Рогов, И. А.** Физические методы обработки пищевых продуктов / **И. А. Рогов, А. В. Горбатов.** – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 584 с.
20. Влияние электрогидравлического эффекта на плазмолиз стружки сахарной свеклы / **А. И. Маринин, А. И. Украинец, Ю. А. Дашковський [и др.]** // *Импульсные процессы в механике сплошных сред: Материалы VII Международной научной школы-семинара*, 21–25 августа, 2007 г., Николаев: тезисы докл. – Н., 2007. – С. 154–156.
21. Інтенсифікація процесу плазмолізу бурякової стружки за допомогою електрогидравлічного ефекту / **А. І. Маринін, А. І. Українець, Ю. О. Дашковський [та ін.]** // *Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: V міжнар. наук.-техн. конф.*, 12–14 вересня 2007 р., Святогірськ: тези доп. – Д., 2007. – С. 28–29.
22. Дослідження впливу електричних розрядів та температури екстрагування на якісні показники дифузійного соку / **А. І. Маринін, А. І. Українець, Ю. О. Дашковський [та ін.]** // *Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка: міжнар. наук.-техн. конф.*, 2009 р., Святогірськ: тези доп. – Д., 2009. – С. 37–39.
7. **Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Cullen, P. J.** Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science and Technology*, 2009, **20**, 137 – 145, doi: 10.1016/j.tifs.2009.01.058.
8. **Fojt, L., Strasák, L., Vetterl, V.** Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans*. *Bioelectrochemistry*, 2007, **70**(1), 91 – 95, doi: 10.1016/j.bioelechem.2006.03.023.
9. **Wouters, P. I., Raso Alvarez, I.** Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 2001, **12**, 112–121, doi: 10.1016/S0924-2244(01)00067-X.
10. **Bendicho, S., Barbosa-Canovas, G.V., Martin, O.** Reduction of protease activity in simulated milk ultrafiltrate by continuous flow high intensity pulsed electric field treatments. *Food Sci.*, 2003, **68**, 952 – 957, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73649-2.
11. **Sviatnenko, R. S., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Marynin, A. I.** Vplyv impulsnykh elektrichnykh poliv na sklad i vlastyvoli nezbyranoho moloka. *Naukovi pratsi «NUKht*, 2016, **22**, 4, 246.
12. **Ushakov, V. Ya.** Impul'snyy elektricheskiy probay zhidkostey. Tomsk: izd. Tomskogo un-ta, 1975, 256 s.
13. Do pytannia elektrohivavlichnoho obroblenia syrovyny roslynnoho pokhodzhennia / **А. І. Маринін, V. V. Olishevskiy, V. P. Vasyliv [та ін.]**. *Suchasni tekhnologii khimichnykh ta kharchovykh vyrobnytstv: I vseukrainska konferentsiia studentiv ta aspirantiv*, 26–29 travnia 2008, Dnipropetrovsk: tezy dopovidei, Dnipropetrovsk, 2008, S. 23.
14. **Gulyiy, G. A., Malyshevskiy, P. P.** Vyisokovoltnyy elektricheskiy razryad v silovyih impulsnyih sistemah. K.: Naukova dumka, 1977, 174 s.
15. **Vasyliv, V. P.** Rozroblennia ta zastosuvannia sposobu elektrohivavlichnoi intensyfikatsii protsesiv kharchovykh vyrobnytstv: Avtoref. kand. ... tekhn. nauk: spets. 05.18.12 V.P. Vasyliv; Nats. un-t. kharch. tekhnologii K.: NUKht, 2005, 20 s.
16. **Arhipovich, N. A.** Obschaya tehnologiya saharistyyih veschestv. K.: Vyischa shkola, 1970, 519.
17. Generator impulsnykh tokov 50 – 5□14С УХЛ4 Passport АТКИ 435311.089 – 03 ПС. Проектно-конструкторское byuro elektrogidravliki АN USSR. Николаев: – 1987.
18. **Vasyliv, V. P.** Rozroblennia ta zastosuvannia sposobu elektrohivavlichnoi intensyfikatsii protsesiv kharchovykh vyrobnytstv: Avtoref. kand. ... tekhn. nauk: spets. 05.18.12 V.P. Vasyliv; Nats. un-t. kharch. tekhnologii K.: NUKht, 2005, 20 s.
19. **Rogov, I. A., Gorbatov, A. V.** Fizicheskie metody obrabotki pischevyyih produktov. M.: Pischevaya promyshlennost, 1974, 584 s.
20. Vliyanie elektrogidravlicheskogo efekta na plazmoliz struzhki saharoy svekly / **А. І. Маринін, А. І. Українець, Ю. А. Дашковський [и др.]**. *Impul'snyie protsessyi v mehanike sploshnyih sred: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy shkolyi-seminara*, 21–25 avgusta, 2007, Nikolaev: teziyi dokl, N., 2007, 154–156.
21. Інтенсифікація процесу плазмолізу бурякової стружки за допомогою електрогидравлічного ефекту / **А. І. Маринін, А. І. Українець, Ю. О. Дашковський [та ін.]**. *Aktualni problemy kharchuvannia: tekhnologii ta obladnannia*,

Bibliography (transliterated)

1. **Vasyliv, V. P., Hulyi, I. S., Ukrainets, A. I.** Doslidzhennia vplyvu elektroiskrovykh rozriadiv na vlastyvoli sokiv tsukrovoho vyrobnytstva. *Kharchova promyslovist*, 2001, **1**(46), 41 – 43.
2. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V.** Vyvchennia vplyvu elektrofizychnykh metodiv obrobky na mikrobiolohichni pokaznyky kharchovykh produktiv. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2017, **1**(96), 125–130.
3. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Boiko, M. I.** Doslidzhennia vplyvu impulsnykh elektromahitnykh poliv na orhanoleptychni pokaznyky nezbyranoho moloka. *Naukovi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynaroi medytsyny ta biotekhnologii imeni SZ Gzhytskoho*, 2017, **19**, 75, 157-160.
4. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Zakharevych, V. B.** Vlyianye ympulsnoho elektromahytnoho polia na zhyznesposobnost *Escherichia coli* v modelnom rastvore molochnoi syvorotky. *Naukovi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynaroi medytsyny ta biotekhnologii imeni SZ Gzhytskoho*, 2016, **18**, 2-3 (68), 92.
5. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Ukrainets, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V.** Vplyv impulsnoho elektromahytnoho polia na zhyttiezdatnist *Escherichia Coli* v modelnomu rozchyni vody. *Naukovi visnyk NUBiP Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK*, 2016, **252**, 185-191.
6. **Meneses, N., Saldana, G., Jaeger, H., Raso, J., Alvarez, I., Cebrian, G.** Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2013, **20**, 126 – 132, doi: 10.1016/j.ifset.2012.12.009.

orhanizatsiia i ekonomika: V mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 12–14 veresnia 2007 r., Sviatohirsk: tezy dop, D., 2007, 28–29.

22. Doslidzhennia vplyvu elektrychnykh rozriadiv ta temperatury ekstrahuvannia na yakisni pokaznyky

dyfuziinoho soku / **A. I. Marynin, A. I. Ukrainets, Yu. O. Dashkovskiy** [ta in.]. *Aktualni problemy kharchuvannia: tekhnolohiia ta obladdannia, orhanizatsiia i ekonomika: mizhnar. nauk.-tekhn. konf.*, 2009, Sviatohirsk: tezy dop, D., 2009, 37–39.

Відомості про авторів

Дашковський Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; email: Svyatnenko@i.ua.

Yurii Dashkovskiy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; email: Svyatnenko@i.ua.

Маринін Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Andrii Marynin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

Прохоренко Жанна Іванівна - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Zhanna Prokhorenko - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

Українець Анатолій Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

Anatoliy Ukrainets – Doctor of technical science, Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Дашковський, Ю. О. Вплив електроіскрових розрядів на властивості та якісні показники сокостружкової суміші / **Ю. О. Дашковський, А. І. Маринін, Ж. І. Прохоренко, А. І. Українець** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 55-60. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.32.

Please cite this article as:

Dashkovskiy, Y., Marinin, A., Prokhorenko, J., Ukrainets, A. Influence of electrical discharges on properties and quality indicators of socorative mixture. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 55-60, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.32.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Дашковский, Ю. А. Влияние электроискровых разрядов на свойства и качественные показатели сокостружковой смеси / **Ю. А. Дашковский, А. И. Маринин, Ж. И. Прохоренко, А. И. Украинец** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 55-60. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.32.

АННОТАЦИЯ На сегодняшний день в пищевой и перерабатывающей промышленности все больше находят применение электрофизические методы обработки пищевых продуктов и полупродуктов, одним из которых является электрогидравлическая обработка (ЭГО). В Проблемной научно-исследовательской лаборатории Национального университета пищевых технологий были проведены экспериментальные исследования с целью изучения действия влияния электрогидравлического обработки (ЭГО) на качественные показатели сокостружковой смеси. Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, разработанную специалистами НУХТ. Во время исследования было установлено эффект повышения чистоты диффузионного сока, повышение степени плазмолizu клеток сахарной свеклы по сравнению с контролем, Установлено, что при росте количества разрядов до 7 ... 10 уменьшается жизнедеятельность микроорганизмов в пределах 71 ... 87% по сравнению с контролем, причем чувствительными к обеззараживающего действия электрогидравлического эффекта оказались вегетативные клетки бактерий, дрожжей, мицелиальных грибов, следствием чего является уменьшение потерь сахарозы.

Ключевые слова: электрогидравлическая обработка (ЭГО) диффузный сок; сахарная свекла; контаминирующая микрофлора.

Надійшла 30.06.2018

УДК 664.8.037.5:634.75

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.33

ЗМІНИ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗАМОРОЖЕНИХ ЯГІД СУНИЦІ ЗА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ В РОЗЧИНАХ ЗІ СТРУКТУРОУТРИМУЮЧИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

I. Л. ЗАМОРСЬКА

кафедра технології зберігання і переробки плодів та овочів, Уманський національний університет садівництва,
м. Умань, УКРАЇНА
zil197608@gmail.com

АНОТАЦІЯ Досліджено зміни основних компонентів хімічного складу заморожених ягід суниці за попередньої обробки в розчинах зі структуроутримуючими властивостями: 1, 2 та 3 %-ного розчину картопляного крохмалю та 1 і 2 %-ного цукрово-пектинових розчинів. Встановлено, що попередня обробка ягід суниці перед заморожуванням в розчинах зі структуроутримуючими властивостями сприяла зменшенню втрат основних компонентів хімічного складу ягід: сухих розчинних речовин – на 0,9–1,2 %, цукрів – на 0,1–0,7 %, аскорбінової кислоти – на 13 % під час заморожування та на 4,4–7,6 % впродовж зберігання.

Ключові слова: заморожування; суниця; розчин; зберігання; хімічний склад

CHANGE OF THE MAIN COMPONENTS OF A CHEMICAL COMPOSITION OF FROZEN STRAWBERRIES UNDER PREVIOUS TREATMENT IN SOLUTIONS WITH STRUCTURE-RETAINING PROPERTIES

I. ZAMORSKA

department of technology storage and processing of fruits and vegetables, Uman national university of horticulture, Uman, UKRAINE

ABSTRACT The objective of the research lies in the study of the main indices of the chemical composition of strawberries during freezing and storage under its previous treatment in solutions with structure-retaining properties. The main indices of the chemical composition of strawberries during freezing and a six-month storage under previous treatment in the solutions with structure-retaining properties were studied, namely in 1 %, 2 % and 3 % solutions of potato starch and 1 % and 2 % sugar-pectin solution. The main components of the chemical composition were identified. The content of soluble solids was determined using refractometer, sugar content was measured by means of ferricyanide method, organic acids were identified by alkali titration, ascorbic acid content was determined by iodometric method.

It has been found that during freezing and storage of frozen strawberries there are losses of the main components of chemical composition, the amount of which considerably depends on the type and concentration of the solution for treatment.

Application of the previous treatment of strawberries before freezing helps to retain the main components of chemical composition of strawberries during freezing and storage. Losses of soluble solids of previously treated strawberries during freezing were by 0,9 – 1,2 % lower compared to control. Sugar content went down to 1,8 – 3,3 % as the result of freezing. Previous treatment of berries before freezing promotes their preservation by 0,1-0,7 %. Organic acids content in strawberries remained practically unchanged. Ascorbic acid content during freezing of strawberries suffered essential losses that made up 43,8 – 50,3 % under the lowest in the sample that were previously treated in 2 % sugar-pectin solution and by 13 % lower than in control. During storage the losses of ascorbic acid in strawberries without previous treatment were by 4,4 – 7,6 % higher.

Keywords: freezing; strawberry; solution; storage; chemical composition

Вступ

Останнім часом існує певний дисбаланс в структурі харчування населення, що викликаний нестачею в раціоні незамінних мікронутрієнтів, запобігти якому можна цілорічним споживанням плодоовочевої продукції, особливий дефіцит якої спостерігається у зимово-весняний період. Проте, на плодоовочевому ринку існує чітко виражена сезонність виробництва, що поєднується з короткими термінами зберігання продукції.

Швидке заморожування – найефективніший спосіб консервування, що дозволяє максимально зберегти вихідні споживні властивості овочів та фруктів внаслідок гальмування біохімічних і мікробіологічних процесів в рослинних тканинах.

В процесі заморожування тепло від об'єкта швидко відводиться до джерела холоду, що супроводжується різким зниженням температури та переходом вологи в рослинних тканинах з рідкого до твердого стану зі сповільненням метаболізму і росту мікрофлори.

Заморожування сприяє розширенню географії споживання плодів та овочів і продовжує термін споживання швидкопсувної продукції.

Привабливість для споживача швидкозамороженої плодоовочевої продукції зумовлена її відповідністю вимогам «здорового» харчування та зручністю використання [1].

Постановка проблеми

Незважаючи на позитивний вплив заморожування, харчова і біологічна цінність

продукції відрізняється від свіжої, що спричинено порушенням структури рослинних тканин та високою активністю ферментів [2].

Зміни рослинних тканин після дефростації зумовлені розміром кристалів льоду, що утворюються в процесі заморожування, їхнім розподілом у заморожених тканинах та характером ушкоджень кристалами структурних елементів тканин [1].

Під час заморожування відбувається гальмування ферментативної активності, проте повної інактивації ферментів не відбувається, що спричиняє зміну кольору продукції [2].

Заморожені ягоди суниці користуються значним попитом на світовому та українському ринках [3]. Проте, їхня якість не завжди задовольняє вимоги споживачів через погіршення органолептичних властивостей, зокрема негативні зміни гістологічної структури тканин.

Для запобігання небажаним змінам якості ягід суниці розроблено способи їхньої попередньої обробки перед заморожуванням, що полягають у застосуванні розчинів з антиоксидантними або зневоднюючими властивостями з утворенням нерозчинних комплексних сполук з речовинами продукту [4].

Так, задля збереження якості ягід суниці рекомендовано застосовувати водні витяжки з кори дуба, берези, трави звіробою та настою зеленого чаю, що мають в'язучі, антисептичні та антиокиснювальні властивості та сприяють збереженості аскорбінової кислоти в ягодах суниці під час заморожування на рівні 60 % [5].

Відомо про високі антиоксидантні властивості розчинів аскорбінової кислоти та їхню позитивну роль у збереженості фенольних сполук ягід суниці [6].

Задля збереження споживних властивостей ягід суниці запропоновано їхню попередню обробку в розчинах сахарози [7]. Доведено, що сахароза запобігає формуванню бурого відтінку у заморожених ягід, протягом декількох років зберігання в морозильній камері, що зумовлено гальмуванням діяльності ферментів 3-глюкозидази та поліфенолоксидази [8].

Доведена висока ефективність попередньої обробки суниці перед заморожуванням у розчинах хлориду кальцію (CaCl_2) та пектинової метилстерази для стабілізації структурних тканин та гальмування фізико-хімічних процесів в ягодах [8–10].

Ефективним способом запобігання втратам маси під час заморожування та низькотемпературного зберігання, повному руйнуванню структури тканин під час заморожування є попередня обробка ягід суниці у 0,3 % розчині гуарової камеди [11].

Мета роботи

Дослідження змін основних показників хімічного складу ягід суниці під час заморожування та впродовж зберігання за попередньої обробки в розчинах зі структуроутримуючими властивостями.

Матеріали та методи

Об'єкт дослідження – ягоди суниці сорту Дукач. Ягоди суниці готували до заморожування згідно чинної технологічної інструкції на виробництво заморожених плодів та ягід.

Підготовлені ягоди обробляли зануренням в розчин крохмалю картопляного 1, 2, 3 %-ної концентрації; цукрово-пектиновий розчин 1, 2 %-ної концентрації. Після обробки ягоди підсушували та заморожували розсипом у морозильній камері за температури мінус $30 \pm 1^\circ\text{C}$, фасували у поліетиленові пакети масою до 500 г, герметизували і зберігали протягом шести місяців за температури мінус $18 \pm 1^\circ\text{C}$.

Якість готової продукції оцінювали за змінами основних компонентів хімічного складу:

- сухих розчинних речовин – рефрактометрично за ГОСТ 28562;
- цукрів – фериціанідним методом за ДСТУ 4954;
- органічних кислот – титруванням лугом за ДСТУ 4957;
- вміст аскорбінової кислоти – йодометричним методом за ГОСТ 24556.

Повторність дослідів триразова.

Статистичну обробку здійснювали за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Обговорення результатів

Дослідженнями встановлені зміни хімічного складу ягід суниці під час заморожування та впродовж зберігання протягом шести місяців, що полягають у поступовому зниженні вмісту основних компонентів хімічного складу, розмір яких істотно залежав від виду розчину для обробки та його концентрації.

Так, вміст сухих розчинних речовин знизився на 0,1–1,3 % під час заморожування за неістотного їхнього зростання на шостий місяць зберігання (рис. 1).

Застосування попередньої обробки ягід суниці перед заморожуванням сприяло стабілізації вмісту сухих розчинних речовин в ягодах.

Під час заморожування втрати сухих речовин ягід суниці за попередньої обробки були на 0,9–1,2 % нижчими проти контролю.

Істотно нижчі втрати спостерігалися у варіанті з обробкою розчиною крохмалю з концентрацією 3 % та цукрово-пектиновим розчином з концентрацією 2 %.

Вміст цукрів в дослідних зразках суниці зазнав аналогічних змін (рис. 2), що спричинено дією від'ємних температур.

В результаті заморожування втрати цукрів склали 1,8–3,3 %, залежно від варіанту попередньої обробки, що зумовлено витратами моносахаридів в процесі дихання, активність якого висока на етапі заморожування та після дефростації через активізацію ферментативного окислення моносахаридів.

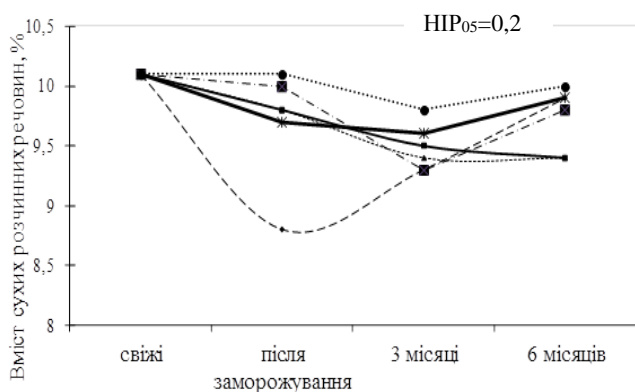


Рис. 1 – Вміст сухих розчинних речовин в ягодах суниці сорту Дука́т залежно від попередньої обробки та тривалості зберігання, %:

- без обробки (контроль);
- 1 % р-н крохмалю;
- - 2 % р-н крохмалю;
- · - 3 % р-н крохмалю;
- · · 1 % цукрово-пектиновий р-н;
- 2 % цукрово-пектиновий р-н

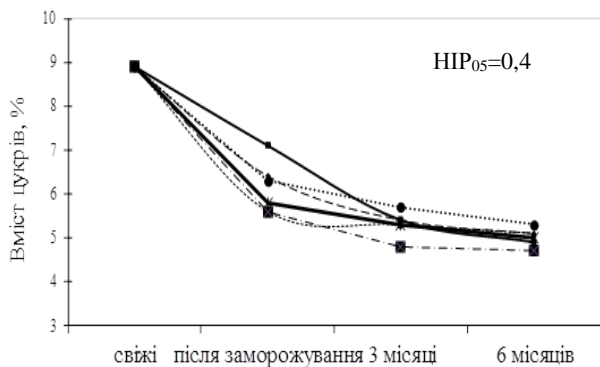


Рис. 2 – Вміст цукрів в ягодах суниці сорту Дука́т залежно від попередньої обробки та тривалості зберігання, %:

- без обробки (контроль);
- 1 % р-н крохмалю;
- - 2 % р-н крохмалю;
- · - 3 % р-н крохмалю;
- · · 1 % цукрово-пектиновий р-н;
- 2 % цукрово-пектиновий р-н

Високі втрати цукрів встановлено у зразках з обробкою 2 та 3 %-ним розчином крохмалю, що, очевидно, зумовлено більш швидкими темпами інверсії сахарози та витрат моносахаридів. Натомість, за обробки у 1 %-ному розчині крохмалю вони були нижчими проти контролю на 0,7 %. Неістотні втрати цукрів впродовж заморожування спостерігалися у варіанті за обробки ягід суниці у 2 %-ному цукрово-пектиновому розчині.

Протягом перших трьох місяців зберігання масова концентрація цукрів в ягодах знизилася на 0,3–1,7 %, від їхнього вмісту одразу після заморожування, а за наступних трьох – ще на 0,1–0,5 %.

За попередньої обробки в цукрово-пектинових розчинах втрати цукрів протягом зберігання не перевищили значення 0,5–0,6 % протягом перших трьох місяців зберігання та 0, % - в наступні.

Попередня обробка ягід перед заморожуванням сприяла зниженню втрат цукрів на 0,1–0,7 %, залежно від виду розчину для обробки та його концентрації.

Вміст органічних кислот в ягодах суниці в результаті заморожування практично залишився без змін (рис. 3), що свідчить про захисну роль попередньої обробки для збереженості органічних кислот. На 0,1 % знизився рівень органічних кислот на контролі та за попередньої обробки ягід суниці в 1 %-ному цукрово-пектиновому розчині.



Рис. 3 – Вміст органічних кислот в ягодах суниці сорту Дука́т залежно від попередньої обробки та тривалості зберігання, %:

- без обробки (контроль);
- 1 % р-н крохмалю;
- - 2 % р-н крохмалю;
- · - 3 % р-н крохмалю;
- · · 1 % цукрово-пектиновий р-н;
- 2 % цукрово-пектиновий р-н

Впродовж зберігання заморожених ягід суниці спостерігалися втрати органічних кислот на 0,1–0,3 %, з поступовим зростанням їхнього вмісту до кінця періоду зберігання. Найнижчі втрати органічних кислот (0,1%) встановлено за обробки ягід суниці у 2 %-ному цукрово-пектиновому розчині, проте такий результат неістотно відрізнявся від контролю.

На шостий місяць зберігання заморожених ягід суниці вміст в них органічних кислот дещо підвищився, що зумовлено їхнім додатковим утворенням внаслідок метаболізму.

В цілому, чіткої залежності розміру втрат органічних кислот суниці від попередньої обробки ягід перед заморожуванням не виявлено.

Вміст аскорбінової кислоти під час заморожування ягід суниці зазнав істотних втрат – 43,8–50,3 % (рис. 4), за найнижчих у зразку ягід, що були попередньо оброблені в 2 %-ному цукрово-пектиновому розчині – на 13 % нижче проти контролю.

Втрати аскорбінової кислоти зумовлені її перетворенням під дією ферменту аскорбінаоксидази в нестійку дегідроаскорбінову форму, що швидко втрачає вітамінну активність без участі каталізаторів.

Впродовж зберігання замороженої суниці вміст аскорбінової кислоти в них поступово знижувався, проте темпи втрат були не такими значними.

Так, протягом трьох місяців зберігання ягід суниці в замороженому стані втрати аскорбінової кислоти встановлено на рівні 4,6–12,3 % від їхнього вмісту одразу після заморожування. Ягоди суниці, що були заморожені без попередньої обробки мали найвищі втрати аскорбінової кислоти – 12,3 %.

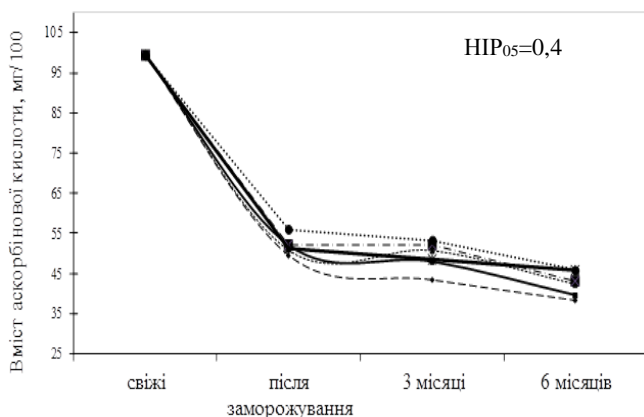


Рис. 4 – Вміст аскорбінової кислоти в ягодах суниці сорту Дукат залежно від попередньої обробки та тривалості зберігання, мг/100 г:

— без обробки (контроль); - - - - 1 % р-н крохмалю;
 - - - 2 % р-н крохмалю; - · - · 3 % р-н крохмалю;
 - · - · 1 % цукрово-пектиновий р-н; — 2 % цукрово-пектиновий р-н

Слід відмітити, що в результаті попередньої обробки ягід суниці в 2,3 %-них розчинах крохмалю втрати аскорбінової кислоти були неістотними, що зумовлено значною товщиною плівки на поверхні ягід, що сприяла зменшенню втрат.

Ще через три місяці зберігання заморожених ягід суниці втрати аскорбінової кислоти зросли до рівня 5,7–16,5 % від попереднього вмісту, що пояснюється тривалою дією низьких температур.

В цілому, в ягід суниці, що були заморожені без попередньої обробки втрати аскорбінової кислоти впродовж трьох місяців зберігання були вищими на 4,4–7,6 %, тоді як на кінець зберігання така тенденція не була чітко вираженою.

Загальні втрати аскорбінової кислоти впродовж заморожування та зберігання ягід суниці склали 54–62 %, залежно від варіанту дослідження. Застосування попередньої обробки ягід суниці перед зберіганням сприяло зниженню втрат аскорбінової кислоти на 1–7 %.

Висновки

Таким чином, попередня обробка ягід суниці перед заморожуванням в розчинах зі структуроутримуючими властивостями сприяла зменшенню втрат основних компонентів хімічного складу. Втрати сухих розчинних речовин були нижчими на 0,9–1,2 %, цукрів – 0,1–0,7 % та аскорбінової кислоти – на 13 % під час заморожування та на 4,4–7,6 % впродовж зберігання.

Впровадження отриманих результатів наукових досліджень у виробництво сприятиме поліпшенню якості заморожених ягід суниці та підвищенню їхньої конкурентоспроможності на вітчизняному та світовому ринках. Важливим є удосконалення способів попередньої обробки ягід суниці перед заморожуванням, що дозволяють максимально запобігти втратам основних компонентів хімічного

складу замороженої плодово-ягідної продукції, що зумовлює перспективи подальших досліджень автора.

Список літератури

1. Орлова, Н. Я. Управління безпечністю та якістю швидкозамороженої плодовоовочевої продукції: монографія / Н. Я. Орлова, С. О. Белінська. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. – 196 с.
2. Осокіна, Н. М. Зміни якісних показників заморожених плодів чорної смородини / Н. М. Осокіна // Наукові доповіді національного аграрного університету. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nd/2006-4/06onmtcc.html>.
3. Пирожок, О. Рынок ягод в Украине: рекордный экспорт и растущая ликвидность / О. Пирожок [Електронний ресурс]. URL: <http://landlord.ua/rynok-yagod-v-ukraine/>
4. Орлова, Н. Я. Заморожені плодовоовочеві продукти: проблеми формування асортименту та якості / Н. Я. Орлова, С. О. Белінська. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т. – 2005. – 336 с.
5. Орлова, Н. Ефективні способи стабілізації харчової та біологічної цінності замороженої плодовоовочевої продукції / Н. Орлова, С. Белінська // Харчова і переробна промисловість. – 2002. – № 3. – С. 247–256.
6. Oszmiański, J. Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze-thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries / J. Oszmiański, A. Wojdyło, J. Kolniak // LWT-Food Science and Technology. – 2009. – №42(2). – P. 581–586. – doi: 10.1016/j.lwt.2008.07.009.
7. Грибова, Н. А. Осмотическая обработка ягодной продукции перед замораживанием / Н. А. Грибова, Б. А. Баранов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – №10. – С. 17–20.
8. Wrolstad, R. E. Influence of Sugar on Anthocyanin Pigment Stability in Frozen Strawberries / R. E. Wrolstad, G. Skrede, P. Lea, G. Enersen // Journal of Food Science. – 1990. – №55(4). – 1064–1065. – doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01598.x.
9. Suutarinen, J. The effect of CaCl₂ and PME prefreezing treatment in a vacuum on the structure of strawberries / J. Suutarinen, K. Honkapää, K. Autio, M. Morkkila // In IV International Strawberry Symposium 567. – 2000. – P. 783–786. – doi: 10.17660/ActaHortic.2002.567.173
10. Suutarinen, J. The effects of calcium chloride and sucrose prefreezing treatments on the structure of strawberry tissues / J. Suutarinen, K. Heiska, P. Moss, K. Autio // LWT-Food Science and Technology. – 2000. – №33(2). – P. 89–102. – doi: 10.1006/fstl.1999.0616.
11. Suutarinen, J. The effect of different prefreezing treatments on the structure of strawberries before and after jam making / J. Suutarinen, K. Honkapää, R. L. Heiniö [at al.] // LWT-Food Science and Technology. – 2000. – № 33(3). – P. 188–201. – doi: 10.1006/fstl.2000.0638.
12. Белінська, С. Оцінка структурно-механічних властивостей швидкозамороженої плодовоовочевої продукції / С. Белінська // Харчова та переробна промисловість. – 2008. – №11. – С. 23–25.
13. Методические указания по проведению исследований с быстрозамороженными плодами, ягодами и овощами. М.: ВАСХНИЛ. – 1984. – 25 с.

Bibliography (transliterated)

1. Orlova, N. Ya., Belins'ka, S. O. Upravlinnia bezpechnistiu ta iakistiu shvydkozamorozhenoi

- plodoovochevoi produkcii [Management of safety and quality sveconorwegian fruits and vegetables], Kyiv, National University of Trade and Economics, 2013, 196.
2. **Osokina, N. M.** Zminy` yakisny`x pokazny`kiv zamorozheny`x plodiv chornoyi smorody`ny` [Changes of quality indicators of frozen black currant]. [Elektronny`j resurs]. Available at: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nd/2006-4/06onmtcc.html>.
 3. **Pirozhok, O.** Rynok jagod v Ukraine: rekordnyj jeksport i rastuwaja likvidnost' [Market of berries in Ukraine: record export and growing liquidity]. [Elektronnij resurs]. – Available at: <http://landlord.ua/rynok-yagod-v-ukraine/>
 4. **Orlova, N. Ya., Belins`ka S. O.** Zamorozheni plodoovochevi produkty: problemy` formuvannya asorty`mentu ta yakosti [Frozen fruit and vegetable produce: problems of creating assortment and quality]. *K.: Ky`yiv. nacz. torg.-ekon. un-t*, 2005, 336.
 5. **Orlova, N., Belinska, S.** Efektyvni sposoby stabilizatsiyi kharchovoyi ta biolohichnoyi tsinnosti zamorozhenoyi plodoovochevoyi produkciyi [Effective ways to stabilize the nutritional and biological value of frozen fruit and vegetable products]. *Food and processing industry*, 2002, **3**, 247–256.
 6. **Oszmiański, J., Wojdyło, A., Kolniak, J.** Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze–thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, **42**(2), 581–586, doi: 10.1016/j.lwt.2008.07.009.
 7. **Gribova, N. A., Baranov, B. A.** Osmoticheskaja obrabotka jagodnoj produkcii pered zamorazhivaniem [Osmotic treatment of berry produce before freezing]. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*, 2009, **10**, 17–20.
 8. **Wrolstad, R. E., Skrede, G., Lea, P., Enersen, G.** Influence of Sugar on Anthocyanin Pigment Stability in Frozen Strawberries. *Journal of food science*, 1990, **55**(4), 1064–1065, doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01598.x.
 9. **Suutarinen, J., Honkapää, K., Autio, K., Morkkila, M.** The effect of CaCl₂ and PME prefreezing treatment in a vacuum on the structure of strawberries. *In IV International Strawberry Symposium 567*, 2000, 783–786, (abstract), doi: 10.17660/ActaHortic.2002.567.173.
 10. **Suutarinen, J., Heiska, K., Moss, P., Autio, K.** The effects of calcium chloride and sucrose prefreezing treatments on the structure of strawberry tissues. *LWT-Food Science and Technology*, 2000, **33**(2), 89–102, doi: 10.1006/fstl.1999.0616.
 11. **Suutarinen, J., Honkapää, K., Heiniö, R. L., Autio, K., Morkkila, M.** The effect of different prefreezing treatments on the structure of strawberries before and after jam making. *LWT-Food Science and Technology*, 2000, **33**(3), 188–201, doi: 10.1006/fstl.2000.0638.
 12. **Belinska, S.** Ocinka strukturno-mehaničnih vlastivostej shvidkozamorozhenoi plodoovochevoi produkcii [Assessment of structural and mechanical properties of frozen fruit and vegetable products], *Food and processing industry*, 2008, **11**, 23–25.
 13. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju issledovanij s bystrozamorozhennymi plodami, jagodami i ovoshhami [Methodical instructions for conducting researches with frozen fruits, berries and vegetables], 1984, *M.: VASKHNIL*, 25.

Сведения об авторах (About authors)

Заморська Ірина Леонідівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Уманський національний університет садівництва, доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів; м. Умань, Україна; e-mail: zil197608@gmail.com.

Iryna Zamorska – Candidate of Sciences Agry (Ph. D.), Associate Professor, Department of technology storage and processing of fruits and vegetables, Uman national university of horticulture, Uman, Ukraine; e-mail: zil197608@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Заморська, І. Л. Зміни основних компонентів хімічного складу заморожених ягід суниці за попередньої обробки в розчинах зі структуроутримуючими властивостями / **І. Л. Заморська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 61–65. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.33.

Please cite this article as:

Zamorska, I. Change of the main components of a chemical composition of frozen strawberries under previous treatment in solutions with structure-retaining properties. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 61–65, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.33.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Заморская, И. Л. Изменения основных компонентов химического состава замороженных ягод земляники с предварительной обработкой в растворах со структуроудерживающими свойствами / **И. Л. Заморская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 61–65. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.33.

АННОТАЦИЯ Исследованы изменения основных компонентов химического состава замороженных ягод земляники с предварительной обработкой в растворах со структуроудерживающими свойствами: 1, 2 и 3 % -ного раствора картофельного крахмала и 1 и 2 % -ного сахарно-пектинового растворов. Установлено, что предварительная обработка ягод земляники перед замораживанием в растворах со структуроудерживающими свойствами способствовала уменьшению потерь основных компонентов химического состава ягод: сухих растворимых веществ – на 0,9–1,2 %, сахаров – на 0,1–0,7 %, аскорбиновой кислоты – на 13 % при замораживании и на 4,4–7,6 % при хранении.

Ключевые слова: замораживание; земляника; раствор; хранение; химический состав

Поступила (received) 03.07.2018

УДК 541.128.13

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.34

СИНТЕЗ АКРИЛАТІВ З МЕТИЛПРОПІОНАТУ ТА ПРОПІОНОВОЇ КИСЛОТИ НА B_2O_3 - P_2O_5 - ZrO_2/SiO_2 КАТАЛІЗАТОРІ, ПРОМОТОВАНОМУ ОСНОВНИМИ ОКСИДАМИ

В. В. ІВАСІВ^{1*}, З. Г. ПІХ¹, Н. І. ЛАПІЧАК²

¹кафедра технології органічних продуктів, НУ «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА

²Центральна лабораторія, ТОВ "Нестле Україна", Львів, УКРАЇНА

*email: volodymyr.v.ivasiv@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено процес газофазної конденсації метилпропіонату та пропіонової кислоти з формальдегідом із утворенням метакрилової кислоти та метилметакрилату в присутності каталізаторів на основі оксидів бору і фосфору, промотованих сумішшю оксиду цирконію та основного оксиду. Встановлено вплив температури на конверсію, селективність і вихід цільових продуктів. Встановлено, що додавання метанолу підвищує селективність утворення метилметакрилату та сумарний вихід акрилатів.

Ключові слова: метакрилова кислота; метилметакрилат; пропіонова кислота; альдольна конденсація; каталізатор; метилпропіонат; формальдегід.

SYNTHESIS OF ACRYLATES FROM METHYL PROPIONATE AND PROPIONIC ACID ON B_2O_3 - P_2O_5 - ZrO_2/SiO_2 CATALYST PROMOTED BY BASIC OXIDES

V. IVASIV¹, Z. PIKH¹, N. LAPYCHAK²

¹Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

²Central Laboratory, Nestle Ukraine LLC, Lviv, UKRAINE

ABSTRACT This work is devoted to development of the efficient catalysts for the synthesis of methacrylic acid and methyl methacrylate from methyl propionate, propionic acid and formaldehyde, which is one of the important stages of the industrial production of acrylates. The catalysts was developed based on oxides of boron and phosphorus, that were promoted by mixture of zirconium oxide and basic oxide selected from oxides of sodium, potassium, cesium and calcium. The effect of temperature on the conversion of reactants, selectivity and yield of methyl methacrylate and methacrylic acid in the presence of the developed catalysts was determined. It was found that reactants conversion increases with temperature increase, while total acrylates selectivity decreases and total acrylates yield has maximum value at 623–653 K. It was established that the catalyst promoted by sodium oxide has highest total acrylates selectivity, while the catalyst promoted by calcium oxide has highest total acrylates yield. Maximum methyl methacrylate selectivity was obtained on the catalyst promoted by cesium oxide, hence this catalyst was chosen as the best. Also the effect of adding methanol to reactants was determined on this catalyst. It was found that adding methanol increases methyl methacrylate selectivity and total acrylates yield. Optimum conditions were determined to be temperature 623 K and residence time 12 s at which total acrylates yield is 41.0 %.

Keywords: methacrylic acid; methyl methacrylate; propionic acid; aldol condensation; catalyst; methyl propionate; formaldehyde.

Вступ

Акрилати посідають чільне місце в промисловості органічного синтезу. Основна сфера їх використання це виробництво акрилатних полімерів, які завдяки своїм цінними технічним властивостям, таким як прозорість, механічна міцність, пластичність, теплостійкість знайшли застосування в найрізноманітніших сферах людської діяльності. Особливу цінність становлять метилметакрилат (ММА) і метакрилова кислота (МАК), з яких одержують ряд важливих продуктів та напівпродуктів – полімерів, розчинників, пластифікаторів. Співполімери ММА з МАК або акриловою кислотою використовують для виробництва шумоізоляційних та вогнестійких полімерних матеріалів, у косметології. Також акрилати з кожним роком отримують все більше застосування в медицині, у виробництві

пігментних матеріалів та інших галузях. Прогнозоване щорічне зростання виробництва акрилатів і загального обсягу їх споживання на 6,3 %, тому актуальним завданням є розробка і вдосконалення методів одержання акрилатних мономерів для впровадження технології їх виробництва в Україні.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Наявні методи синтезу акрилатів мають ряд недоліків, зокрема, утворення значної кількості побічних продуктів та утворення токсичних відходів виробництва, а також велика кількість стадій процесу [1, 2]. Перспективним є одержання акрилатів методом конденсації карбонільних сполук у газовій фазі, який характеризується малою кількістю побічних

продуктів, відсутністю токсичних відходів та доступністю сировини [3]. Зокрема, конденсацією пропіонової кислоти (ПК) з формальдегідом (ФА) у газовій фазі на твердих каталізаторах можна одержати МАК, а конденсацією метилпропіонату (МП) з ФА – ММА та МАК. Сировиною для одержання ПК і МП є етилен, виробництво якого є і в Україні.

Однак більшість каталізаторів, що використовуються в процесах конденсації ПК або МП з ФА характеризуються низькою конверсією вихідних реагентів при відносно високій селективності, або р-фосфор-оксидний каталізатор, промотований оксидом цирконію ($B_2O_3:P_2O_5:ZrO_2=3:1:0,3$), однак внаслідок гідролізу частини МП в ПК та метанол сумарна селективність утворення акрилатів є невисокою – 65,4 % [9–10].

Відомо, що каталізатори основного типу, що містять сполуки лужних та лужноземельних металів, є активними у процесах альдольної конденсації, зокрема це оксиди натрію та калію, оксид або гідроксид цезію, нанесені на силікагель [4]. Вихід цільових продуктів на цих каталізаторах є низьким унаслідок низької конверсії вихідних реагентів, проте вони забезпечують високу селективність за продуктами реакції. Тому з метою перевірки можливості підвищення селективності утворення ММА до складу $B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2/SiO_2$ каталізатора, який забезпечує високу сумарну конверсію метилпропіонату і пропіонової кислоти у процесі конденсації з формальдегідом без метанолу, було вирішено додати ще один промотор – основний оксид, а саме оксид натрію, калію, цезію або кальцію. Також доцільним є дослідити процес сумісної конденсації МП та ПК з ФА, що з однієї сторони повинно зменшити гідроліз МП за рахунок наявності ПК в реакційній суміші, та з іншого боку дозволить рециркулювати ПК, утворену в процесі гідролізу МП. Іншим шляхом зменшення гідролізу МП є здійснення реакції в присутності метанолу.

Мета роботи

Метою роботи є створення каталізаторів на основі оксидів бору та фосфору, промотованих сумішшю оксиду цирконію та основного оксиду для процесу гетерогенно-каталітичного одержання метакрилової кислоти та метилметакрилату методом альдольної конденсації пропіонової кислоти і метилпропіонату з формальдегідом у газовій фазі.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження здійснювали з використанням каталізаторів на основі суміші оксидів бору та фосфору з оксидом цирконію та основним оксидом, нанесених на силікагель. В якості основних оксидів використовували оксиди натрію, калію, цезію та кальцію. Загальна кількість активних компонентів у каталізаторі становило 20 % мас. Мольне

низькою селективністю утворення цільового продукту при високій конверсії [4–7]. Також відомі на сьогодні каталізатори забезпечують високий вихід цільового продукту лише при значних надлишках ПК або МП [8]. Тому розробка нових активних каталітичних систем та встановлення оптимальних параметрів здійснення процесу є важливим науковим та практичним завданням.

Попередніми дослідженнями встановлено, що для процесу альдольної конденсації МП з ФА активним є нанесений на силікагель бо співвідношення оксидів $B_2O_3:P_2O_5$ у каталізаторах становило 3:1. Вміст оксиду цирконію і основного оксиду змінювали так, щоб мольне співвідношення $B_2O_3:P_2O_5:ZrO_2:Me_xO$ становило 3:1:0,15:0,15 (тут і далі в тексті статті всі співвідношення вказані відносно вмісту оксиду фосфору, Me_xO – основний оксид). Усі каталізатори були приготовані методом просочування [11]. Склад досліджених каталізаторів наведено в табл. 1.

Каталітичні системи досліджували в проточній установці зі стаціонарним шаром каталізатора. Для досліджень використовували суміш із співвідношенням реагентів МП : ПК : ФА = 1:1:2. Дві молекули ФА було обрано з розрахунку по одній на кожен молекулу ПК і МП. Для досліджень процесу в присутності метанолу співвідношення реагентів становило МП : ПК : метанол : ФА = 1:1:1:2. Як джерело ФА використовували формалін 37 %, який готували з параформу безпосередньо перед проведенням експериментів. Температуру здійснення процесу змінювали у межах 563–683 К, час контакту становив 12 с, оскільки попередньо було встановлено, що ці умови є оптимальними для процесу конденсації МП з ФА [9–11]. Продукти реакції аналізували методом газової хроматографії.

Таблиця 1 – Склад досліджених каталізаторів

Позначення	Компоненти	Мольне співвідношення $B_2O_3:P_2O_5:ZrO_2:Me_xO$
K ₁	$B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2-Cs_2O$	3:1:0.15:0.15
K ₂	$B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2-Na_2O$	3:1:0.15:0.15
K ₃	$B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2-K_2O$	3:1:0.15:0.15
K ₄	$B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2-CaO$	3:1:0.15:0.15

Виклад основного матеріалу

Дослідження каталітичної активності розроблених каталізаторів у процесі конденсації МП, ПК і ФА показали, що конверсія вихідних реагентів зростає з ростом температури на всіх каталізаторах. Максимального значення конверсії досягнуто за температури 683 К на каталізаторі промотованому сумішшю оксидів цирконію та натрію (рис. 1), яке становить 75,2 %. Порівняно з каталізатором, промотованим індивідуальним оксидом цирконію, відбулося зменшення сумарної конверсії процесу на

уському інтервалі досліджуваних температур, що підтверджує літературні дані проте що у разі використання основних оксидів у складі каталітичної системи конверсія реагентів є низькою. Так, у присутності каталізатора K_3 , промотованого сумішшю оксидів цирконію і калію сумарна конверсія МП і ПК є найнижчою і зростає від 23,1 % при 563 К до 65,5 % при 683 К.

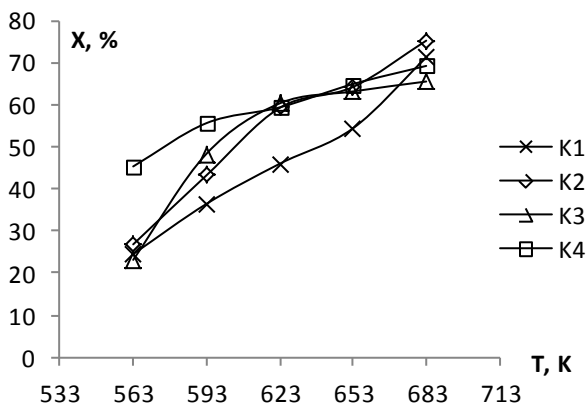


Рис. 1 – Залежність сумарної конверсії метилпропіонату та пропіонової кислоти від температури

Залежність сумарної селективності утворення ММА і МАК зображено на рис 2. Найвищі значення селективності утворення цільових продуктів досягнуто в інтервалі температур 563-623 К і становлять понад 90 % на усіх каталітичних системах.

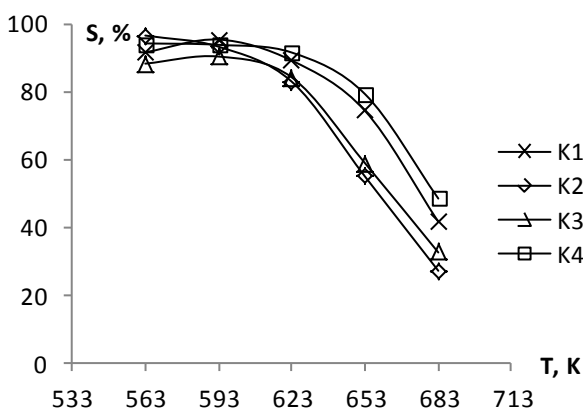


Рис. 2 – Залежність сумарної селективності метилметакрилату і метакрилової кислоти від температури

Зі збільшенням температури понад 653 К селективність утворення цільових продуктів різко падає внаслідок інтенсифікації побічних реакцій з утворенням діетилкетону. Максимального значення сумарної селективності досягнуто за температури 563 К на каталізаторі промотованому сумішшю оксидів цирконію і натрію, і становить 96,5 %.

Порівнюючи з каталізаторами, промотованими індивідуальними оксидами перехідних металів, зокрема оксидом цирконію вдалось досягнути

збільшення селективності утворення ММА у процесі без додавання метанолу у реакційну суміш лише на каталізаторі K_1 . На усіх інших каталізаторах очікуваного збільшення селективності не відбулось.

Сумарний вихід ММА і МАК має максимум (рис. 3), який досягнуто за температури 623 К на усіх каталітичних системах. Найбільше значення 54,3 % досягнуто на каталізаторі K_4 , промотованому сумішшю оксидів цирконію і кальцію, проте селективність утворення більш цінного продукту ММА на даному каталізаторі є дуже малою.

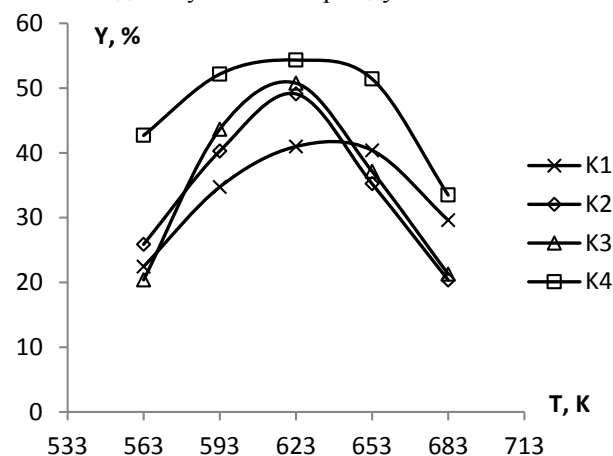


Рис. 3 – Залежність сумарного виходу метилметакрилату і метакрилової кислоти від температури

Як видно з табл. 2, незважаючи на те, що найвищу сумарну селективність одержано на каталізаторі K_2 , промотованому сумішшю оксидів цирконію і натрію, а вихід найвищий на каталізаторі K_4 , промотованому сумішшю оксидів цирконію і кальцію, найвищу селективність утворення ММА має каталізатор K_1 , промотований сумішшю оксидів цирконію і цезію.

Таблиця 2 – Вплив температури на селективність метилметакрилату і метакрилової кислоти

K_T	T, K	S_{MMA} , %	S_{MAK} , %	K_T	T, K	S_{MMA} , %	S_{MAK} , %
K_1	683	4,1	37,4	K_3	683	0,7	31,8
	653	9,0	65,3		653	2,3	56,5
	623	10,4	78,7		623	4,5	79,6
	593	6,3	89,0		593	4,9	85,4
	563	5,5	86,1		563	2,9	85,3
K_2	683	0,4	26,7	K_4	683	1,5	46,9
	653	1,7	53,2		653	2,1	77,2
	623	3,3	79,6		623	3,8	87,7
	593	4,3	88,9		593	4,7	89,1
	563	1,1	95,4		563	3,7	90,5

Таким чином цей каталізатор є оптимальним за селективністю утворення ММА з-поміж даної серії, а оптимальними умовами для нього є температура 623 К та час контакту 12 с за яких вихід цільових продуктів становить 41,0 %.

Оскільки найкращою за селективністю утворення метилметакрилату є каталітична система $B_2O_3-P_2O_5-ZrO_2-Cs_2O$, було вирішено перевірити саме її у процесі конденсації метилпропіонату та пропіонової кислоти з формальдегідом в присутності метанолу.

Додавання метанолу (рис. 4) у реакційну суміш не тільки збільшує селективність утворення ММА, а також і сумарний вихід цільових продуктів. Так, максимальне значення селективності та виходу досягнуто за температури 623 К і становить 15,7 % та 47,6 %, які на 5,3 % і 6,6 % відповідно вищі, ніж у процесі без метанолу. Проте, порівнюючи з каталітичною системою з індивідуальним промотором оксидом цирконію, у процесі з метанолом кращою буде саме остання, оскільки як селективність утворення цільових продуктів, зокрема і ММА, так і вихід є вищі саме на ній.

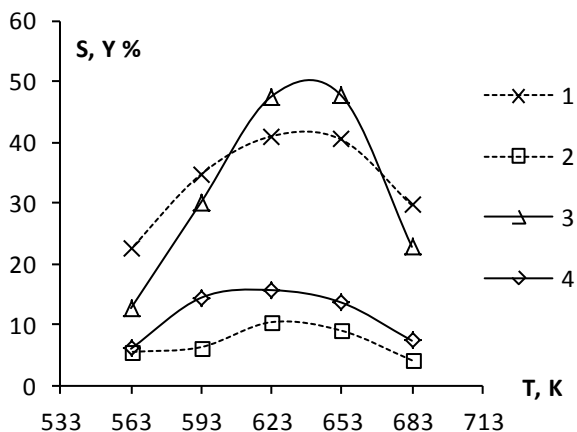


Рис. 4 – Залежність селективності ММА (1, 3) і сумарного виходу ММА і МАК (2, 4) від температури без додавання метанолу (1, 2) та в присутності метанолу (3, 4), промотор – суміш оксидів цирконію і цезію

Висновки

Отже, розроблені каталітичні системи, промотовані сумішшю основного оксиду і оксиду цирконію, є активними в процесі конденсації МП, ПК і ФА як в присутності метанолу, так і без нього. Однак недоліками цих систем є зменшення конверсії вихідних реагентів, внаслідок чого зменшується і вихід цільових продуктів. Також бажаного збільшення селективності утворення ММА (на 4 %) було досягнуто лише у процесі без метанолу, в той час як у процесі з метанолом відбулось навпаки зниження на 2,2 %. Оптимальною є каталітична система, промотована сумішшю оксиду цирконію та

оксиду цезію, на якій одержано сумарний вихід акрилатів 41,0 %.

Список літератури

- Inoue, G.** Process for producing methyl methacrylate [Text] / **Inoue G., Baba K., Moritou T.** – United States Patent Application 20020188151, published: 12.12.2002, number US 2002/0188151 A1.
- Higuchi, H.** Process for producing methyl methacrylate [Text] / **Higuchi H., Kida K.** – European Patent Application EP0407811, published: 16.01.1991, number 0407811 A2.
- Nagai, K.** New developments in the production of methyl methacrylate [Text] / **K. Nagai** // *Applied Catalysis A: General.* – 2001. – Vol. 221, Issue 1-2. – P. 367–377. – doi: 10.1016/s0926-860x(01)00810-9.
- Ai, M.** Formation of methyl methacrylate by condensation of methyl propionate with formaldehyde over silica-supported cesium hydroxide catalysts [Text] / **M. Ai** // *Applied Catalysis A: General.* – 2005. – Vol. 288, Issue 1-2. – P. 211-215. – doi: 10.1016/j.apcata.2005.04.027.
- Li, J.** Hydrocarbon oxidation and aldol condensation over basic zeolite catalysts [Text] / **J. Li, J. Tai, R. J. Davis** // *Catalysis Today.* – 2006. – Vol. 116, Issue 2. – P. 226-233. – doi: 10.1016/j.cattod.2006.01.032.
- Ai, M.** Formation of methyl methacrylate from methyl propionate and methanol [Text] / **M. Ai** // *Catalysis Today.* – 2006. – Vol. 111, Issue 3-4. – P. 398-402. – doi: 10.1016/j.cattod.2005.10.053.
- Tai, J.** Synthesis of methacrylic acid by aldol condensation of propionic acid with formaldehyde over acid–base bifunctional catalysts [Text] / **J. Tai, R. J. Davis** // *Catalysis Today.* – 2007. – Vol. 123, Issue 1-4. – P. 42–49. – doi: 10.1016/j.cattod.2007.02.004.
- Dmytruk, Yu.** Optimum conditions determination of methyl methacrylate obtaining over tungsten-containing catalyst [Text] / **Yu. Dmytruk, V. Ivasiv, R. Nebesnyi, S. Maykova** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2015. – Vol. 4, Issue 6(76). – P. 4-7. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.47955.
- Nebesna, Yu. V.** The study of technological and kinetic regularities of simultaneous methacrylates obtaining over zirconium-containing catalysts [Text] / **Yu. V. Nebesna, V. V. Ivasiv, R. V. Nebesnyi** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2015. – Vol. 5, Issue 6 (77). – P. 4-52. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.51348.
- Nebesnyi, R.** Complex oxide catalysts of acrylic acid obtaining by aldol condensation method [Text] / **R. Nebesnyi** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2015. – Vol. 1, Issue 6 (73). – P. 13-16. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.37405.
- Ding, S.** Condensation of Methyl Propionate with Formaldehyde to Methyl Methacrylate over Cs-Zr-Mg/SiO₂ Catalysts [Text] / **S. Ding, L. Wang, R. Y. Yan, Y. Y. Diao, Z. X. Li, S. J. Zhang, S. J. Wang** // *Advanced Materials Research.* – 2012. – Vol. 396-398. – P. 719-723. – doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.396-398.719.

Bibliography (transliterated)

- Inoue, G., Baba, K., Moritou, T.** Process for producing methyl methacrylate / United States Patent Application 20020188151, published: 12.12.2002, number US 2002/0188151 A1.
- Higuchi, H., Kida, K.** Process for producing methyl

- methacrylate / European Patent Application EP0407811, published: 16.01.1991, number 0407811 A2.
3. Nagai, K. New developments in the production of methyl methacrylate. *Applied Catalysis A: General*, 2001, Vol. 221, 1-2, 367-377, doi: 10.1016/s0926-860x(01)00810-9.
 4. Ai, M. Formation of methyl methacrylate by condensation of methyl propionate with formaldehyde over silica-supported cesium hydroxide catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 2005, 288, 1-2, 211-215, doi: 10.1016/j.apcata.2005.04.027.
 5. Li, J., Tai, J., Davis, R. J. Hydrocarbon oxidation and aldol condensation over basic zeolite catalysts. *Catalysis Today*, 2006, 116, 2, 226-233, doi: 10.1016/j.cattod.2006.01.032.
 6. Ai, M. Formation of methyl methacrylate from methyl propionate and methanol. *Catalysis Today*, 2006, 111, 3-4, 398-402, doi: 10.1016/j.cattod.2005.10.053.
 7. Tai, J., Davis, R. J. Synthesis of methacrylic acid by aldol condensation of propionic acid with formaldehyde over acid-base bifunctional catalysts. *Catalysis Today*, 2007, 123, 1-4, 42-49, doi: 10.1016/j.cattod.2007.02.004.
 8. Dmytruk, Yu., Ivasiv, V., Nebesnyi, R., Maykova, S. Optimum conditions determination of methyl methacrylate obtaining over tungsten-containing catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 4, 6(76), 4-7, doi: 10.15587/1729-4061.2015.47955.
 9. Nebesna, Yu. V., Ivasiv, V. V., Nebesnyi, R. V. The study of technological and kinetic regularities of simultaneous methacrylates obtaining over zirconium-containing catalysts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 5, 6 (77), 4-52, doi: 10.15587/1729-4061.2015.51348.
 10. Nebesnyi R. Complex oxide catalysts of acrylic acid obtaining by aldol condensation method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 1, 6 (73), 13-16, doi: 10.15587/1729-4061.2015.37405.
 11. Ding, S., Wang, L., Yan, R. Y., Diao, Y. Y., Li, Z. X., Zhang, S. J., Wang, S. J. Condensation of Methyl Propionate with Formaldehyde to Methyl Methacrylate over Cs-Zr-Mg/SiO₂ Catalysts. *Advanced Materials Research*, 2012, 396-398, 719-723, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.396-398.719.

Відомості про авторів (About Authors)

Івасів Володимир Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет «Львівська політехніка», провідний науковий співробітник кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: volodymyr.v.ivasiv@lpnu.ua.

Volodymyr Ivasiv – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Lviv Polytechnic National University, Leading Research Fellow of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: volodymyr.v.ivasiv@lpnu.ua.

Піх Зорян Григорович – доктор хімічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри технології органічних продуктів; м. Львів, Україна; e-mail: pikh50@lp.edu.ua.

Zoryan Pikh – Doctor of Chemical Sciences (Ph. D.), professor, Lviv Polytechnic National University, Head of Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: pikh50@lp.edu.ua.

Лапичак Назарій Ігорович – кандидат технічних наук, Центральна лабораторія ТОВ "Нестле Україна", хімік; м. Львів, Україна, e-mail: glominik@gmail.com.

Nazariy Lapychak – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Central Laboratory of Nestle Ukraine LLC, chemist; Lviv, Ukraine; e-mail: glominik@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Івасів, В. В. Синтез акрилатів з метилпропіонату та пропіонової кислоти на В₂O₃-P₂O₅-ZrO₂/SiO₂ каталізаторі, промотованому основними оксидами / **В. В. Івасів, З. Г. Піх, Н. І. Лапичак** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 66-70. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.34.

Please cite this article as:

Ivasiv, V., Pikh, Z., Lapychak, N. Synthesis of acrylates from methyl propionate and propionic acid on В₂O₃-P₂O₅-ZrO₂/SiO₂ catalyst promoted by basic oxides. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 66-70, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.34.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ивасив, В. В. Синтез акрилатов из метилпропионата и пропионовой кислоты на В₂O₃-P₂O₅-ZrO₂/SiO₂ катализаторе, промотированном основными оксидами / **В. В. Ивасив, З. Г. Пих, Н. И. Лапичак** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 66-70. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.34.

АННОТАЦІЯ Исследован процесс газофазной конденсации метилпропионата и пропионовой кислоты с формальдегидом с образованием метакриловой кислоты и метилметакрилата в присутствии катализаторов на основе оксидов бора и фосфора, промотированных смесью оксида циркония и основного оксида. Установлено влияние температуры на конверсию, селективность и выход целевых продуктов. Установлено, что добавление метанола увеличивает селективность образования метилметакрилата и суммарный выход акрилатов.

Ключевые слова: метакриловая кислота; метилметакрилат; пропионовая кислота; альдольная конденсация; катализатор; метилпропионат; формальдегид.

Поступила (received) 21.06.2018

УДК 54-12

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.35

QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF MOLECULAR COMPLEXES STRUCTURE IN "URONATIC POLYSACCHARIDES – Ca²⁺" SYSTEM

N. KONDRATJUK*¹, E. PIVOVAROV², T. STEPANOVA³, D. TOLOSHNYI¹, Y. POLYVANOV¹

¹ Department of Food Technology Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, UKRAINE

² Professor, Doctor of Technical Sciences Department of Technology of the Food, Kharkiv State University of Food and Trade, Kharkiv, UKRAINE

³ Associate Professor at the Department of Food Technologies, Sumy National Agrarian University, Sumy, UKRAINE

*email: kondratjuk3105@gmail.com

ABSTRACT Quantum-chemical modeling of the process of ionotropic gelling in systems of uronate polysaccharides (high-guluronate sodium alginate and low-esterified pectin) with calcium is carried out. Calculation the interaction of active functional groups of uronate polysaccharides with calcium ion shows the possibility of this process passage through the formation of calcium-guluronate (CaGal₄), calcium-galacturonate (CaGal₄) and calcium-guluronate-galacturonate (CaGal₂Gal₂) chelate complexes.

The process of interaction occurs when the carboxyl and hydroxyl groups of the uronate polysaccharides are chemically bound to the calcium ion. It was established that calcium-guluronate complex has an eight binding centres with calcium whereas calcium-galacturonate and calcium-guluronate-galacturonate complexes have four binding centres.

This article describes the binding centres in systems that are considered by ionotropic gel formation. This clearly illustrated the spatial atoms arrangement in the systems of individual polysaccharides and their combination; location and value of bond lengths, values of torsion and valence angles. Presented quantum-chemical models are allowed to estimate chemical activity of fragments macromolecular structures during ionotropic gelation. This makes it possible to predict the amount of external bound water, calculate the optimum proportions of substances for the formulation of rational food recipes.

The fact of the ionotropic gelation in the combined system "alginate-pectin-Ca" was installed on the basis of the obtained models and their geometric characteristics. In this case the chelate complexes CaGal₂Gal₂ was formed. It is stable during storage, more plastic and soft in contrast to CaGal₄ and stronger than CaGal₄.

Keywords: alginate; pectin; complex formation; quantum-chemical modeling.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУР МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В СИСТЕМЕ «УРОНАТНЫЕ ПОЛИСАХАРИДЫ – Ca²⁺»

Н. В. КОНДРАТЮК¹, Е. П. ПИВОВАРОВ², Т. М. СТЕПАНОВА³, Д. В. ТОЛОШНЫЙ¹,
Е. А. ПОЛИВАНОВ¹

¹ Дніпровський національний університет імені Олесь Гончара, г. Дніпр, УКРАЇНА

² д.т.н., професор, Харківський державний університет харчування і торгівлі, г. Харків, УКРАЇНА

³ к.т.н., доцент, Сумської національний аграрний університет, г. Суми, УКРАЇНА

АННОТАЦИЯ Проведено квантово-химическое моделирование процесса ионотропного гелеобразования в системах уронатных полисахаридов (альгината натрия высокогулуронатного и пектина низкоэтерифицированного) с кальцием. Расчет взаимодействия активных функциональных групп уронатных полисахаридов с ионом кальция показывает возможность прохождения данного процесса с образованием хелатных комплексов кальций-гулуронатного, кальций-галактуронатного и кальций-гулуронат-галактуронатного.

Процесс взаимодействия осуществляется за счет химического связывания карбоксильных и гидроксильных групп уронатных полисахаридов с ионом кальция. Установлено, что кальций-гулуронатный комплекс имеет восемь центров связывания с кальцием, а комплексы кальций-галактуронатный и кальций-гулуронат-галактуронатный имеют по четыре центра связывания.

В статье приводится описание центров химического связывания в рассматриваемых системах при реализации принципа ионотропного гелеобразования. Наглядно представлено пространственное расположение множества атомов в системах отдельных полисахаридов и их комбинации; расположение и величины длин связей, значения торсионных и валентных углов. Представленные квантово-химические модели позволяют оценить химическую активность фрагментов структур макромолекул в случае протекания химических процессов ионотропного гелеобразования и дает возможность спрогнозировать количество внешнесвязанной воды, рассчитать оптимальные соотношения веществ для составления рациональных рецептур пищевых продуктов.

На основании полученных моделей и их геометрических характеристик был установлен факт протекания процесса ионотропного гелеобразования в комбинированной системе «альгинат-пектин-Са». В этом случае, образовался хелатный комплекс CaGal₂Gal₂, устойчивый в ходе хранения, более пластичный и мягкий в отличие от CaGal₄ и более прочный в отличие от CaGal₄.

Ключевые слова: альгинат; пектин; комплексообразование; квантово-химическое моделирование.

Introduction

Modern representation of food systems based on quantum-chemical modeling, allows obtaining the

following results, important for the technological process organization:

1) derive an optimal ratio of the recipe components during the creating of food compositions;

2) choose the most appropriate conditions for the chemical potential realization of the large macromolecules reactive sites, such as proteins and polysaccharides;

3) carry out diagnostics of different binding centers on the possibility of the chemical, van der Waals interaction, hydration and mass transfer processes without costly investment into the experimental part;

4) obtain a general idea of the nutritional components and water role in the food compositions under consideration, for subsequent recommendations of chemical and physicochemical processes stabilization, associated with quality and safety indicators.

This article discusses systems based on sodium alginate (with an increased content of guluronate residues) and pectin (low esterified amidated) with realization of calcium ions chemical potential in various interaction with the remainders of uronic acids.

Calcium, as the most promising binding agent, and under consideration uronate polysaccharides, as widely used substances for obtaining gel-like systems with valuable food properties and technological characteristics, form firmly bound structures in food systems. These structures allow stabilizing the processes of moisture mass transfer and keep it to 30% when passing from the phase of the hydrogel to the xerogel [1].

Nowadays significant relevance is the study of polysaccharide compositions based on sodium alginate and pectin with other polysaccharides. For example, the authors [2] monitored the adsorption properties of the sodium alginate matrix with the participation of guar gum. The article [3] describes the molecular mechanism of lysozyme adsorption to a chemically modified alginate-guar matrix. New biodegradable and antibacterial edible films based on alginate hydrochloride and biguanidine chitosan are described in the article [4]. In the materials of the scientific publication [5] describe microgel of silylated (hydroxypropyl) methyl cellulose, which is considered as a multimodal system for the joint encapsulation of drugs. A group of scientists received alginate fibers coated with chitosan and described their antibacterial effect. [6].

The most obvious advantages are mixed pectin-alginate gels, structured by calcium ions [7, 8].

However, it should be noted, that systems based on this composition remain poorly researched, although they have a significant economic effect when used in various technologies [9-12].

Objects

The purpose of this work is the detailed elaboration of theoretical study the features of molecular complexes equilibrium structures, which are

implemented in the system «uronate polysaccharides – Ca^{2+} » by means of *ab initio* quantum chemistry methods.

Statement of the main material

Quantum chemical modeling is the method of obtaining the molecule electron energy and its wave function, which does not depend on the size and structure of the macromolecule.

It must be borne in mind three determining factors before the construction of a quantum chemical model. Namely, to select the components of the mathematical model, carry out a decision procedure and choose an atomic basis. Thus, to determine the method of obtaining the electron energy and the wave function [13].

The wave function is meant density matrix in density functional theory. It should be noted that this method does not describe any particular chemical system and can be applied to a molecule of any size and to any molecular structure and to any type of chemical binding. [14, 15].

Quantum-chemical models CaGal_4 , CaGal_4 , $\text{CaGal}_2\text{Gal}_2$, presented on the Figure 1 a-c were obtained on the basis of this.

Named images confirm the uniqueness of the Schrödinger equation solution for a given nuclei configuration, electron and spin states of the molecule. This solution is as close as possible to the objects under study, in particular, alginate-pectin-calcium complexes. Beside this, the presented models are applicable to a larger system, taking into account random molecular structures also.

The presented models require elaboration. Semi-empirical calculation methods were used for this. It is most expedient to continue calculations by the method M062x. It is necessary that several additional principles are fulfilled:

1. The results obtained for a system consisting of a minimum molecules set at an infinite distance from each other must correspond to the sum of the results obtained for isolated molecules of this system.

2. Energy, determined by this method, is the upper limit of the electron equation exact solution. The refinements, which were carried out by semi-empirical methods, made it possible to obtain smaller values of the energy than the obtained by molecular mechanic methods models.

Geometric parameters of chelate complexes «uronate polysaccharides – Ca^{2+} » that isolated from Z-matrices for optimized molecules of CaGal_4 , CaGal_4 , $\text{CaGal}_2\text{Gal}_2$ given in Table 1. Subsequently, using the theory of the density functional in the approximation B3LYP with the following modifications: M06, M062X, peculiarities the conformational transformations of uronate polysaccharides complexes with calcium were studied.

The lengths of bonds, torsion angles and valence angles were considered as geometric parameters.

Concerning the construction of macromolecular structures, in particular uronate polysaccharides, it is

fair to say, that in Table 1 the characteristics of the complexes are visually represented: the lengths of the calcium ion with polysaccharides coordination bonds, torsion and valence angles.

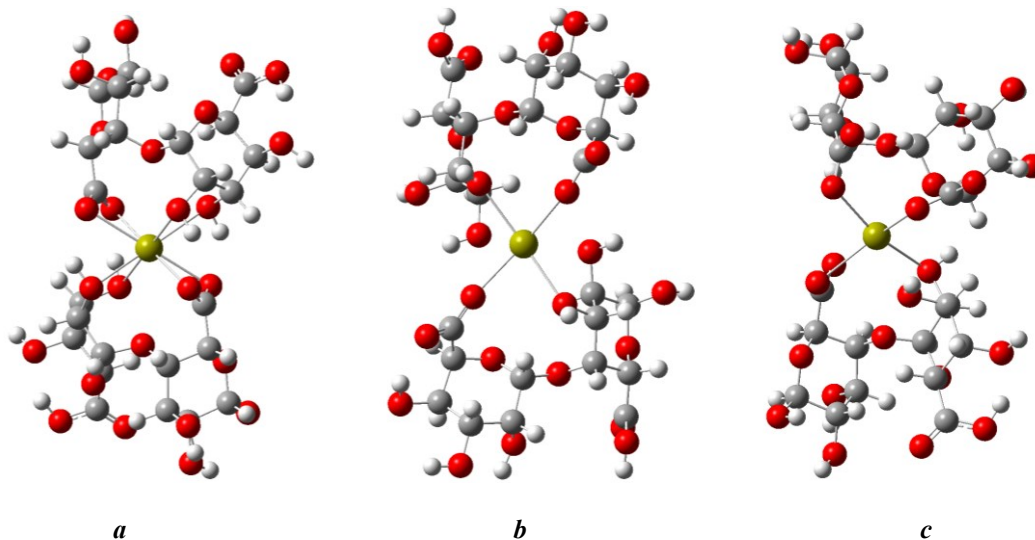


Fig. 1 – Models of stable calcium-uronate systems: a – tetrahyuronate calcium (CaGul₄); b – tetragalacturonate calcium (CaGal₄); c – digalacturonotadigalacturonate calcium (CaGul₂Gal₂)

Table 1 – Geometric parameters of the system «uronate polysaccharides – Ca²⁺ chelate complexes»

		Complex							
		CaGul ₄				CaGal ₄		CaGul ₂ Gal ₂	
		n	d	n	d	n	d	n	d
Length of bond Ca-O _n , Å		12	2.54038	53	2.54156	30	2.46918	38	2.53946
		78	2.52733	37	2.52801	12	2.42611	8	2.49132
		79	2.49019	38	2.49077	72	2.46897	55	2.48009
		49	2.48383	8	2.48322	54	2.42532	75	2.43800
		W-X-Y-Z		W-X-Y-Z		W-X-Y-Z			
Torsion angles H _w – C _x – O _y – C _z , °		φ		76-65-50-43	-61.15840	36-26-13-2	46.61303	79-69-56-45	-101.31086
		ψ		35-24-9-2	-61.15783	78-68-55-44	46.63952	35-24-9-2	-52.91515
		φ		52-43-50-65	22.59891	1-2-13-26	20.04796	44-45-56-69	-6.15302
		ψ		11-2-9-24	22.59878	43-44-55-68	19.94151	11-2-9-24	15.11548
Valence angles O _n – Ca – O _m , °		n-m		n-m		n-m			
		12-37		114.60009	12-30	76.79737	75-55	76.07383	
		8-38		115.46188	72-54	76.77659	38-8	106.73409	
		78-53		114.58527	-	-	-	-	
		79-49		115.44966	-	-	-	-	
		49-38		94.79095	72-12	99.95322	75-38	85.60411	
		54-37		92.60015	54-30	99.70507	55-8	99.93691	
		78-12		92.63874	-	-	-	-	
79-8		94.79806	-	-	-	-			

Results and discussion

In the model of the complex CaGul_4 all links are equal with a small deviation within the permissible error $2,54038 \pm 0,05716 \text{ \AA}$.

Considering the model of the system CaGal_4 , the values of the calcium bonds lengths with the oxygen atoms of the nearby carboxyl and hydroxyl groups have found a similar tendency. An average value of the bond length is $2,51283 \text{ \AA}$ with permissible deviations within $\pm 0,04386 \text{ \AA}$. Comparing these indicators during the examination of the complex $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$, the average value of the bond length is somewhat smaller. This may indicate greater homogeneity and lower voltage of the binding atoms and more stable position. Thus, the average value of the bond length within the permissible error is $2,43800 \pm 0,04386 \text{ \AA}$.

Estimating the value of the bond length between the residues of uronic acids of polysaccharides with calcium in the complex $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$, it can be noticed, that these values for alginate and pectin have shifted towards the averaging. This is absolutely correct and natural as a result of the binding energies distribution in the system.

Torsion angles of the glycosidic bond were taken (as example of the system $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$) angle φ for atoms $\text{H}_{76}-\text{C}_{65}-\text{O}_{50}-\text{C}_{43}$ and angle ψ for atoms $\text{H}_{52}-\text{C}_{43}-\text{O}_{50}-\text{C}_{65}$ with quantitative characteristics - $101,31086$ and - $6,15302 \text{ \AA}$ respectively (Fig. 2). It is worth noting, that torsion angles for chains of different polysaccharides are very different from each other and the difference is $48,39571$ and $21,2685 \text{ \AA}$.

At the same time in the systems CaGal_4 and CaGul_4 , torsion angles φ and ψ have very similar meanings: $46,62623 \pm 0,0132 \text{ \AA}$ and $-61,158115 \pm 0,00028 \text{ \AA}$ respectively.

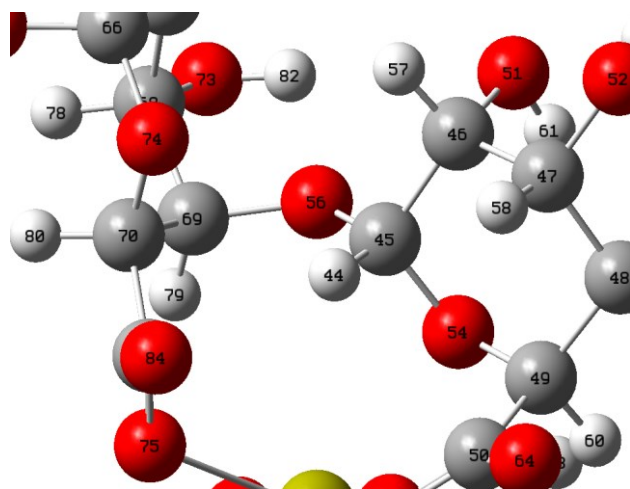


Fig. 2 – Fragment of the model $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$ with the notation of torsion angles φ and ψ ($\text{H}_w-\text{C}_x-\text{O}_y-\text{C}_z$)

Significant differences in torsion and valence angles in the system model $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$ connected with the geometry of uronate polysaccharides dimers. Guluronate remains have a more spatial structure, but galacturonate are more linear. In both structures ionotropic gel formation with the calcium ions participation proceeds successfully, as in the case of homogeneous uronate systems (alginate or pectinic).

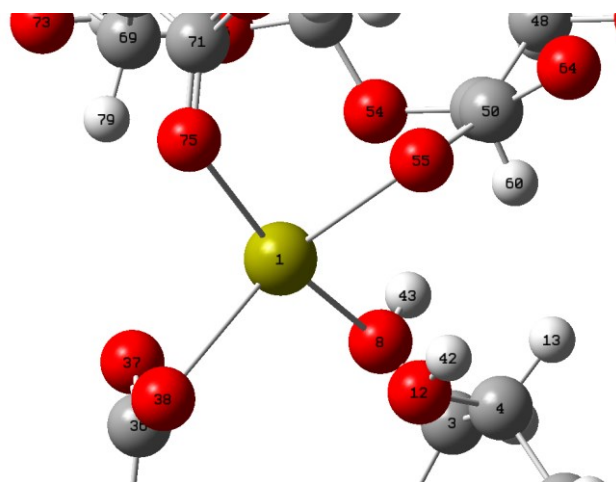


Fig. 3 – Fragment of the model $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$ with the notation of valence angles $\text{O}_n-\text{Ca}-\text{O}_m$

The valence angle with Ca, formed in the field of one ugonate polysaccharide and various, given on Fig. 3 (as example of the angle $\text{O}_{79}-\text{Ca}-\text{O}_{49}$ and angle $\text{O}_{79}-\text{Ca}-\text{O}_{12}$).

Conclusions

It is of fundamental importance for understanding the chemistry of the ionotropic gel formation in systems of such polysaccharides, as low esterified amidated pectin and high-guluronate sodium alginate and their compositions, are the spatial arrangement of the set of atoms in these systems; the magnitude and location of bond lengths; values of torsion and valence angles. All of this in a case allows estimating the chemical activity of fragments macromolecules structures in the case of the ionotropic gel formation. This makes it possible to predict the amount of out-bound water, to calculate the optimum proportions of substances for the rational food recipes.

The fact of the ionotropic gel formation in a combined system “alginate-pectin-Ca” was established based on the obtained models and their geometric characteristics.

Chelate complex $\text{CaGul}_2\text{Gal}_2$, which formed, stable during storage, more plastic, softer as opposed to CaGul_4 and stronger than CaGal_4 .

Bibliography

1. **Кондратюк, Н. В.** Науково-практичні аспекти виробництва харчових наноплівочок на основі композицій уронатних полісахаридів / **Н. В. Кондратюк, Є. П. Пивоваров, Т. М. Степанова** // *Зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф. [«Технології харчових продуктів і комбікормів»], (Одеса, 25-30 вересня 2017 р.) / Одеська нац. акад. харч. технологій.* – Одеса: ОНАХТ, 2017. – С.88-89 с.
2. **Brassescio, M. E.** Control of the adsorption properties of alginate - guar gum matrix functionalized with epichlorohydrin through the addition of different flexible chain polymers as toll for the chymotrypsinogen isolation / **M. E. Brassescio, N. Voitovich Valetti, G. A. Picó** // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2018. – V. 96. – P. 494–500. – doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.04.087.
3. **Brassescio, M. E.** Molecular mechanism of lysozyme adsorption onto chemically modified alginate guar gum matrix / **M. E. Brassescio, N. Voitovich Valetti, G. A. Picó** // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2017. – V. 115. – P. 111–117. – doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.12.029.
4. **Salama, H. E.** Novel biodegradable and antibacterial edible films based on alginate and chitosan biguanidine hydrochloride / **H. E. Salama, M. S. Abdel Aziz, M. W. Sabaa** // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2018. – V. 116. – P. 443–450. – doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.04.183.
5. **Zayed, M.** Microgels of silylated HPMC as a multimodal system for drug co-encapsulation / **M. Zayed, C. Tourne-Peteilha, M. Ramondad, G. Rethorec, etc.** // *International Journal of Pharmaceutics.* – 2017. – V. 532. – 2. – P. 790–801. – doi:10.1016/j.ijpharm.2017.07.074.
6. **Dumont, M.** Processing and antibacterial properties of chitosan-coated alginate fibers / **M. Dumontac, R. Villetb, M. Guirandb, A. Montembaulta, etc.** // *Carbohydrate Polymers.* – 2018. – V. 190. – P. 31–42. – doi:10.1016/j.carbpol.2017.11.088.
7. **Оковитий, С. І.** Дослідження харчових систем на основі пектину. Квантово-хімічне моделювання димерів галактуранової кислоти / **С. І. Оковитий, Є. П. Пивоваров, Н. В. Кондратюк та ін.** // *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 194–198. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.27.
8. **Kondratjuk, N. V.** Rheological properties of food film-forming gels on the basis of uroconate polysaccharides / **N. V. Kondratjuk, Y. P. Pyvovarov, A. M. Padalka, Y. A. Polivanov** // *Bulletin of NTU "KhPI": Innovative research in students' scientific work.* – 2017. – № 41 (1263). – P. 47-51. – doi:10.5281/zenodo.1108538.
9. **Kondratjuk, N. V.** The food envelop forming coating using on the base of urinate polysaccharides in manufacture of chocolate products with protein hydrolyzate / **N. V. Kondratjuk, T. M. Stepanova, V. G. Burak** // *The development of technocal sciences: problems and solution: Conference Proceedings, April 27-28, 2018.* Brno: Baltija Publishing. – P. 53-58.
10. **Кондратюк, Н. В.** Використання гелів харчових плівкоутворюючих на основі суміші уронатних полісахаридів у виробництві оболочок для рибних закусок. / **Н. В. Кондратюк** // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* – 2018. – Т. 29 (68). – Ч. – 3. – № 1. – С. 48-52.
11. **Nešića, A.** Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity / **A. Nešića, A. Onjiaa, S. Davidovič, etc.** // *Carbohydrate Polymers.* – 2017. – V. 157. – P. 981-990. – doi:10.1016/j.carbpol.2016.10.054.
12. **Rezvaniana, M.** Optimization, characterization, and in vitro assessment of alginate-pectin ionic cross-linked hydrogel film for wound dressing applications / **M. Rezvaniana, N. Ahmadb, etc.** // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2017. – V. 97. – P. 131-140. – doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.12.079.
13. **Игнатов, С. К.** Квантово-химическое моделирование молекулярной структуры, физико-химических свойств и реакционной способности. (Часть 1. Обзор современных методов электронной структуры и теории функционала плотности). *Уч.-метод. Мат. по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем».* Нижний Новгород. – 2006. – С. 7 – 9.
14. **Frisch, M. J.** e. a. GAUSSIAN-09, Rev. C.01. Wallingford CT: Gaussian, Inc./ **M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel.** 2010.
15. **Андреева, Т. А.** Влияние гибридных потенциалов метода DFT на результаты исследования жидкокристаллической фазы вещества / **Т. А. Андреева, М.Е. Бедрина** // *Вестник СПбГУ. Сер. 10.* – 2015. – Вып. 1. – С. 16- 24.

Bibliography (transliterated)

1. **Kondratjuk, N. V., Pyvovarov, E. P., Stepanova, T. M.** Naukovo-praktychni aspekty vyrobnytstva kharchovykh nanoplivok na osnovi kompozytsiy uronatnykh polisakharydiv [Scientific and practical aspects of production of food nano-films on the basis of compositions of uranium polysaccharides]. *Zb. tez dop. Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Tekhnolohiyi kharchovykh produktiv i kombikormiv», (Odesa, 25-30 veresnya 2017 r.) [Collection of those reports of the international scientific and practical conference "Technology of food and feed" Odessa, 25-30 september 2017].* Odesa: ONAKhT, 2017, 88-89.
2. **Brassescio, M. E., Voitovich Valetti, N., Picó, G. A.** Control of the adsorption properties of alginate - guar gum matrix functionalized with epichlorohydrin through the addition of different flexible chain polymers as toll for the chymotrypsinogen isolation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, **96**, 494–500, doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.04.087.
3. **Brassescio, M. E., Voitovich Valetti, N., Picó, G. A.** Molecular mechanism of lysozyme adsorption onto chemically modified alginate guar gum matrix. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, **115**, 111–117, doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.12.029.

4. **Salama, H. E., Aziz, M. S. A., Sabaa, M. W.** Novel biodegradable and antibacterial edible films based on alginate and chitosan biguanidine hydrochloride. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, **116**, 443–450, doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.04.183.
5. **Zayed, M., Tourne-Peteilha, C., Ramondad M., Rethorec G., etc.** Microgels of silylated HPMC as a multimodal system for drug co-encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*, 2017, **2**(532), 790–801, doi:10.1016/j.ijpharm.2017.07.074.
6. **Dumontac, M., Villetb, R., Guirandb M., etc.** Processing and antibacterial properties of chitosan-coated alginate fibers. *Carbohydrate Polymers*, 2018, **190**, 31–42, doi:10.1016/j.carbpol.2017.11.088.
7. **Okovytyy, S. I., Pivovarov, Y. P., Kondratjuk, N. V., Polivanov, Y. A., Bilichenko, M. O.** Research of food systems based on pectin. Quantum-chemical modeling of galacturonic acid dimers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **7** (1229), 194–198, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.27.
8. **Kondratjuk, N. V., Pyvovarov, Y. P., Padalka, A. M., Polivanov, Y. A.,** Rheological properties of food film-forming gels on the basis of uroconate polysaccharides. *Bulletin of NTU "KhPI": Innovative research in students' scientific work*, 2017, **41**(1263), 47-51, doi:10.5281/zenodo.1108538.
9. **Kondratjuk, N. V., Stepanova, T. M., Burak, V. G.** The food envelop forming coating using on the base of urinate polysaccharides in manufacture of chocolate products with protein hydrolysate. *The development of technocal sciences: problems and solution: Conference Proceedings, April 27-28, 2018.* Brno: Baltija Publishing, 2018, 53-58.
10. **Kondratjuk, N. V.** Vykorystannya heliv kharchovykh plivkoutvoryuyuchykh na osnovi sumishi uronatykh polisakharydiv u vyrobnytstvi obolonok dlya rybnykh zakusok [Use of gel-based food-based film-forming based on a mixture of low-grade polysaccharides in the production of shells for fish snacks.]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: tekhnichni nauky [Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky Series: Engineering]*, 2018, **29**(68), 3, **1**, 48-52.
11. **Nešića, A., Onjiaa, A., Davidovič, S., etc.** Design of pectin-sodium alginate based films for potential healthcare application: Study of chemico-physical interactions between the components of films and assessment of their antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 2017, **157**, 981-990, doi:10.1016/j.carbpol.2016.10.054.
12. **Rezvaniana, M., Ahmadb, N., etc.** Optimization, characterization, and in vitro assessment of alginate-pectin ionic cross-linked hydrogel film for wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, **97**, 131-140, doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.12.079.
13. **Ignatov, S. K.** Kvantovo-khimicheskoye modelirovaniye molekulyarnoy struktury, fizikokhimicheskikh svoystv i re-aktsionnoy sposobnosti Chast' 1. Obzor sovremennykh meto-dov elektronnoy struktury i teorii funktsionala plotno-sti [Quantum-chemical modeling of molecular structures, physico-chemical properties and reactivity. (Part 1. Review of modern methods of electronic structure and the theory of density functional)]. *Uch.-metod. mat. [Educational and methodological materials]*. Nizhniy Novgorod, 2006, 7-9.
14. **Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B. e. a.** GAUSSIAN-09, Rev. C.01. Wallingford CT: Gaussian, Inc., 2010.
15. **Andreyeva, T. A., Bedrina, M. E.** Vliyaniye gibridnykh potentsialov metoda DFT na rezul'taty issledovaniya zhidkokristallicheskoy fazy veshchestva [Influence of hybrid potentials of the DFT method on the results of the investigation of the liquid crystal phase of matter]. *Vestnik SPbGU [Bulletin SPbGU]. S. 10*, 2015, **1**, 16-24.

Сведения об авторах (About authors)

Кондратюк Наталія Вячеславівна – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Natalia Kondratjuk – Associate Professor, PhD Department of Food Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Пивоваров Євген Павлович – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі, професор кафедри технології харчування; м. Харків, Україна; e-mail: pclub@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: pclub@ukr.net.

Степанова Тетяна Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; email: eshkina97@gmail.com.

Tatiana Stepanova – Associate Professor, Department of Food Technologies, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine; email: eshkina97@gmail.com.

Толошній Данило Вікторович – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, студент 3 курсу кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна.

Danylo Toloshnyi – Oles Honchar Dnipro National University, student 3th years of the Department of Food Technology, Dnipro, Ukraine.

Поливанов Єгор Андрійович – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, студент 3 курсу кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна.

Yehor Polyvanov – Oles Honchar Dnipro National University, student 3th years of the Department of Food Technology, Dnipro, Ukraine.

Please cite this article as:

Kondratjuk, N., Pivovarov, E., Stepanova, T., Toloshnyi, D., Polyvanov, Y. Quantum-chemical modeling of molecular complexes structure in "Uronic polyesacharides – Ca^{2+} " system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 71–77, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.35.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кондратюк, Н. В. Квантово-химическое моделирование структур молекулярных комплексов в системе «Уронатные полисахариды – Ca^{2+} » / **Н. В. Кондратюк, Е. П. Пивоваров, Т. М. Степанова, Д. В. Толошний, Е. А. Поливанов** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 71–77. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.35.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кондратюк, Н. В. Квантово-хімічне моделювання структур молекулярних комплексів у системі «Уронатні полісахариди – Ca^{2+} » / **Н. В. Кондратюк, Е. П. Пивоваров, Т. М. Степанова, Д. В. Толошний, Е. А. Поливанов** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 71–77. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.35.

АНОТАЦІЯ Проведено квантово-хімічне моделювання процесу іонотропного гелеутворення в системах уронатних полісахаридів (альгіната натрія високогулуронатного і пектина низькоетерифікованого амідованого) з кальцієм. Розрахунок взаємодії активних функціональних груп уронатних полісахаридів з іоном кальцію пояснює можливість протікання даного процесу з утворенням наступних хелатних комплексів: кальцій-гулуронатного (CaGul_4), кальцій-галактуронатного (CaGal_4) та кальцій-гулуронат-галактуронатного ($\text{CaGal}_2\text{Gul}_2$).

У статті повідомляється про те, що процес взаємодії здійснюється за рахунок хімічного зв'язування карбоксильних та гідроксильних груп уронатних полісахаридів з іоном металу. Встановлено, що кальцій-гулуронатний комплекс має вісім точок зв'язування з іоном кальцію, а комплекси кальцій-галактуронатний та кальцій-гулуронат-галактуронатний – по чотири. Описані довжини зв'язків, величини торсійних кутів та кутів $\text{O}_n\text{-Ca-O}_m$ в одержаних хелатних комплексах.

Ключові слова: альгінат; пектин; комплексоутворення; квантово-хімічне моделювання.

Поступила (received) 02.07.2018

УДК 616.838 (479.22)

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.36

ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МЕЖАХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ВИЖНИЦЬКИЙ»

А. Ю. МАСІКЕВИЧ¹, М. П. КОЛОТИЛО², В. М. ЯРЕМЧУК³

¹кафедра гігієни та екології Буковинського державного медичного університету; м. Чернівці, УКРАЇНА

²директор національного природного парку «Вижницький»; смт. Берегомет, Чернівецька область, Вижницький район, УКРАЇНА

³заступник директора національного природного парку «Вижницький»; смт. Берегомет, Чернівецька область, Вижницький район, УКРАЇНА

*e-mail: masikevich.a@gmail.com

АНОТАЦІЯ Використано метод визначення концентрації аероіонів для оцінки екологічного стану атмосфери різних функціональних зон об'єкту природно-заповідного фонду України. Показано, що заповідна зона національного природного парку «Вижницький» характеризується високим вмістом легких негативних аероіонів, дещо поступається за даним показником територія зони стаціонарної рекреації і мінімальне значення зафіксовано в господарській зоні заповідного об'єкту. Встановлено сезонну залежність величини показника уніполярності різних функціональних зон територій природно-заповідного фонду.

Ключові слова: заповідні території; функціональні зони; атмосферне повітря; аероіони; показник уніполярності

ESTIMATION OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE FUNCTIONAL ZONES OF THE NATIONAL NATURE PARK "VYZHNYTSKY"

A. MASIKEVICH¹, M. KOLOTILO², V. YAREMCHUK³

¹department of Hygiene and Ecology, Bucovinian State Medical University, Chernivtsi, UKRAINE

²National Nature Park "Vyzhnytsky", smt. Beregommet, Vyzhnytsya region, UKRAINE

³National Nature Park "Vyzhnytsky", smt. Beregommet, Vyzhnytsya region, UKRAINE

ABSTRACT A method for determining the concentration of aeroions for assessing the environmental state of the atmosphere of various functional zones of the object of the nature reserve fund of Ukraine has been used.

The degree of ionization of the air was determined by the number of positive and negative polarity ions in one cubic centimeter of air using the MAS-01 air ion counter. According to the results of the measurement, the unipolarity index was calculated. According to the existing standards, the normalized value of this indicator is in the range $0,4 \leq U \leq 1,0$.

It is shown that the protected zone of the National Nature Park "Vyzhnytsky" is characterized by high content of light negative aeroions, somewhat inferior to the given indicator territory of the zone of stationary recreation and the minimum value is recorded in the economic zone of the protected object. The level of concentration of light negative air ions in the zone of inpatient recreation, in accordance with the existing standards, is characterized as high enough and can serve as a basis for the placement of objects of recreation and health improvement on the given territories. The seasonal dependence of the value of the unipolarity indicator of different functional zones of the protected areas is established.

It is shown that during the transition from the reserved reserve to the economic zone of the object of the nature reserve fund, characterized by different levels of anthropogenic activity, there is a decreasing gradient of concentration of light air ions, as evidenced by the value of the index of unipolarity.

Key words: protected areas; functional zones; atmospheric air; air ions; unipolarity index

Вступ

Стан атмосферного повітря виступає інтегральним показником, що об'єктивно відображає екологічну ситуацію основних оболонок біосфери (гідросфери, педосфери, біоценозу). Саме тому показники повітряного басейну виступають

надійними індикаторами екологічної безпеки та відображають збалансованість розвитку екосистеми в цілому. Одним із підходів дослідження екологічного стану атмосфери може слугувати визначення кількості аероіонів іонізованого повітря [5, 6, 7]. Розрізняють природну і штучну аероіонізацію. Основними природними джерелами іонізації

атмосфери є: космічні промені, що діють у всій товщі атмосфери; випромінювання радіоактивних речовин, що знаходяться в землі і в повітрі; УФ і корпускулярне випромінювання Сонця. До іонізуючих факторів належать також так звані тихі електричні розряди у крон високих дерев і на вершинах гір, що виникають при великих значеннях напруженості електричного поля атмосфери; розпорощення і розбризкування води у гірських річок і водоспадів тощо [10]. А. Л. Чижевський [9] вперше довів, що вплив повітря на організм визначається співвідношенням в ньому негативних і позитивних аероіонів. Він встановив, що негативні аероіони діють сприятливо, а позитивні – негативно. Запропонований свого часу А. Л. Чижевським підхід набув широкого застосування в медицині, сільськогосподарській практиці, охороні праці, безпеці життєдіяльності тощо. Оскільки вміст аероіонів в атмосфері є індикатором чистоти повітря і, водночас, відіграє важливу роль у формуванні фізіологічного стану людини [9, 11], представляє інтерес використання даного підходу для з'ясування стану екологічної безпеки окремих територій та регіонів. Проблему екологічної безпеки атмосферного повітря в розрізі регіонів України детально проаналізовано в дослідженнях [1, 2, 3, 4]. Не вивченим залишається питання стану атмосферного повітря в межах територій заповідних об'єктів. Наділені відповідним природоохоронним статусом та зонуванням, заповідні території є свого роду еталонами для моніторингових досліджень змін екосистем під дією антропогенної діяльності.

Мета роботи

Метою даної роботи було вивчення екологічного стану атмосферного, повітря на основі порівняння показників іонізації, у восьми пунктах спостереження заповідної, рекреаційної та господарської зон національного природного парку «Вижницький» (НПП «Вижницький»).

Методи дослідження

Концентрацію аероіонів визначали при допомозі портативного лічильника аероіонів МАС-01 (встановлений рівень рухомості – $0,4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$), відповідно до інструкції [12]. Сучасні лічильники аероіонів мають великі відносні похибки вимірювань (40–50 %), що вимагає значної кількості вимірювань для отримання достовірних даних. Згідно з інструкцією з експлуатації МАС-01 одне вимірювання складається з визначення середнього значення для кожної полярності за 25 показами. Ступінь іонізованості повітряного середовища визначали за кількістю іонів кожної полярності в одному кубічному сантиметрі повітря. За результатами вимірювання розраховували показник уніполярності. Показник уніполярності визначається як відношення

концентрації позитивних аероіонів до концентрації негативних [13]:

$$Y = p^+/p^-$$

де, Y – коефіцієнт уніполярності,
 p^+ – концентрація позитивних аероіонів,
 p^- – концентрація негативних аероіонів.

Через відсутність в Україні чинних санітарних норм в галузі нормування показників іонізації повітря нами використовувалися показники зазначені в радянських нормативних документах [8] та показники нині діючі в російському СанПіНі [13]. Відповідно нормована величина даного показника [8, 13] знаходиться в діапазоні $0,4 \leq Y \leq 1,0$.

Таблиця 1 – Точки відбору проб

Функціональні зони НПП «Вижницький»	Розташування пункту	Номер пункту
заповідна зона	верхня частина русла р. Стебник	1
	верхня частина русла Сухий струмок	2
	верхня частина русла р. Славець	3
зона стаціонарної рекреації	рекреаційна зона «ОЙКОС»	4
	рекреаційна зона «Мисливський будинок»	5
господарська зона	нижня частина русла р. Стебник	6
	нижня частина русла Сухий струмок	7
	середня частина русла р. Солонець	8

Схематичне розташування пунктів відбору проб представлено на рис. 1, із детальним поясненням в таблиці 1.

Обговорення результатів

Відомо, що біологічна роль іонізації повітря визначається наявністю електрично-заряджених атомів і молекул газів. Повітря природних систем відрізняється від техногенно-трансформованих вмістом іонів та співвідношенням негативних та позитивних аероіонів, зокрема – повітря лісових масивів вміщає 1,5–5 тис. іонів/см³, чисте повітря сільських ландшафтів має від 2 до 3 тис іонів/см³, а повітря урбанізованих територій – лише 0, –1 тис іонів/см³ [9]. Розрізняють позитивно і негативно заряджені іони, «легкі» та «важкі» аероіони. Їх співвідношення в антропогенно зміненому та природному середовищі істотно відрізняється [1, 11].

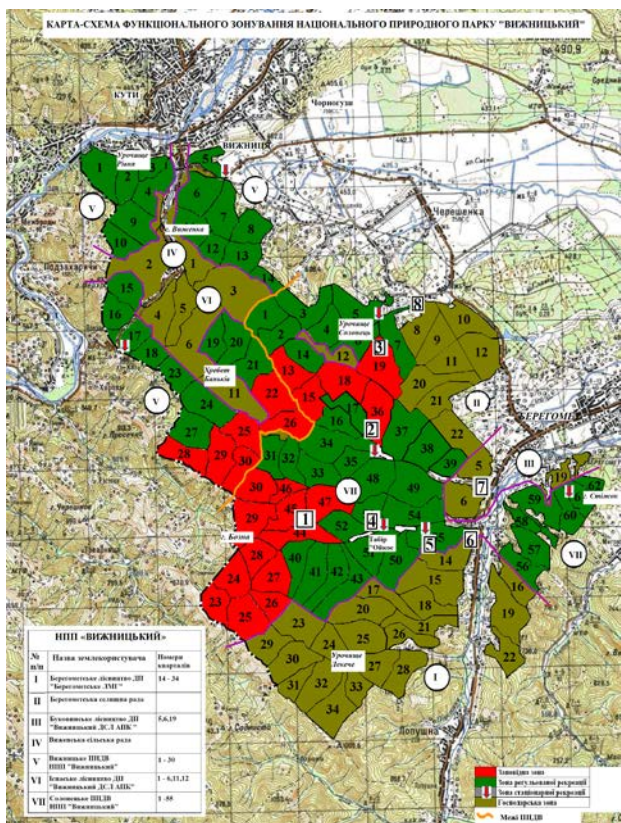


Рис. 1 – Картосхема забору проб

Результати опрацьовано статистично. Дані достовірні при значенні $p \leq 0,05$ [14].

Проведені нами дослідження (табл. 2) показали, що природне та напівприродне середовище заповідної зони НПП «Вижницький» характеризується високим вмістом легких негативних аероіонів. Дещо поступається за даним показником територія зони стаціонарної рекреації (1500–1700 легких аероіонів в $см^3$) і мінімальне значення вмісту аероіонів зафіксовано в господарській зоні заповідного об'єкту. Рівень концентрації легких негативних аероіонів в зоні стаціонарної рекреації, відповідно до існуючих нормативів, характеризується як достатньо високий і може служити підставою для розміщення на даних територіях об'єктів відпочинку та оздоровлення населення.

Описана вище тенденція зміни в концентрації легких аероіонів може бути пояснена зростанням процесів деіонізації атмосферного повітря під впливом антропогенного навантаження, зокрема впливу автомобільного транспорту. Підтвердженням служать дослідження в яких показано, що однією з причин деіонізації повітря є високий вміст аерозолів та пилу у повітрі, спричинений викидами автотранспорту та збуренням повітряних мас внаслідок пересування автомобілів.

Таблиця 2 – Вміст аеронів в атмосферному повітрі різних функціональних зон НПП «Вижницький»

Функціональні зони НПП «Вижницький»	Номер пункту відбору проб	Концентрація легких аероіонів, $см^3$		Показник уніполярності (У)
		-	+	
заповідна зона	1	2900	1600	0,55
	2	2800	1650	0,60
	3	2600	1300	0,50
зона стаціонарної рекреації	4	1700	1250	0,74
	5	1500	1125	0,75
господарська зона	6	750	690	0,92
	7	720	600	0,83
	8	800	675	0,84

Примітка: нумерація пунктів відбору проб аналогічна зазначеній в таблиці 1.

Вивчення сезонної залежності нагромадження аероіонів в різних функціональних зонах об'єкту природно-заповідного фонду показало (рис. 2), що впродовж року має місце зміна активності процесу іонізації повітря в різних зонах НПП, про що свідчить показник уніполярності. В заповідній зоні, практично відсутня різниця за вмістом легких негативних аероіонів між весняно-літнім та літньо-осіннім періодом.

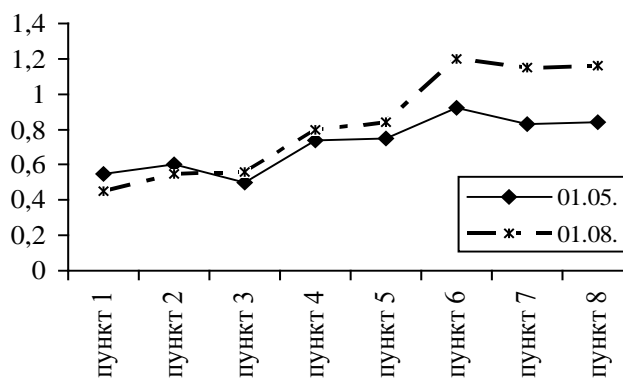


Рис. 2 – Сезонний характер зміни показника уніполярності іонізованого повітря різних функціональних зон НПП «Вижницький» (нумерація пунктів відбору проб аналогічна зазначеній в таблиці 1)

Для заповідної функціональної зони величина показника уніполярності практично не залежить від сезонних змін і знаходиться в діапазоні 0,4–0,6 одиниць. Достовірною дана різниця є тільки для господарської зони національного природного парку. По мірі переходу від весняно-літнього до літньо-осіннього періоду

має місце вагоме зростання величини показника уніполярності для господарської зони (1,0–1,5 од.).

Висновки

Встановлено, що при переході від заповідної до господарської зони об'єкту природно-заповідного фонду, що характеризуються різним рівнем антропогенної діяльності, має місце спадаючий градієнт концентрації легких аероіонів про що наглядно свідчить величина показника уніполярності.

Список літератури

1. **Глушков, А. В.** Хаос во временных рядах концентраций загрязняющих веществ в атмосфере / **А. В., Глушков, Э. Н. Серга, Ю. Я. Бунякова** // *Вісник Одеського державного екологічного ун-ту.* – Одеса: Вид-во ОДЕУ, 2009. – №8. – С. 233–238.
2. **Хвесик, М.** Екологічна і природно-техногенна безпека України в регіональному вимірі / **М. Хвесик** // за наук. ред. акад. НААН України, д-ра екон. наук, проф. а; Нац. акад. наук України, Держ. установа "Ін-т економіки природокористування та сталого розвитку". – Київ: Ін-т економіки природокористування та сталого розвитку, 2014. – 339 с.
3. **Обиход, Г. О.** Екологічна безпека атмосферного повітря України: просторова структуризація / **Г. О. Обиход, А. А. Омельченко, В. В. Бойко** // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Економічні науки: збірник наукових праць.* 2016. – Том 31. – Вип. 1. – С.160 – 167.
4. **Коренівська, О. Л.** Методи та апаратура для визначення кількості аероіонів в іонізованому повітрі / **О. Л. Коренівська** // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2010. – №2 (53). – С. 93–101.
5. **Коренівська, О. Л.** Експериментальні дослідження приладів для аероіонотерапії в умовах лікувальних закладів із застосуванням методу та приладу вимірювання концентрації легких аероіонів / **О. Л. Коренівська** // *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* – 2015. – №2 (73). – С. 142–147.
6. **Gustavs, K.** Options to minimize non-ionizing electromagnetic radiation exposures (EMF/RF/Static Fields) in office environments / **K. Gustavs** // *Final paper of Environmental & Occupational Health Certificate Program.* – University of Victoria. – 2008, 158 p.
7. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: СанПиН 2.2.4. 1294-03. – [Введён в действие 2003-15-06]. – М.: МЗ РФ, 2003. – 6 с.
8. **Чижевский, А. Л.** Аэроионы и жизнь. / **А. Л. Чижевский.** – Москва: «Мысль», 1999. – 716 с.
9. **Улащик, В. С.** Физиотерапия. Универсальная медицинская энциклопедия / **В. С. Улащик.** – Мн.: Книжный Дом, 2008. – 640 с.
10. **Амиранашвили, А. Г.** Содержание легких аэроионов в некоторых курортных и туристических зонах Боржоми и Тбилиси / **А. Г. Амиранашвили, В. А. Амиранашвили, Т. Г. Блиадзе, И. Д. Тархан Мурави, В. А. Чихладзе** // [Електронний ресурс]. URL: <http://docplayer.ru/68522152-Udk-udc-479-22-s-572-soderzhanie-legkih-aero->

ionov-v-nekotoryh-kurortnyh-i-turisticheskikh-zonah-borzhomi-i-tbilisi.html.

11. Прибор для измерения концентрации аэроионов в воздухе (малогабаритный аэронный счетчик МАС-01). [Електронний ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/6066047/page:2/4/6>.
12. **Матвеева, И. В.** Нормування концентрації аероіонів у повітрі робочих приміщень та шляхи його вдосконалення / **И. В. Матвеева, В. М. Гусев, Р. М. Лемківський** // [Електронний ресурс]. URL: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/25849>.
13. **Доспехов, Б. А.** Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / **Б. А. Доспехов.** – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
14. **Сидоров, О. В.** Дослідження впливу чинників деіонізації на концентрацію легких аероіонів у приміщеннях / **О. В. Сидоров** // *Вісник ЛДУ БЖД.* – 2012. – №6. – С.163–167.

Bibliography (transliterated)

1. **Glushkov, A. V., Serga, E. N., Bunyakova, Yu. Ya.** Haos vo vremennykh ryadah kontsentratsiy zagryaznyayuschih veschestv v atmosfere. *Visnik Odeskogo derzhavnogo ekologichnogo un-tu.* – Odesa: Vid-vo ODEU, 2009, **8**, 233–238.
2. **Hvesik M.** Ekologichna I prirodno-tehnogenna bezpeka Ukrayini v regionalnomu vimiri. za nauk. red. akad. NAAN Ukrayini, d-ra ekon. nauk, prof. a; Nats. akad. nauk Ukrayini, Derzh. ustanova "In-t ekonomiki prirodokoristuvannya ta stalogo rozvitku" Kyiv: In-t ekonomiki prirodokoristuvannya ta stalogo rozvitku, 2014, 339 s.
3. **Obihod, G. O., Omelchenko, A. A., Boyko, V. V.** Ekologichna bezpeka atmosferenogo povitrya Ukrayini: prostorova strukturizatsiya. *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Ekonomichni nauki: zbirnik naukovih prats.* 2016, **31**, 1, 160 – 167.
4. **Korenivska, O. L.** Metodi ta aparatura dlya viznachennya kilkostI aeroioniv v ionizovanomu povitri. *Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seriya: Tehnicni nauki,* 2010, **2** (53), 93–101.
5. **Korenivska, O. L.** Eksperimentalni doslidzhennya priladiv dlya aeroionoterapiyi v umovah likuvalnih zakladiv iz zastosuvannyam metodu ta priladu vimiryuvannya kontsentratsiyi legkih aeroioniv. *Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seriya: Tehnicninauki,* 2015, **2** (73), 142–147.
6. **Gustavs, K.** Options to minimize non-ionizing electromagnetic radiation exposures (EMF/RF/Static Fields) in office environments. *Final paper of Environmental & Occupational Health Certificate Program.* University of Victoria 2008, 158 p.
7. Gигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: СанПиН 2.2.4. 1294-03 [VvedYon v deystvie 2003-15-06]. M.: MZ RF, 2003. 6 s.
8. **Chizhevskiy, A. L.** Aeroiony i zhizn. Moskva: «Myisl», 1999, 716 s.
9. **Ulaschik, B. C.** Fizioterapiya. Universalnaya meditsinskaya entsiklopediya. Mn.: Knizhnyiy Dom, 2008, 640 s.
10. **Amiranashvili, A. G., Amiranashvili, V. A., Bliadze, T. G., Tarhan Mouravi, I. D., Chihladze, V. A.** Soderzhanie legkih aeroionov v nekotorykh kurortnykh i turisticheskikh zonah Borzhomi i Tbilisi. Available at: <http://docplayer.ru/68522152-Udk-udc-479-22-s-572-soderzhanie-legkih-aero->

- ionov-v-nekotoryh-kurortnyh-i-turisticheskikh-zonah-borzhomi-i-tbilisi.html.
11. Pribor dlya izmereniya kontsentratsii aeroionov v vozduhe (malogabaritnyy aeronnyy schetchik MAS-01). Available at: <https://studfiles.net/preview/6066047/page:2/4/6>.
 12. **Matveeva I. V., Gusev, V. M., Lemkivskiy, R. M.** Normuvannya kontsentratsiyi aeroniv u povitri robochih primischen ta shlyahi yogo vdoskonalennya. Available at: <http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/25849>.
 13. **Dospehov, B. A.** Metodika polevogo opyita (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). M.: Agropromizdat, 1985, 351 s.
 14. **Sidorov, O. V.** Doslidzhennya vplivu chinnikov deionizatsiyi na kontsentratsiyu legkih aeroioniv u primischennyah. *Visnik LDU BZhd*, 2012, **6**, 163–167.

Відомості про авторів (About the Authors)

Масікевич Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гігієни та екології Буковинського державного медичного університету; м. Чернівці, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2862-9671>; e-mail: masikevich.a@gmail.com.

Andrij Masikevich – department of Hygiene and Ecology, Bucovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2862-9671>; e-mail: masikevich.a@gmail.com.

Колотило Михайло Петрович – директор національного природного парку «Вижницький»; смт. Берегомет, Чернівецька область, Вишницький район, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-8383>; e-mail: vyzhpark@ukrpost.ua.

Mikhail Kolotilo – National Nature Park "Vyzhnytsky", smt. Beregomet, Vyzhnytsya region, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1174-8383>; e-mail: vyzhpark@ukrpost.ua.

Яремчук Валерій Миколайович – заступник директора національного природного парку «Вижницький»; смт. Берегомет, Чернівецька область, Вишницький район, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9592-151X>; e-mail: vyzhpark@ukrpost.ua.

Valery Yaremchuk – National Nature Park "Vyzhnytsky", smt. Beregomet, Vyzhnytsya region, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9592-151X>; e-mail: vyzhpark@ukrpost.ua.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Масікевич, А. Ю. Оцінка стану атмосферного повітря в межах функціональних зон національного природного парку «Вижницький» / **А. Ю. Масікевич, М. П. Колотило, В. М. Яремчук** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 78-82. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.36.

Please cite this article as:

Masikevich, A., Kolotilo, M., Yaremchuk, V. Estimation of the state of atmospheric air in the functional zones of the national nature park "Vyzhnytsky". *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 78-82, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.36.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Масікевич, А. Ю. Оценка состояния атмосферного воздуха в пределах функциональных зон национального природного парка «Вижницький» / **А. Ю. Масікевич, М. П. Колотило, В. М. Яремчук** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 78-82. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.36.

АННОТАЦІЯ *Использован метод определения концентрации аэроионов для оценки экологического состояния атмосферы различных функциональных зон объекта природно-заповедного фонда Украины. Показано, что заповедная зона национального природного парка «Вижницький» характеризуется высоким содержанием легких отрицательных аэроионов, несколько уступает за данным показателем территория зоны стационарной рекреации и минимальное значение зафиксировано в хозяйственной зоне заповедного объекта. Установлено сезонную зависимость величины показателя униполярности разных функциональных зон территорий природно-заповедного фонда.*

Ключевые слова: *заповедные территории; функциональные зоны; атмосферный воздух; аэроионы; показатель униполярности*

Поступила (received) 20.06.2018

УДК 66.074:661

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.37

СТРУКТУРА ПІННОГО ШАРУ НА ПРОТИТЕЧІЙНИХ КОНТАКТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ

**В. Ф. МОЇСЄЄВ¹, Є. В. МАНОЙЛО², О. О. ЛЯПОЩЕНКО³, О. М. ХУХРЯНСЬКИЙ⁴,
Н. Г. ПОНОМАРЬОВА⁵**

¹⁻² каф. ХТПЕ, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

³ каф. процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв, СДУ, Суми, УКРАЇНА

⁴ ПАТ "УКРХІМПРОЕКТ", Суми, УКРАЇНА

⁵ каф. ІТТіА, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*email: bublikova1@gmail.com

АНОТАЦІЯ Промислова реалізація методу стабілізації газорідного шару дозволяє значно розширити галузь застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. У статті виявлено основні закономірності гідродинаміки пінного шару зі стабілізатором на протитечійних контактних елементах. Розглядаються структурні параметри фаз пінного шару як цільного середовища. Враховується взаємний вплив двох фаз. Вивчено закономірності газовмісту та параметри площі контакту фаз. Встановлено функціональні залежності основних параметрів процесу. Проведений аналіз ряду досліджень показав, що перспективним напрямком інтенсифікації процесу масообміну є розробка апаратів з трифазним псевдозрідженим шаром зрошуваної насадки складних форм із пористих матеріалів. Отже, необхідне проведення спеціальних досліджень гідродинамічних режимів роботи апарату з пінним шаром, що стабілізується із визначенням параметрів, що впливають на швидкість переходу контактного елемента з одного режиму в інший.

Ключові слова: промислові газові викиди; процес уловлювання; гідродинаміка, масообмін; пінний апарат; пінний шар; дослідження процесів очищення; стабілізація пінного шару; інтенсивний апарат

FOAM LAYER STRUCTURE ON COUNTERCURRENT CONTACT ELEMENTS WITH STABILIZATION

**V. MOISEEV¹, E. MANOIL², A. LIPOSHCHENKO³, O. KHUKHRYANSKY⁴,
N. PONOMARYOVA⁵**

¹ Department of Chemical techniques and industrial ecology, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

² Department of Chemical techniques and industrial ecology, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

³ Department of Processes and Equipment for Chemical and Petroleum Processing Industries, SDU, Sumy, UKRAINE

⁴ "UKRHIMPROEKT", Sumy, UKRAINE

⁵ Department of Integrating technology, processes and apparatus, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Industrial implementation of the stabilization method of the gas-liquid layer can significantly expand the field of foaming devices and opens up new opportunities for intensifying technological processes with the simultaneous for creation of low-waste technologies. The article reveals the basic regularities of the hydrodynamics of the foam layer with the stabilizer on counteracting contact elements. The structural parameters of the phases of the foam layer as a whole medium are considered. Take into account the mutual influence of two phases. The laws of gas content and parameters of the contact area of phases have been studied. The functional dependences of the main parameters of the process are established. The conducted analysis of a number of studies has shown that a promising direction of intensification of the mass transfer process is the development of apparatuses with a three-phase fluidized bed of an irrigated nozzle of complex forms made of porous materials. Consequently, it is necessary to carry out special investigations of the hydrodynamic modes of the apparatus with a foam layer, which stabilizes with the definition of parameters that affect the transition speed of the contact element from one mode to another.

In today's conditions, a significant human-induced environmental impact on time is the search for the most effective and economical methods for the purification of industrial emissions. Methods of cleaning and equipment being developed should take into account the possibility of work in a wide range of working conditions. In order to reduce energy consumption in systems for catching harmful and toxic substances, it is necessary to provide a reduction of hydraulic resistance while maintaining the high efficiency of gas streams cleaning.

Given the controversial requirements for equipment and despite the large number of existing machines for mass transfer processes, the development of new high-intensity and efficient equipment is of considerable interest for environmental technologies in many industries.

Key words: industrial gas emissions; cleaning process; hydrodynamics, mass transfer; foam apparatus; foam layer, research of purification processes; stabilization of foam layer; intensive apparatus

Вступ

В сучасних умовах значного антропогенного впливу на навколишнє середовище на часі пошук

найбільш ефективних і економічних методів очищення промислових викидів. Методи очищення і апаратура, що розробляються повинні враховувати можливість роботи в широкому діапазоні робочих

умов. Для зниження енерговитрат в системах уловлювання шкідливих і токсичних речовин необхідно забезпечувати зниження гідравлічного опору при збереженні високої ефективності очищення газових потоків.

З огляду на суперечливі вимоги до обладнання і незважаючи на велику кількість вже наявних апаратів для проведення масообмінних процесів, розробка нового високоінтенсивного та ефективного обладнання становить значний інтерес для природоохоронних технологій в багатьох галузях промисловості.

Поширеним методом очищення газових потоків є абсорбційні методи поглинання шкідливих компонентів з відведених промислових газів. При цьому або відбувається процес фізичної абсорбції, або абсорбент вступає в хімічну взаємодію з компонентом який абсорбується (процес хемосорбції).

У наш час чітко визначилося напрямком, пов'язаний з проведенням дифузійних і подібних до них процесів в інтенсивних режимах розвиненою турбулентності при великих швидкостях потоків газів і рідин. Саме турбулізація газорідної системи призводить до суттєвого збільшення інтенсивності масообмінних апаратів.

Одним із способів турбулізації системи газ – рідина є перетворення її в дуже рухливу нестабільну піну за рахунок кінетичної енергії газу. Пінний режим обробки газів і рідин став передовою ідеєю в хімічній технології. Пінний режим і пінні апарати «класичного» типу описані в роботах [1, 2]. Інтенсифіковані апарати зі стабілізатором пінного шару знайшли широке застосування для уловлювання пилу з газів і для абсорбції газів в хімічній і суміжних галузях промисловості. Завдяки своїй високій ефективності, великої одиничної потужності, хорошим експлуатаційним якостям, їх застосування дозволяє вдосконалити стадії очищення газу в технологічних і санітарних цілях, збільшити ККД та підвищити надійність газоочисного устаткування

Мета роботи

Метою роботи є вивчення деяких гідродинамічних параметрів таких як газовміст та поверхня контакту фаз при обробці газорідних систем зі стабілізацією пінного шару на протитечійних контактних елементах. Проблема обробки промислових газових потоків вирішується за допомогою проведення процесу у інтенсивному режимі.

Промислова реалізація абсорбційних процесів у пінному шарі та використання методу стабілізації газорідного шару значно розширює сферу застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. А використання сучасних конструкцій зважених

насадок дозволяє модернізувати діючі абсорбційні апарати.

Викладення основного матеріалу

Гідродинаміка трубчастих і близьких до них за характеристиками колосникових решіток без стабілізатора піни досить повно досліджена в ряді робіт [3, 4, 5] вітчизняних і зарубіжних дослідників [6-10]. Встановлено, що основний вплив на гідродинаміку зрошуваних решіток надають швидкість газу в повному перерізі апарату, W_z , вільний перетин решіток, S_0 , і щільність зрошення L_0 .

Швидкість гетерогенних процесів масопередачі визначається гідродинамічними параметрами взаємодії і конструкцією робочого апарату. Турбулізація газорідної (Г-Р) системи веде до підвищення інтенсивності масообмінних апаратів. Одним з методів турбулізації системи газ – рідина є перетворення її в рухому нестабільну піну за рахунок кінетичної енергії газу.

Інтенсифіковані апарати зі стабілізатором пінного шару знаходять широке застосування для уловлювання пилу з газів і для абсорбції газів в хімічній і суміжних галузях промисловості. Завдяки своїй високій ефективності, великої одиничної потужності, хорошим експлуатаційними якостями їх застосування дозволяє вдосконалити стадії очищення газу в технологічних і санітарних цілях, збільшити ККД і підвищити надійність газоочисного устаткування.

Промислове застосування методу стабілізації газорідного шару значно розширює область використання пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. Конструктивне оформлення пінних апаратів дозволяє працювати як з перехресним струмом газу і рідини, так і з протитечею.

На підставі дослідження укрупнених моделей пінних апаратів з ґратами, зібраними з трубок різного діаметру, був досліджений зразок пінного абсорбера продуктивністю 12000 м³/год газу. Проведення досліджень було викликано необхідністю встановлення загального характеру гідродинамічних закономірностей.

Пінний шар складається з газової і рідкої фаз, кожна з яких розглядається як суцільне середовище. Взаємний вплив двох фаз враховується введенням в рівняння руху сили міжфазної взаємодії.

При постійному збільшенні швидкості газу у вільному перетині апарату шар піни збільшується за рахунок зменшення барботажного шару і при певній швидкості газу барботажний шар практично зникає, перетворюючись в шар пористої піни. При подальшому збільшенні швидкості газу структура піни змінюється – вона стає рухомою, перетворюється в сильно турбулізовану газорідну систему.

Така піна являє собою зважений шар рідини у

вигляді швидко рухомих плівок і струменів, добре змішаних з бульбашками і струменями газу. При цьому додавання будь-яких спеціальних піноутворювачів не потрібно. З ростом швидкості газу турбулентність піни зростає, структура піни набуває вихровий характер.

Газовміст і поверхня контакту фаз грають важливу роль при вивченні процесів, що відбуваються в системах газ-рідина. Коефіцієнти масопередачі можна визначити, якщо відома питома геометрична поверхня контакту фаз і висота шару піни. Більш докладно зупинимося на визначенні поверхні контакту фаз і газовмісту.

На величину газовмісту впливають швидкість газу в повному перерізі апарату, щільність зрошення і фізичні властивості рідини. Крім того, як показали попередні експерименти, внесення стабілізатора в шар змінює його газовміст. Це видно з графіка, наведеного на рис. 1.

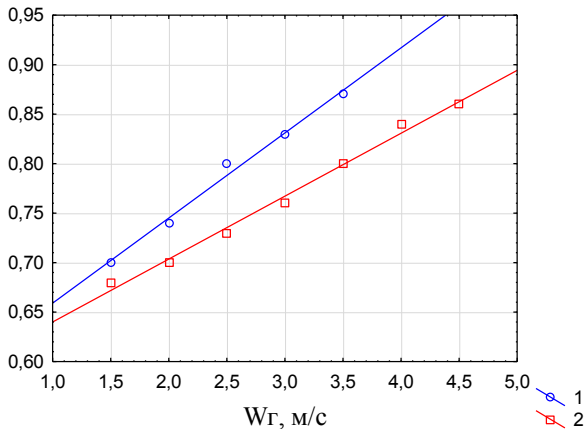


Рис. 1 – Залежність газовмісту пінного шару від швидкості газу при наявності стабілізатора (2) і без нього (1). $S_0 = 0,166 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $d_0 = 5 \text{ мм}$, $L_0 = 5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$

Зміна газовмісту виявляється істотним при збільшенні і швидкості газу до 2,5 м/с. Якщо при малій швидкості газу різниця φ_2 для апарату зі стабілізатором і без нього була близько 5-6%, то при $W_2 = 2,5 \text{ м/с}$ ця різниця досягає майже 10%, що має велике значення, якщо врахувати, що величина φ_2 при цій швидкості досягає значень 0,75. Існує думка, що збільшення газовмісту призводить до збільшення ПКФ і до очевидного звідси корисного ефекту.

У певних межах це так, але було відзначено, що геометрична питома об'ємна ВКФ зростає до швидкостей газу $W_2 = 2,0 - 2,2 \text{ м/с}$, а потім зменшується. Тому в даному випадку стабілізатор пінного шару, стримуючи зростання газовмісту, дозволяє зрушити точку екстремуму на кривій $a_z = f(W_2)$ збільшуючи геометричну ВКФ і граючи позитивну роль. Це твердження справедливе для великих наведених швидкостей W_2 , але може виявитися невірним при $W_2 \leq 1,5 \text{ м/с}$.

Крім самого факту наявності стабілізатора, деякий вплив на розподіл газовмісту надає його

розташування в шарі по висоті. Та частина піного шару, де знаходиться стабілізатор, ущільнюється. Це особливо помітно при великих витратах рідини. У верхній частині шару значення газовмісту практично залишається незалежним від відстані h_{cm} , хоча і намічаються деякі тенденції зростання середнього значення φ_2 в залежності від h_{cm} . В осередках стабілізатора цей вплив помітніше, що можна пояснити умовою «налипання» прикордонного шару на поверхню пластин стабілізатора. Величина цієї плівки, по нашим вимірам, змінюється в межах 1,5 – 2,5 мм і протягом її, мабуть, направлено на зустріч потоку, що і веде до зміни структури шару, в тому числі і газовмісту в пристінній області.

На підтвердження вищесказаного наводимо профілі газовмісту (рис. 2) від приведеної швидкості газу. Профілі концентрації φ_2 можуть бути описані подібно до профілів швидкостей для круглих апаратів. Профілі газовмісту в даному випадку задаються показником ступеня n і можуть бути знайдені з експерименту.

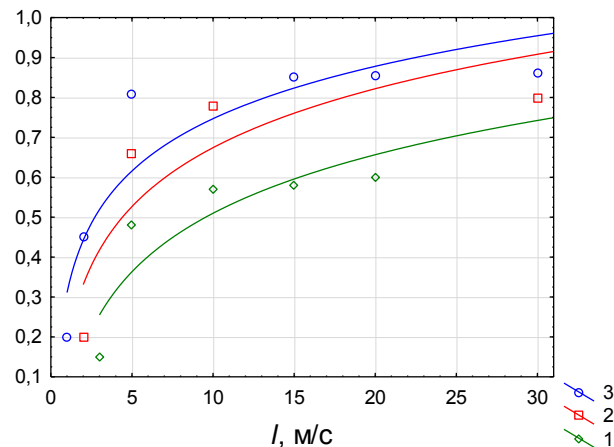


Рис. 2 – Профілі газовмісту при різних швидкостях газу: 1 – $W_2 = 1,5 \text{ м/с}$; 2 – $W_2 = 3,5 \text{ м/с}$; 3 – $W_2 = 4,5 \text{ м/с}$

Для подання розподілу газовмісту по всьому об'єму, ми провели вимірювання локальних значень φ_2 в місці розташування отворів і по висоті шару. Результати вимірювання наведено на рис. 3 та 4, вони підтверджують наявність певних зон. Перша зона (ділянка 0-1) характеризується складною структурою і різко відрізняється значеннями газовмісту в площині решітки. На цій ділянці відбувається руйнування струменів, що виходять з отворів, і протяжність зони визначається силою динамічного напору $W_{дин}$.

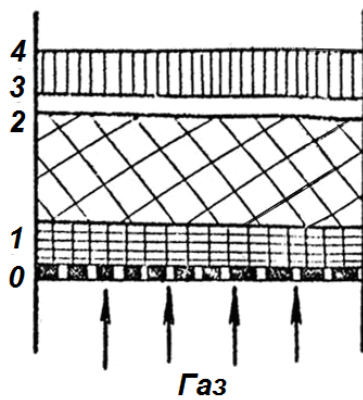


Рис. 3 – Зони газорідного шару на решітці.
0 - 1 зона пінно-струменева; 1 - 2 зона пінного шару; 2 - 3 зона піни підвищеної щільності; 3 - 4 зона бризок

Причому, збільшення W_z призводить до збільшення цієї зони. при швидкості $W_z = 2$ м/с протяжність цієї зони дорівнює в середньому 5 - 20 мм. Струминне витікання газу передбачає на кордоні струменевої зони виникнення циркуляційної течії (кільцевих вихорів), що створює високу турбулізацію шару і кілька занижує значення φ_z в цих точках при вимірюванні методом «кинутих» точок. Ділянки (а) і (б) залежності на (рис. 4) показують відмінність профілів в зоні (0-1) при вимірі над центром отвору (ділянка а) і над точкою, максимально віддаленою від довколишніх отворів (ділянка б). При вимірі поблизу отвору періодично відбувалася різка зміна газомісту, що можна пояснити протіканням рідини через отвори, а частота коливань при цьому змінюється в межах 1,5-2 Гц.

Для цієї зони характерна також підвищена щільність. Пінний шар (ділянка 1-2) - найбільш протяжний, структура статистично однорідна, за винятком пристінних областей. Спостерігається незначне зростання газомісту з ростом відстані від решітки. Ділянка (2-3) знаходиться на (10-15 мм) нижче верхнього рівня і володіє підвищеною щільністю, в порівнянні з пінним шаром на 15-20%. Протяжність цієї ділянки незначна (10-15 мм) і простежити його дуже важко, так як верхній рівень шару знаходиться постійно в русі.

Існування цієї ділянки можна спостерігати тільки при великій щільності зрошення і швидкості $W_z = 2-3$ м/с. Цей діапазон характеризується сильним коливанням у верхній частині шару і при цьому виникають великі краплі, які зриваються і повертаються в шар разом із зрошуючою рідиною, ущільнюючи його верхню частину. Ущільнення верхньої частини шару сприяє також і зрошувальна рідина, яка надходить в пінний шар зверху. Збільшення швидкості газу призводить до значного виносу рідини і верхня частина газорідного шару при цьому сильно «розтягується», утворюючи зону

бризок (ділянка 3-4). При малих приведених швидкостях газу $W_z < 2$ м/с перехід від зони 1-2 до зони 3-4 відбувається стрибком і ущільнення у верхній частині спостерігається тільки при великій щільності зрошення.

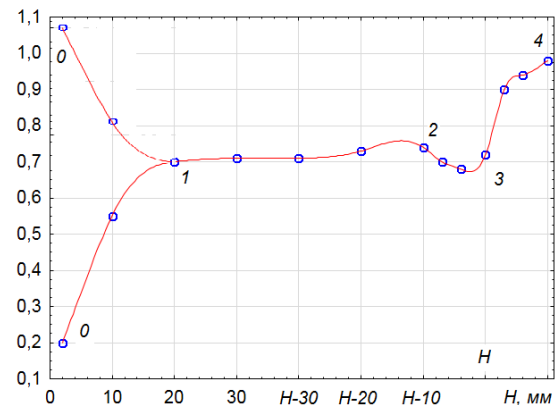


Рис. 4 – Профіль газомісту по висоті пінного шару: а - над центром отвору; б - над точкою, максимально віддаленою від довколишніх отворів; 0 - 1 - перехідна ділянка; 1 - 2 - пінний шар; 2 - 3 - верхня межа шару; 4 - зона бризок

Найбільший практичний інтерес представляє пінний шар, який займає більшу частину обсягу і є статистично рівномірним. Тому для знаходження середнього значення газомісту досить виміряти його локальні значення в декількох точках і провести осереднення.

Збільшення лінійної швидкості газу супроводжується зростанням газомісту. Причому, залежність ця майже лінійна. Вільний перетин в межах зміни 16-20% на величину не впливає для дірчастих решіток. Практично залежності газомісту від швидкості для дірчастих і двох поточних решіток збігається і лише певна різниця форм кривої спостерігається при швидкості $W_z = 4-5$ м/с.

Збільшення газомісту пов'язано з ростом середнього розміру бульбашок, який визначається дотичними напруженнями на поверхні бульбашок і пропорційний дисипації механічної потужності, наведеної до одиниці об'єму. Зміна швидкості газової фази або рідини веде до зміни дисипації енергії, що, в свою чергу, викликає зміну функції розподілу бульбашок за розмірами, тобто газомісту.

Щільність зрошення L_0 на газоміст впливає в меншій мірі, ніж швидкість газу. Зміна щільності зрошення на дірчастій решітці в двадцять разів (від 1 до 20 м³/м²-год) викликає зменшення газомісту лише приблизно на 5-7%. Збільшення щільності зрошення викликає зменшення газомісту в пристінній області, в той час, в деяких точках пінного шару можливе збільшення φ_z .

Так, на відстані 5 мм від стінки стабілізатора

зміна L_0 від 1 до 8 м³/м²·год практично не викликає зміни φ_z , а в точці, розташованій поблизу стінки, помітне деяке зниження φ_z , в той час як в точці, максимально віддаленій від стінок стабілізатора, спостерігається навіть деяке зростання газовмісту.

Для вивчення впливу таких фізичних параметрів, як в'язкість і поверхневий натяг рідини на величину φ_z , були проведені досліді з водними розчинами мила і гліцерину. Якщо поверхневий натяг змінювався в порівняно широких межах від 0,073 н/м до 0,043 н/м, то в'язкість - тільки в межах 1 - 2,6 сп. Збільшення одного з цих параметрів призводить до зниження величини газовмісту, і, як слід було очікувати, при високій турбулентності газорідного шару, тобто, при швидкостях газу вище 2,5 м/с, вплив поверхневого натягу і в'язкості зводиться до мінімуму. Однак, при швидкостях газу менших 2 м/с необхідно враховувати вплив фізичних властивостей рідини для правильної оцінки гідродинамічної обстановки в апараті.

Вплив в'язкості рідини на газовміст шару визначається співвідношенням між силами тертя всередині шару і об стінки апарату. Збільшення в'язкості призводить до великого збільшення сил тертя на стінці апарату і до малого збільшення всередині шару. Тому наявність стабілізатора збільшує ефект в'язкості.

Загальний вираз для визначення середнього газовмісту при двофазному рідинному потоці має вигляд:

$$\varphi_z = \frac{\bar{\beta}}{C_0 + \frac{\varphi_z W_{zj}}{\varphi_z j}} \quad (1)$$

де $\bar{\beta}$ – об'ємна концентрація газу в потоці, що визначається виразом

$$\bar{\beta} = \frac{Q_z}{Q_z + Q_p} \quad (2)$$

де $Q_z(Q_p)$ – загальна витрата газової (рідкої) фази, C_0 – безрозмірний параметр розподілу. W_{zj} – дрейфова швидкість газової компоненти. \bar{j} – об'ємна середня щільність потоку суміші, яка визначається з виразу:

$$\bar{j} = \frac{Q_z + Q_p}{S} \quad (3)$$

Рівняння (1) може застосовуватися для будь-якого режиму двофазної течії. З його аналізу можна зробити наступний висновок: параметр розподілу C_0 і середньозважена дрейфова швидкість $\overline{\varphi_z W_{zj}} / \varphi_z$ – враховують неоднорідність потоку і профілю концентрації, а місцеву відносну швидкість.

Таким чином, для знаходження φ_z в пінному апараті необхідно знайти профілі концентрацій і швидкостей і рівняння для дрейфової швидкості W_{zj} , використовуючи рівняння кількості руху для

двофазного потоку і рівняння нерозривності, було отримано вираз для середньозваженої дрейфової швидкості при турбулентному бульбашкою перебігу у вигляді:

$$\overline{\varphi_z W_{zj}} = 1.53 \left[\frac{\sigma g (\rho_{жс} - \rho_z)}{\rho_{жс}^2} \right]^{1/4} \quad (4)$$

Слід зазначити, що формула (4) отримана з урахуванням залежності дрейфової швидкості від концентрації. Неоднорідність профілю потоку і концентрації враховує параметр розподілу C_0 , який можна записати у вигляді:

$$C_0 = \frac{\int_A j \varphi_z ds}{\left[\int_A j ds \right] \frac{1}{S} \int_A \varphi_z ds} \quad (6)$$

Тут інтегрування ведеться по площі потоку S , вираз (6) вперше емпірично було отримано Армандом у вигляді:

$$\frac{1}{C_0} = \frac{\bar{\varphi}_z}{\beta}$$

Параметр C_0 змінюється в межах від 1 до 15, в залежності від зміни режиму течії. Знайдемо параметр розподілу C_0 , використовуючи експериментальний матеріал, отриманий в пінному апараті зі стабілізатором пінного шару. Відзначимо, що нам відомі значення профілю газовмісту в залежності від об'ємної витрати. Є підстави вважати, що профіль обох компонентів об'ємної концентрації мало відрізняється від профілю об'ємної щільності потоку, тому для прямокутного каналу параметр розподілу запишеться як:

$$C_0 = \left(\frac{n+2}{n+1/2} \right) \left(\frac{2\varphi_c}{\varphi_z + \varphi_c} \right), \quad (7)$$

де φ_c – газовміст в центральній частині апарату, n – ступінь розподілу, який задається профілем значення газовмісту.

Таблиця 1 - Показники ступеня розподілу n при різних W_z

W_z , м/с	1,5	2,0	2,5	3,0
n	2,2	2,63	2,95	3,67
W_z , м/с	3,5	4,0	4,5	5,0
n	3,85	5,05	6,64	7,8

Зміна швидкості газу призводить до зміни профілю концентрацій, а це змінює значення C_0 відмінність спостерігається також при зміні середнього газовмісту φ_z і газовмісту в центрі потоку φ_c .

Для знаходження параметра розподілу C_0 були використані дані табл. 1, отримані методом «кинутих» точок. Обробка результатів спостережень дозволила отримати C_0 у вигляді простої залежності від швидкості газу: для дірчатої решітки:

$$C_0 = 1,529 - 0,0857 W_z \cdot C^*, \quad (8)$$

де C^* - коефіцієнт розподілу швидкостей, м/с⁻¹.

Остаточний вираз для визначення газовмісту можна отримати у вигляді:

$$\varphi_z = \frac{1}{(C_0 - C^*W_z)(1 + \frac{L_0}{3600W_z}) + \frac{1.53}{W_z} \left[\frac{Gg(\rho_p - \rho_z)}{\rho^2_p} \right]^{1/2}}, \quad (9)$$

де $C_0^* = 1,529$ для дірчастих решіток, а $C^* = 0,057$.

Для води і близьких до неї за фізичними параметрами рідин формула спрощується і набуває вигляду:

$$\bar{\varphi}_z = \frac{1}{(C_0 - C^*W_z)(1 - L_0/3600W_z) + \frac{0,251}{W_z}}. \quad (10)$$

Формула має простий вигляд для знаходження газовмісту, так як не містить дрібних ступенів і залежить практично тільки від двох параметрів, що дещо спрощує інженерні розрахунки.

Коефіцієнт кореляції визначення φ_z для пінного апарату зі стабілізатором пінного шару за формулою (10) при зміні W_z від 1,5 м/с до 4,5 м/с, L_0 від 1 до 15 м³/м² год та $\sigma = 0,05 - 0,073$ н/м лежить в межах 0,94.

Поверхня контакту фаз (ПКФ)

Відомо, що зміна швидкості газу, запасу і фізичних властивостей рідини мають найбільш сильний вплив на величину питомої ПКФ. А такі параметри, як щільність зрошення, діаметр отворів і вільний перетин решітки впливають на ПКФ через величину запасу рідини.

Залежність $a_z \approx f(W_z)$ має точку екстремуму, а це значить, що збільшення швидкості газу викликає збільшення питомої ПКФ, а потім її зниження при інших рівних умовах. Однак застосування відомих формул не дає екстремальних залежностей. Це можна пояснити тим, що дослідники обмежують верхній діапазон зміни швидкості до величини 2 м/с, забезпечуючи тим самим полярність величини $\partial a_z / \partial W_z$. Нас же цікавлять питання інтенсифікації, а, отже, і поведінка питомої ПКФ при швидкостях газу 2 м/с та вище.

Для вирішення цього завдання ми скористалися стереометричним методом вимірювання і знаходили геометричну ПКФ в одиниці об'єму, а також ту, що припадає на одиницю площі решітки. Стереометричний метод вимірювання питомої ПКФ дає статистично середнє в часі значення величини a_z в локальній області. Однак, структура газорідного шару, як по перетину, так і по висоті колони неоднорідна, тому доцільно провести дослідження всередині всього обсягу, щоб врахувати нерівномірність шару при отриманні середніх значеннях ПКФ. Стінки апарату і стабілізатора істотно впливають на гідродинамічну обстановку в

пристінній області апарату. У пристінній області спостерігається складна залежність поведінки геометричної питомої ПКФ від швидкості.

Якщо при малій приведеній швидкості газу $W_z = 1,5$ м/с форма профілю ПКФ мало відрізняється від профілю газовмісту, то збільшення швидкості призводить до появи екстремального ефекту на кривій залежності питомої ПКФ від відстані до стінки. Поява екстремуму спостерігається при швидкості 2,0 м/с і вище. Причому, зростання W_z призводить до збільшення відносини (a_z / \bar{a}_z) . Розподіл, осереднений за часом і експериментальний можна апроксимувати формулою:

$$\frac{a_z}{\bar{a}_z} = A - B \cos \eta \exp(-\eta) + \exp(-2\eta), \quad (11)$$

де A та B – коефіцієнти, η – безрозмірна відстань від стінки.

Експеримент підтверджує припущення про те, що поблизу стінки відбувається дроблення великих газових бульбашок на більш дрібні, що збільшує геометричну питому ПКФ в цій області. Підтверджує це також і існування критичного стану газовмісту 0,7 – 0,75, при якому відбувається інтенсивна коалесценція газових включень. Це явище в пристінній області можна пояснити наступним чином. При малих витратах газової фази поблизу стінки відбувається майже лінійне зростання φ_z та a_z .

Після досягнення критичного витрати газу W^{kp} середній діаметр газових включень збільшується, приводячи до зменшення геометричної питомої ПКФ, однак, консервативні властивості стінки (стабілізатора), які проявляються через $\text{grad } W_z$ і перешкоджають зростанню газовмісту ПКФ, зберігаючи в цій частині значення ПКФ вище середнього. Наявність максимуму питомої ПКФ поблизу стінки видався цікавим ще й в тому сенсі, що наявність вихідних потоків уздовж поверхні призводить до сильної турбулізації, в результаті чого умови для процесу тепломасопередачі в цій області стають більш сприятливими. В області, прилеглої до стінок апарату і стабілізатора, створюються умови для «оновлення» ПКФ, яка має, на нашу думку, вирішальну роль в процесі дифузії.

Дослідження розподілу ПКФ по висоті газорідного шару показало, що найбільш сильна зміна ПКФ спостерігається в притарільчастій зоні і верхньої частини шару. Різке збільшення величини a_z до максимальної спостерігається на відстані 10-30 мм над ґратами, причому, збільшення швидкості призводить до збільшення відношення a_z / \bar{a}_z , а збільшення щільності зрошення до деякого зниження цього відношення і вирівнюванню по висоті. Можна також відзначити збереження трьох зон, кожній з яких притаманна своя структура. При великій щільності зрошення $L_0 > 10$ м³/м²·год і швидкості 2 м/с можна спостерігати ділянку з деяким підвищенням величини

a_2 , який здійснює симбатно до верхнього рівня, колювання.

Природно припустити, що в притарильчастій зоні відбувається дроблення струменів і великих бульбашок, внаслідок взаємодії газового потоку з пінним шаром, чим і обумовлене зростання ПКФ. А в верхній частині шару відбувається коалесценція, яка веде до збільшення фракційного складу великих бульбашок, і, як наслідок, зменшує величину a_2 . Використовуючи залежності розподілу ПКФ по висоті і діаметру, шляхом усереднення або графічного інтегрування можна отримати середні значення питомої ПКФ в одиниці об'єму.

В результаті порівняння залежності питомої ПКФ для апарату зі стабілізатором пінного шару і без нього отримано, що для обох кривих зберігається екстремальний характер. Очевидно, що стабілізатор перешкоджає зростанню великих бульбашок при збільшенні швидкості. Максимальний розвиток ПКФ для системи повітря-вода знаходиться в діапазоні швидкостей 1,8 - 2,0 м/с, тобто поблизу кордону виникнення хвильового режиму. Цікавим видається той факт, що різке зниження питомої ПКФ в одиниці об'єму при $W_2 > 2,5$ м/с для обох залежностей відбувається при одному і тому ж значенні газовмісту, приблизно рівному 0,75. Як відомо, при тих же значеннях газовмісту 0,7 і вище в трубах спостерігається перехід від бульбашкової течії до роздільної – кільцевої. Очевидно, тому, що зменшення ПКФ пов'язано з ростом обсягу бульбашок.

Зростання висоти пінного шару зі швидкістю газу стримує зменшення ПКФ на одиниці площі решітки. Видно, що наявність стабілізатора дозволяє отримати більш розвинену ПКФ на одиниці площі решітки і зрушити екстремальні значення в сторону більших швидкостей. Щільність зрошення на питому геометричну ПКФ чинить менший вплив, ніж швидкість газу. Однак цей вплив зовні носить суперечливий характер. Для пояснення отриманих результатів залежностей можна припустити наступне: при малій щільності зрошення і великій швидкості газу $W_2 \geq 3$ м/с значна частина рідини знаходиться в зоні бризок; структура шару представлена великими бульбашками, осередками, агрегатами, тому збільшення щільності зрошення призводить до ущільнення шару, особливо його нижньої частини, і зменшення зони бризок. При малих швидкостях газу $W_2 \leq 2$ м/с збільшення L_0 призводить до зниження газовмісту нижче критичного в нижній частині, і відповідно до зміни ПКФ.

Відомо, що фізичні параметри газорідної системи роблять сильний вплив на структурні параметри шару. Тому для встановлення залежностей ПКФ від в'язкості і поверхневого натягу були використані водні розчини мила і гліцерину.

Зміни в'язкості були незначні, в межах від 1 до

2,6 сп. При швидкості газу 2,5 м/с і нижче зберігається залежність ПКФ від в'язкості в ступеня 0,2 - 0,22. Зростання швидкості газу, як видно з малюнка, призводить до залежності від в'язкості до ступеня 0,16 - 0,18. Збільшення геометричної ПКФ зі збільшенням в'язкості обумовлено появою значної кількості маленьких газових включень, особливо поблизу поверхні стабілізатора і стінки. Зменшення поверхневого натягу викликає збільшення геометричної ПКФ в ступені 0,35 для швидкостей, менших 2,5 м/с. При великих швидкостях W_2 вплив поверхневого натягу так само, як і в'язкості, знижується.

Обробка експериментальних даних дозволила отримати рівняння множинної регресії для визначення питомої геометричної ПКФ:

$$a_2 = 1134,2 + 390,92W_2 - 8,76\sigma - 646,69\mu - 87,35W_2^2 + 0,01795W_2\sigma - 19,217W_2\mu - 0,034088\sigma^2 + 7,279\sigma\mu + 85,845\mu^2 \quad (12)$$

Відхилення даних, обчислених за рівнянням (12), від експериментальних знаходиться в межах 15%.

Обговорення результатів

Раніше було висловлено припущення про перспективність використання пористих матеріалів для виготовлення насадкових тіл, то слід підкреслити особливості роботи апаратів з подібними насадками [11]. В апаратах з кульовими насадками газ проходить між каналами, утвореними насадочними тілами, а рідина у вигляді плівок і крапель стікає по поверхні куль. У випадку з пористою насадкою взаємодія газу з рідиною відбувається не тільки на поверхні насадки, але і всередині її обсягу. Тому механізм переходу насадки в режим розвиненого псевдозрідження буде істотно відрізнятися від звичайних кульових насадок. До того ж використання для таких конструкцій методу стабілізації пінного шару також є перспективним. Отже, необхідне проведення додаткових досліджень гідродинамічних режимів роботи апарату з пористою насадкою і визначенням параметрів, що впливають на швидкість переходу насадки з одного режиму в інший [12].

Вивчення масопередачі в абсорбері з псевдозрідженим шаром зрошуваної насадки ускладнене тим, що поверхня контакту між фазами може значно змінюватися в залежності від гідродинамічних умов, зокрема, від швидкості газу і щільності зрошення. При цьому важко встановити вплив зазначених факторів сам по собі на поверхню контакту, газовміст та на коефіцієнт масопередачі.

При оцінці ефективності абсорберів з трифазним шаром використовують коефіцієнти масопередачі (об'ємні і поверхневі) або число одиниць перенесення. Об'ємний коефіцієнт масопередачі відносять до одиниці статичного обсягу насадки (коефіцієнт K_v) або до одиниці динамічного

обсягу шару (коефіцієнт K_d).

Вивчення інтенсивності перенесення речовини в шарі псевдозрідженої насадки вимагає подальших всебічних досліджень.

У теперішній час розрахунок і проектування апаратів з псевдозрідженою насадкою проводиться поки тільки на основі експериментальних даних отриманих на обмеженій кількості взаємодіючих систем. Теоретичні положення розроблені недостатньо, тому, на практиці основне застосування в апаратах з рухомою насадкою знаходить лише кульова насадка як найбільш досліджена, а інші конструкції залишаються незатребуваними, хоча мають вищу ефективність для процесів масообміну.

Висновки

З наведених вище положень можна зробити висновок, що на процес масообміну істотний вплив роблять гідродинамічні параметри – швидкість газу в апараті і питоме навантаження по рідині, які опосередковано впливають, на висоту шару рідини на тарілці і газоміст шару, а також не досліджені фізико-хімічні властивості взаємодіючих систем.

Аналіз ряду досліджень показує, що перспективним напрямком інтенсифікації процесу масообміну є розробка апаратів з трифазним псевдозрідженим шаром зрошуваної насадки складних форм. Для систем очищення газів від газоподібних компонентів необхідно забезпечити малі навантаження по рідині при збереженні високого ступеня очищення. Цього можна досягти шляхом використання контактних елементів зі стабілізацією.

Промислова реалізація методу стабілізації газорідного шару дозволяє значно розширити сферу застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій.

З метою розробки теорії і практики процесів обробки газів і рідин в стабілізованому пінному шарі буди проведені численні дослідження на лабораторних та напівзаводських пінних апаратах зі стабілізованим шаром. Ці дослідження дозволили встановити теоретичні основи турбулізації газорідних систем, методи і принципи моделювання апаратів а також гідродинамічні та кінетичні закономірності їх роботи.

Встановлено оптимальні режими роботи пінних апаратів зі стабілізацією шару для ряду промислових процесів, розроблені методи розрахунку і конструювання та створений уніфікований ряд типорозмірів апаратів даної конструкції. Накопичений необхідний досвід їх промислової експлуатації. Встановлені теоретичні закономірності мають значення також для розвитку наукових основ для інших способів інтенсифікації процесів в газорідних системах шляхом їх турбулізації.

Застосування нових пінних апаратів зі стабілізацією шару дозволяє докорінно та з

мінімальними витратами реконструювати технологічні схеми очищення газів, що відходять в хімічній та інших галузях промисловості з метою надання їм кращих експлуатаційних і технологічних характеристик з одночасним збільшенням ефективності роботи апаратів.

Висока інтенсивність і велика одинична потужність агрегатів на різних стадіях абсорбційних процесів дозволяють підійти до ефективного вдосконалення технологічних схем конкретних виробництв, потребуючих реконструкції без суттєвого збільшення капітальних витрат на нове обладнання.

Список літератури

1. **Мухленов, И. П.** Пенный режим и пенные аппараты / **И. П. Мухленов, Э. Я. Тарат.** – М.: Химия. – 1977. – 304 с.
2. **Тарат, Э. Я.** Интенсивные колонные аппараты для обработки газов жидкостями / **Э. Я. Тарат, О. С. Балабеков, Н. П. Болтов.** – Л.: Изд. ЛГУ им. А.А.Жданова, 1976. – 244 с.
3. **Мухленов, И. П.** Абсорбция и пылеулавливание в производстве минеральных удобрений / **И. П. Мухленов, О. С. Ковалев.** – М.: Химия. – 1987. – 206 с.
4. **Гельперин, Н. И.** Определение поверхности контакта фаз в массообменном аппарате с псевдооживленной шаровой насадкой / **Н. И. Гельперин, В. З. Гришко, В. А. Михайлов** // *Теор. основы хим. технол.* – 1972. – Т. 6., №4. – с. 534-538
5. **Микулин, Г. И.** Дистилляция в производстве соды / **Г. И. Микулин, И. К. Поляков.** – М., Л.: Госхимиздат, 1956. – 348 с.
6. **Perry, D. C.** Gas absorption and reaction in a wet pneumatic foam / **D. C. Perry, P. Stevenson** // *Chemical Engineering Science.* – 2015. – Volume 126. – P. 177-185. – doi:10.1016/j.ces.2014.11.037.
7. **Marias, F.** Effects of Freeboard Volatile Release During Fluidized Bed Incineration of a Model Waste / **F. Marias, J. R. Puiggali, G. Flamant** // *Process Safety and Environmental Protection.* – 2001. – Volume 79, Issue 4. – P. 244-252. – doi:10.1205/095758201750362280.
8. **Woźniak, M.** An investigation of mass transfer in a countercurrent three-phase fluidized bed / **M. Woźniak, K. Østergaard** // *Chemical Engineering Science.* – 1973. – Volume 28, Issue 1. – P. 167-171. – doi:10.1016/0009-2509(73)85097-3.
9. **Yin, F. H.** CFD Simulation and Experimental Study of Liquid Dispersion in Randomly Packed Metal Pall Rings / **F. H. Yin, A. Afacan, K. Nandakumar, K. T. Chuang** // *Chemical Engineering Research and Design.* – 2002. – Volume 80, Issue 2. – P. 135-144. – doi:10.1205/026387602753501852.
10. **Jungkee, Jang.** CFD simulation of a pharmaceutical bubbling bed drying process at three different scales / **Jungkee Jang, Hamid Arastoopour** // *Powder Technology.* – 2014. – Volume 263. – P. 14-25. – doi:10.1016/j.powtec.2014.04.054.
11. **Моисеев, В. Ф.** Обработка газожидкостных систем на трубчатых решетках со стабилизатором пенного

- слоя /В. Ф. Моїсєєв, Е. В. Манойло, М. И. Васильев, К. Ю. Репко, Д. В. Давыдов // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 53 (1274). – С. 114-123. – doi:10.20998/2413-4295.2017.53.17.
12. **Моїсєєв, В. Ф.** Методологія розрахунку режимно-конструктивних і гідродинамічних параметрів пінних апаратів для процесів масообміну / **В. Ф. Моїсєєв, Є. В. Манойло, Н. Г. Пономарьова, К. Ю. Репко, Д. В. Давидов** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 16 (1292). – С. 165-176. – doi:10.20998/2413-4295.2018.16.25.
- Engineering Science*, 2015, **126**, 177-185, doi:10.1016/j.ces.2014.11.037.
7. **Marias, F., Puiggali, J. R., Flamant, G.** Effects of Freeboard Volatile Release During Fluidized Bed Incineration of a Model Waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 2001, **79**, 4, 244-252, doi:10.1205/095758201750362280.
8. **Woźniak, M., Østergaard, K.** An investigation of mass transfer in a countercurrent three-phase fluidized bed. *Chemical Engineering Science*, 1973, **28**, 1, 167-171, doi:10.1016/0009-2509(73)85097-3.
9. **Yin, F. H., Afacan, A., Nandakumar, K., Chuang, K. T.** CFD Simulation and Experimental Study of Liquid Dispersion in Randomly Packed Metal Pall Rings. *Chemical Engineering Research and Design*, 2002, **80**, 2, 135-144, doi:10.1205/026387602753501852.
10. **Jungkee, Jang, Arastoopour, Hamid.** CFD simulation of a pharmaceutical bubbling bed drying process at three different scales. *Powder Technology*, 2014, **263**, 14-25, doi:10.1016/j.powtec.2014.04.054.
11. **Moiseev, V. F., Manoilo, E. V., Vasyliiev, M. I., Repko, K. Yu., Davydov, D. V.** Processing of gas-liquid systems on tubular gratings with stabilizer of a foam layer. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **53** (1274), 114–123, doi:10.20998/2413-4295.2017.53.17.
12. **Moiseev, V., Manoilo, E., Ponomaryova, N., Repko, K., Davydov, D.** Methodology of calculation of construction and hydrodynamic parameters of a foam layer apparatus for mass-transfer processes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **16** (1292), 165-176, doi:10.20998/2413-4295.2018.16.25.

Bibliography (transliterated)

1. **Mukhlenov, I. P., Tarat, E. Ya.** Pennyu rezhim i pennyue apparaty. M.: Khimiya, 1977, 304 s.
2. **Tarat, E. Ya., Balabekov, O. S., Boltov, N. P.** Intensivnyue kolonnyue apparaty dlya obrabotki gazov zhidkostyami. L.: Izd. LGU im. A.A.Zhdanova, 1976, 244.
3. **Mukhlenov, I. P., Kovalev, O. S.** Absorbtsiya i pyleulavlivaniye v proizvodstve mineral'nykh udobreniy. M.: Khimiya, 1987, 206.
4. **Gel'perin, N. I., Grishko, V. Z., Mikhaylov, V. A.** Opredeleniye poverkhnosti kontakta faz v massoobmennom apparate s psevdoozhizhennoy sharovoy nasadkoy. *Teor. osnovy khim. tekhnol.*, 1972, **6**, №4., 534-538
5. **Mikulin, G. I., Polyakov, I. K.** Distillyatsiya v proizvodstve sody. M., L.: Goskhimizdat, 1956, 348.
6. **Perry, D. C., Stevenson, P.** Gas absorption and reaction in a wet pneumatic foam. *Chemical*

Сведения об авторах (About authors)

Моїсєєв Віктор Федорович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, м. Харків, Україна; e-mail: vmoiseev1209@gmail.com.

Victor Moiseev – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: vmoiseev1209@gmail.com.

Манойло Євгенія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, м. Харків, Україна; e-mail: publikova1@gmail.com.

Eugenia Manoilo – Candidate of Technical Sciences, Docent of Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: publikova1@gmail.com.

Ляпощенко Олександр Олександрович – доктор технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв», м. Суми, Україна; e-mail: o.liaposhchenko@pohnp.sumdu.edu.ua.

Alexander Liaposhchenko – Doctor of Technical Sciences, Sumy State University, Docent of the Department "Processes and Equipment for Chemical and Petroleum Processing Industries", Sumy, Ukraine; e-mail: o.liaposhchenko@pohnp.sumdu.edu.ua.

Хухрянський Олег Миколайович – генеральний директор ПАТ "УКРХІМПРОЕКТ", м. Суми, Україна; e-mail: khukhryanskiy@ukrhimproekt.com.ua.

Oleg Khukhryansky – General Director of "UKRHIMPROEKT", Sumy, Ukraine; e-mail: khukhryanskiy@ukrhimproekt.com.ua.

Пономарьова Наталія Георгіївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, м. Харків, Україна.

Natalia Ponomarova – Candidate of Technical Sciences, Docent of Department of "Industrial technologies, processing and equipment", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Моїсєєв, В. Ф. Структура пінного шару на протиточних контактних елементах зі стабілізацією / **В. Ф. Моїсєєв, Є. В. Манойло, О. О. Ляпощенко, О. М. Хухрянський, Н. Г. Пономарьова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 83-92. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.37.

Please cite this article as:

Moiseev, V., Manoilo, E., Liaposhchenko, A., Khukhryansky, O., Ponomaryova, N. Foam layer structure on countercurrent contact elements with stabilization. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26 (1302), 2, 83-92, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.37.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Моисеев, В. Ф. Структура пенного слоя на противоточных контактных элементах со стабилизацией / **В. Ф. Моисеев, Е. В. Манойло, А. А. Ляпощенко, О. Н. Хухрянский, Н. Г. Пономарёва** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 83-92. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.37.

АННОТАЦИЯ Промышленная реализация метода стабилизации газожидкостного слоя позволяет значительно расширить область применения пенных аппаратов и открывает новые возможности интенсификации технологических процессов с одновременным созданием малоотходных технологий. В статье выявлены основные закономерности гидродинамики пенного слоя со стабилизатором на противоточных контактных элементах. Рассматриваются структурные параметры фаз пенного слоя как цельной среды. Учитывается взаимное влияние двух фаз. Изучены закономерности газосодержания и параметры площади контакта фаз. Установлены функциональные зависимости основных параметров процесса. Проведенный анализ ряда исследований показал, что перспективным направлением интенсификации процесса массообмена является разработка аппаратов с трехфазным псевдооживленным слоем орошаемой насадки сложных форм из пористых материалов. Следовательно, необходимо проведение специальных исследований гидродинамических режимов работы аппарата со стабилизируемым пенным слоем с определением параметров, влияющих на скорость перехода контактного элемента из одного режима работы в другой.

Ключевые слова: промышленные газовые выбросы; процесс улавливания; гидродинамика; массообмен; пенный аппарат; пенный слой; исследования процессов очистки; стабилизация пенного слоя; интенсивный аппарат

Поступила (received) 13.06.2018

УДК 615.002.68:613

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.38

ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОГО РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ ЗІ СКЛА У ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ

Н. М. САМОЙЛЕНКО¹, Л. П. ЩУКІНА², А. О. БАРАНОВА^{1*}

¹ кафедра хімічної техніки та промислової екології, НТУ «ХПІ», м. Харків, УКРАЇНА

² кафедра технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, НТУ «ХПІ», м. Харків, УКРАЇНА

*email: baranova647@gmail.com

АНОТАЦІЯ Охарактеризовані екологічні особливості фармацевтичних відходів зі скла (ФВС), основною складовою яких є використані ампули (ВА). Визначена екологічна необхідність вилучення та знешкодження залишків фармацевтичних речовин з ВА при їх утилізації. Проаналізовані ресурсні можливості використання ВА у якості вторинної сировини при виробництві керамічної плитки. Для обґрунтування екологічної доцільності та ресурсної цінності використання ВА в процесі виробництва керамічної плитки експериментально визначений хімічний склад та фізико-хімічні характеристики відходів.

Ключові слова: фармацевтичні відходи зі скла; екологічна безпека; ресурсна цінність; керамічна плитка

THE USE OF SECONDARY RESOURCE POTENTIAL OF PHARMACEUTICAL WASTE FROM GLASS IN THE PRODUCTION OF CERAMIC TILES

N. SAMOILENKO¹, L. SHCHUKINA², A. BARANOVA¹

¹Department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

²Department of Technology ceramics, refractories, glass and enamels, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article describes ecological aspects of pharmaceutical glass wastes. It is determined that the greatest negative impact on the environment components has wastes containing pharmaceutical residue. It was analyzed that pharmaceutical glass wastes mainly consist of used ampoules (UAs). The ecological necessity of taking away and disposing residues of pharmaceutical substances from UAs by their disposal is determined. The resource possibilities of using UAs as the secondary material in production of ceramic tiles is analyzed. Monitoring of the formation and accumulation of a mixture of ampoules in the therapeutic hospital department was carried out. The mixture consisted of ampoules containing remnants of solutions of various pharmaceuticals. To substantiate the ecological practicability and resource valuation of waste used in the process of ceramic tile production, the chemical composition and physicochemical characteristics of the mixture of UAs were experimentally determined. The chemical composition and physical and chemical characteristics of wastes are experimentally determined to justify ecological expediency and waste recoverability of UAs during ceramic tiles production. The experimentally determined values of the characteristic temperature parameters and the temperature coefficient of linear expansion of the ampoule glass mixture confirm this conclusion.

Keywords: pharmaceutical glass wastes; environment safety; waste recoverability; ceramic tiles.

Вступ

З екологічної точки зору фармацевтичні відходи зі скла (ФВС) розглядають як чинник, що негативно впливає на здоров'я людей, екосистеми природних вод, ґрунту та ін. Поряд з цим, відходи можуть стати джерелом цінних вторинних матеріальних ресурсів.

У якості скляної тари для фармацевтичної продукції використовують медичне скло, на виготовлення якого витрачаються такі мінеральні ресурси як особливо чисті піски, каолін, вапняк та ін.

Використання ФВС у якості вторинної сировини у галузях, виготовлення продукції яких базується на споживанні мінеральної сировини, надає можливість менше вилучати нові природні ресурси. Серед виробництв, що потребують значних витрат мінеральних та енергетичних ресурсів і характеризуються великими обсягами випуску продукції, виділяється виробництво керамічної плитки.

В Україні формується ресурсна галузь з переробки відходів, яка передбачає найбільш екологічно безпечні та економічно доцільні шляхи їх

утилізації, що в першу чергу, стосується відходів, які утворюються у великих обсягах.

Фармацевтична галузь займає виключне місце для здоров'я людей та має сталий розвиток і тенденції до постійно високих темпів росту. Відповідно цьому існує стійкий попит на її продукцію та споживання лікарських засобів. У зв'язку з цим важливим є створення інформаційних потоків щодо утворення та накопичення ФВС, а також аналіз їх характеристик з точки зору використання у якості вторинного сировинного матеріалу.

ФВС можуть включати ампули, флакони, аптекарський посуд та ін. При цьому найбільш розповсюдженою формою відходів є використані ампули, які містять залишки розчинів для ін'єкцій лікарського препарату. Зважаючи на зазначене, важливим науковим і практичним завданням є дослідження, направлені на розробку та обґрунтування екологічних аспектів безпечного поводження з основними видами ФВС та аналіз ресурсної цінності відходів як вторинної сировини у виробництві керамічної плитки.

Ціль роботи

Ціллю роботи є аналіз екологічної характеристики ФВС, джерел і тенденцій їх утворення, а також обґрунтування доцільності використання відходів як вторинного матеріального ресурсу у виробництві керамічної плитки.

Для досягнення поставленої цілі будуть вирішені наступні задачі:

1. Охарактеризувати екологічну небезпеку ФВС у якості чинника, що впливає на процедури поводження з відходами.
2. На прикладі найбільш поширеної форми ФВС проаналізувати ресурсні можливості використання відходів у якості вторинної сировини при виробництві керамічної плитки в Україні.
3. Експериментально обґрунтувати екологічну доцільність та ресурсну цінність використання ФВС у процесі виробництва керамічної плитки.

Виклад основного матеріалу

Екологічні особливості фармацевтичних відходів зі скла. У сфері поводження з відходами фармацевтичні відходи (ФВ) характеризуються з двох позицій, а саме: як самостійний вид відходів та як складова медичних відходів. За визначенням ВООЗ, фармацевтичні відходи – це відходи, які містять медичні препарати (ліки, у яких закінчився термін придатності, або які більше не потрібні, предмети, що забруднені фармацевтичними препаратами, або містять такі препарати). У нормативних документах, що діють в Україні, фармацевтичні відходи визначаються як лікарські препарати із закінченим строком дії та частково використані флакони [1]. При

цьому слід зазначити, що і лікарські засоби в ампульній формі, які не підлягають подальшому використанню, набувають статусу «відходів». У якості складових медичних відходів ФВ включають протерміновані, не використовувані та забруднені лікарські засоби, які потребують належного поводження. Виходячи з даних положень, для фармацевтичних відходів зі скла визначальним з точки зору екологічної безпеки є наявність у відходах фармацевтичних речовин або ж забрудненість такими скляної тари.

Характерна особливість ФВС полягає у тому, що негативна дія відходів на довкілля має комбінований ефект [2]. Фармацевтичні речовини у найбільшій мірі загрожують здоров'ю та екологічній безпеці людини, а також прямо чи опосередковано негативно впливають на усі елементи довкілля. При цьому особливо негативною дією характеризуються розчини цих речовин, які з певних причин надходять у природні води. Крім того, склобій медичного скла, як і інші види склобою, що потрапляють на полігони, суттєво залужує стоки. Також скло гальмує процеси життєдіяльності мікроорганізмів поверхневих шарів ґрунту.

Таким чином, при здійсненні операцій у сфері поводження з ФВС та при розробці технологій утилізації відходів важливим екологічним чинником є попередження надходження у довкілля фармацевтичних речовин, що містяться у ФВС як залишок після проведення медичних процедур. З цієї точки зору найбільшу екологічну небезпеку становлять скляні ампули, які застосовуються для упакування і однодозового використання рідинного лікарського препарату. Вони у великій кількості використовуються для лікування хворих методом ін'єкцій і, як правило, містять фармацевтичні речовини у вигляді особливо небезпечних для довкілля складних органічних сполук.

Фармацевтичні розчини залишаються і у скляних флаконах, що застосовуються для зберігання в сухій формі нестійких лікарських препаратів. Перед вживанням такі препарати розчиняють у стерильному розчиннику (вода та ін.), а після проведення ін'єкцій їх невелика кількість залишається у флаконах. Але такі флакони, як первинна упаковка, у виробництві лікарських засобів для парентерального введення використовується значно менше ніж ампули (на прикладі даних джерела інформації [14] приблизно у 8,6 рази). До того ж ліки у флаконах можуть набувати характеристики неякісного лікарського засобу, ще коли лікарський препарат знаходився у твердому стані і не піддавався розчиненню.

Таким чином, використані скляні ампули є основним видом ФВС, які утворюються у надзвичайно великому обсязі і повинні вивчатись і як чинник значної негативної дії на довкілля, так і як джерело вторинних матеріальних ресурсів. З урахуванням цього у якості предмета даних досліджень використовувались скляні ампули, що

набули статусу відходів і містили залишки фармацевтичної речовини.

Наповнення ампул при операції ампулювання здійснюється таким чином, щоб фактичний об'єм наповнення ампул був більше номінального, так як потрібно забезпечити необхідну дозу при наповненні шприцу. Цей факт призводить до того, що у ампулах після проведення медичної процедури залишається певна кількість фармацевтичної речовини. Так, наприклад, при номінальному об'ємі лікарського препарату 10,0 мл фактичне заповнення ампули для нев'язких речовин складає 10,50 мл, а для в'язких – 10,70 мл. Відповідно, при номінальному об'ємі лікарського препарату 20,0 мл фактичний об'єм розчину у ампулі збільшується до 20,60 мл та 20,90 мл.

У загальному випадку джерелами формування потоків ФВС, у складі яких містяться відходи ампул, є [3]:

- фармацевтичні виробництва;
- медичні та лікувально-профілактичні установи (лікарні, поліклініки, госпіталі, санаторії);
- аптечні мережі та аптеки;
- дистриб'ютори лікарських засобів;
- суб'єкти господарської діяльності по збору та переробці відходів;
- населення;
- науково-дослідні центри і лабораторії;
- склади конфіскованої продукції.

Власник утворених відходів повинен їх утилізувати.

Згідно положень Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [1] передбачається роздільне збирання фармацевтичних відходів з можливістю їх ідентифікації (збереженням упаковок). Це відкриває нові можливості щодо накопичення та обліку ФВС. Разом з тим, у теперішній час не тільки в Україні, але й інших країнах існує неузгодженість інформації щодо матеріальних потоків медичних відходів, у тому числі і тих, що містять фармацевтичні [4-9]. При цьому окремому питанню поводження з фармацевтичними відходами зі скла приділяється недостатньо уваги. Отже для цілей ефективної утилізації ФВС у виробництвах великої виробничої потужності необхідно вести чіткий облік накопичення відходів на джерелах їх утворення та виділяти використані ампули як окрему складову.

Ресурсна цінність ФВС та використання у виробництві керамічної плитки.

До складу ампульного скла входять оксиди: SiO₂, Na₂O, CaO, MgO, B₂O₃, Al₂O₃ та ін. Скло не повинно містити таких сполук як PbO, ZnO, Sb₂O₃, As₂O₃. При цьому ампульне скло імпортного виробництва у своєму складі може мати деякі оксиди, що відсутні у відповідній продукції українських виробників.

Медичне скло, з якого виготовляють ампули, повинно відповідати вимогам хімічної стійкості щодо

деструктивної дії агресивного середовища, не змінювати властивості розчинів для ін'єкцій, бути термічно стійким. Для досягнення хімічної стійкості у таке скло додають оксиди бору, а для термостійкості – оксиди магнію. Зважаючи на це, досить розповсюдженим є використання боросилікатного скла. В цілому ж, ампулювання розчину або рідкого лікарського засобу здійснюється відповідно до вимог нормативно - технічного документу (фармакопейна стаття), у якому вказується відповідна марка скла та закупорювальних засобів.

Розчини ампульних лікарських препаратів проявляють реакційну здатність. Вона характеризується утворенням осадів, гідролізом ефірів, алкалоїдів, окисненням та ін. Вельми негативним явищем є процес вилукування або розчинення компонентів скла, при якому іони натрію та калію переходять із скла в розчин. Логічно припустити, що хімічна активність фармацевтичних речовин, які залишилися у ампулі після проведення медичної процедури, буде змінюватись під впливом зовнішніх факторів (доступ повітря, мікробіологічне забруднення та ін.). Також при цьому можуть змінюватись характеристики скла.

Для виготовлення ампул на вітчизняних підприємствах застосовують нейтральне ампульне скло НС-1, найбільш хімічно стійке НС-3 і лужне безборне АБ-1 (для стійких у масляних розчинах речовин) [10]. Також в Україні для виготовлення ампул додатково існує марка нейтрального боросилікатного скла УСП-1. Крім того, у фармацевтичній галузі використовуються такі марки ампульного скла як СНС-1 (для світлочутливих речовин), НС-2А, ХТ-1 та ін. Хімічний склад марок медичного скла приведений у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад марок медичного скла [11,12]

Скло	Вміст в масовій частині, %							
	SiO ₂ ±0,50	Al ₂ O ₃ ±0,20	B ₂ O ₃ ±0,25	Сума CaO, MgO ±0,30	Na ₂ O ±0,20	Fe ₂ O ₃ ±0,30	MnO ₂ ±0,50	BaO ±0,20
УСП -1	74,20	6,0	8,50	2,60	7,90	-	-	-
СНС-1	67,0	4,1	5,2	6,3	2,0	2,90	5,0	-
НС-2А	73,0	3,5	2,5	8,0	2,0	-	-	-
ХТ-1	72,8	6,0	10,5	0,8	1,8	-	-	2,2
НС-1	73,0	4,5	4,0	8,0	2,0	-	-	-
НС-3	72,8	4,5	6,0	6,9	1,7	-	-	-
АБ-1	73,0	3,0	-	9,5	1,0	-	-	-
МТО	73,00	1,50	-	10,00	15,50	-	-	-
ОС	73,50	1,50	-	9,50	15,50	-	-	-
ОС-1	73,00	1,30	-	10,00	15,70	-	-	-

Для цілей аналізу обсягів утворення використаних ампул у медичних закладах стаціонарного типу та подальшої ресурсної оцінки таких відходів було обрано терапевтичне відділення багатопрофільної лікарні (м. Харків). Терапевтичний профіль у дослідженнях визначений з урахуванням того, що за статистикою в Україні в обсягах аптечного продажу лідирують ліки групи А, С, N [13], які використовуються для лікування хворих з внутрішніми хворобами та супутніми нервовими захворюваннями. Моніторинг утворення та накопичення відходів проводився на протязі декількох місяців, що характеризувались збільшенням та зменшенням кількості хворих.

Результати обробки даних показали, що у відділенні для лікування хворих найбільше використовувались такі препарати як рибоксін, панангін, тризипін, аскорбінова кислота, нуклео ЦФМ форте, тіатриазолін, глутаргін, димедрол, строфантин, аналгін, нікотинова кислота, метамакс, нейромакс, фуросемід, торсид, сертофен, вазпростан, кетанов, дібазол, диклофенак та ін. Обсяг накопичення використаних ампул в середньому склав 13450 шт. /місяць. Залишок рідинного лікарського препарату у ампулах приблизно визначався як 160 мл /кг. Відсоток ліків вітчизняного виробництва – 67%, закордонних – 33%.

У складі ампул, що підлягали дослідженню, було виявлено: ампул місткістю 5 мл – 40%, 2 мл – 30%, 10 мл – 25%, інші – 5 %.

Для проведення подальших експериментальних досліджень ампули поміщали у металеву ємність і роздавлювали. Одержана суміш скла та лікарського препарату відділялась на ситі. Далі розчин фільтрували, залишок мілких часток скла збирали та додавали до основного складу подрібнених ампул. Оскільки розчин, що утворився, був малотоксичним, то його розбавляли водою у співвідношенні 1:100 та зливали у каналізацію.

Одержана суміш ампульного скла використовувалась для визначення хімічного складу та фізико - хімічних характеристик матеріалу. Для цього з відходами скла здійснювали такі основні операції як тонке подрібнювання та спікання.

Для проведення досліджень використовували наступні прилади:

– рентгенівський флуоресцентний спектрометр моделі AXIOSmAX для визначення компонентів скла;

– термомікроскоп MISURA для визначення характеристичних температур: розм'якшення, утворення сфери, напівсфери і плавлення скла;

– дилатометр DIL 402 PC для термічного аналізу скла (визначення термічного коефіцієнта лінійного розширення).

Результати одержаних фізико-хімічних характеристик суміші відходів ампульного скла приведені у табл. 2 та табл. 3.

Обговорення результатів

Фармацевтика в Україні має високі та стабільні показники випуску продукції: за результатами 2017 р. її виробництво зросло на 8,8 % [14]. При цьому обсяги випуску ін'єкційних лікарських засобів в ампулах відзначаються як надзвичайно великі. Так, тільки виробничі потужності фармацевтичної фірми «Дарниця» дозволяють випускати щорічно більше 320 млн ампул [15]. Крім того, ринок фармацевтичної продукції насичений і продукцією імпортних виробників. Статистичні дані щодо продажу таких лікарських засобів відсутні, але їх обсяг визначається як значна доля у складі 24,2 % упаковок імпортних ліків, що були реалізовані в аптеках в Україні, наприклад у 2017 р. [13]). Зрозуміло, що обсяги вироблених та проданих ліків у ампульній формі відповідають використанню та накопиченню ФВС.

Таблиця 2 – Хімічний склад суміші відходів ампульного скла

Найменування компонента	Вміст компоненту, %
SiO ₂	74,28
Al ₂ O ₃	6,36
MgO	0,04
CaO	2,60
BaO	0,29
Na ₂ O	7,70
K ₂ O	0,70
Fe ₂ O ₃	0,05
TiO ₂	0,03
ZrO ₂	0,03
B ₂ O ₃	7,92

Таблиця 3 – Характеристичні температури та ТКЛР суміші відходів ампульного скла

Найменування показника	Значення
Усадка, °C	740
Розм'якшення, °C	900
Сфера, °C	1000
Напівсфера, °C	1110
Плавлення, °C	1295
ТКЛРх10 ⁻⁶ , град ⁻¹	7,74

Випуск керамічної плитки в Україні, незважаючи на кризові явища, залишається стабільно високим. Так, наприклад, у 2016 році обсяг виробництва керамічної плитки в країні

склав 45365 тис. м². Таким чином, в Україні, з одного боку, створюються умови (навіть без урахування імпортової складової ринку фармацевтичної продукції) для утворення значних обсягів відходів ампульного скла, а з іншого – постійного ресурсного забезпечення процесу утилізації скла у керамічному виробництві.

З урахуванням великих обсягів утворення відходів, загальний об'єм рідинних лікарських препаратів, що міститься у використаних ампулах, виявляється значним. При надходженні у навколишнє середовище вони виявляють негативну дію на компоненти навколишнього середовища та здоров'я людей. Зважаючи на це, утилізація ампульного скла повинна проводитись тільки після вивільнення з ампул розчинів фармацевтичних речовин. Подальші операції поводження з утвореними рідинними забруднювачами довікля підлягають застосуванню методів знешкодження речовин до сполук, що є безпечними для навколишнього середовища.

Результати аналізу хімічного складу відходів показують, що в цілому скло суміші використаних ампул можливо віднести до типу боросилікатного. Зважаючи на якісний та кількісний вміст оксидів, такі відходи доцільно використовувати у складі ангобів та полив у виробництві керамічної плитки. При цьому експериментально визначені значення показників характеристичних температур та ТКЛР суміші ампульного скла підтверджують даний висновок.

Висновки

1. У сфері підвищення екологічної безпеки поводження з ФВС та збереження природно-ресурсного потенціалу мінеральної сировини в Україні доцільним є використання відходів у якості вторинної сировини у виробництві керамічної плитки.

2. Найбільш поширеним видом фармацевтичних відходів зі скла та значним за обсягом утворення є використані ампули, що містять залишки розчинів фармацевтичних речовин, які чинять негативний вплив на елементи довкілля. При проведенні процедур утилізації скляних ампул обов'язковим є вилучення таких речовин та їх знешкодження до безпечних для довкілля сполук.

3. Великі об'єми утворення і накопичення використаних ампул та обсяги виробництва керамічної плитки в Україні створюють умови для постійного забезпечення виробничого процесу відходами.

4. Експериментально визначений хімічний склад та фізико-хімічні характеристики суміші відходів ампул підтверджують ресурсну цінність застосування таких відходів як вторинної сировини у виробництві керамічної плитки.

Список літератури

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Розпорядження КМУ від 8.11.2017 р. №820. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>.
2. **Samoilenko, N. N.** Implementation of the method of electrochemical destruction during disposal of pharmaceutical glass waste / **N. N. Samoilenko, I. A. Yermakovych, V. B. Bairachnyi, A. O. Baranova** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, No 10 (89). – P. 39 – 45. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.109826.
3. **Самойленко, Н. М.** Фармацевтичні відходи зі скла та їх ресурсна база в Україні / **Н. М. Самойленко, А. О. Баранова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – 23 (1245). – С. 170-175. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.23.27.
4. **Askarian, M.** A total quality management approach to healthcare waste management in Namazi Hospital, Iran / **M. Askarian, P. Heidarpour, O. Assadian** // *Waste Management*. – 2010. – V.30, I. 11. – P. 2321-2326. – doi: 10.1016/j.wasman.2010.06.020.
5. **Insa, E.** Critical review of medical waste legislation in Spain / **E. Insa, M. Zamorano, R. López** // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2010. – V. 54, I. 12. – P. 1048-1059. – doi: 10.1016/j.resconrec.2010.06.005.
6. Babanyara, Y. Y. Poor Medical Waste Management (MWM) Practices and Its Risks to Human Health and the Environment: A Literature Review / **Y. Y. Babanyara, D. B. Ibrahim, T. Garba, et al.** // *Engineering and Technology International Journal of Health and Medical Engineering*. – 2013. – V. 7, №11. – P. 780-787. – doi:10.1999/1307-6892/9996582.
7. **Bokhoree, C.** Assessment of Environmental and Health Risks Associated with the Management of Medical Waste in Mauritius / **C. Bokhoree, Y. Beeharry, T. Makoondall-Chadee, et al.** // *APCBEE Procedia*. – 2014. – V. 9. – P. 36-41. – doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.007.
8. **Cheng, Y. W.** Medical waste production at hospitals and associated factors / **Y. W. Cheng, F.C. Sung, Y. Yang et al.** // *Waste Management*. – 2009. – V. 29, I. 1. – P. 440-444.
9. **Graikos, A.** Medical waste generation in selected clinical facilities in Taiwan / **A. Graikos, E. Voudrias, A. Papazachariou, et al.** // *Waste Management*. – 2010. – V. 30, I. 8-9. – P. 1690-1695.
10. Фармацевтична енциклопедія. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2758/ampulne-sklo>.
11. Стекло медицинское марки УСП-1. ТУ У 00480945-002-96. URL: <http://www.medicalglass.com.ua/prod.html>.
12. Стекло медицинское. Марки. ГОСТ 19808-86 (діє в Україні до 01.01.19). URL: <http://www.medicalglass.com.ua/prod.html>.
13. ТОП-10 найбільш продаваних ліків у 2017 році в Україні. URL: <http://hgraf.com.ua/index.php/joomla-pages/login-form/item/10226-top-10-najbilsh-prodavanikh-likiv-u-2017-rotsi-v-ukrajini>.
14. Промислове виробництво в Україні відновлює зростання, – Держстат. URL: <https://www.kmu.gov.ua/>

ua/news/promislove-virobnictvo-v-ukrayini-vidnovlyuye-zrostannya-derzhstat.

15. Фармацевтична фірма «Дарниця»: виробництво, на якому якість не має альтернатив. URL: <https://www.apteka.ua/article/416121>.

Bibliography (transliterated)

1. Nacional'na strategiya upravlinnya vidxodamy` v Ukrayini do 2030 roku. Rozporyadzhennya KMU vid 8.11.2017 r. #820. Available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>.
2. **Samoilenko, N. N., Yermakovych, I. A., Bairachnyi, V. B., Baranova, A. O.** Implementation of the method of electrochemical destruction during disposal of pharmaceutical glass waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **5**, No 10 (89), 39 – 45, doi: 10.15587/1729-4061.2017.109826.
3. **Samojlenko, N. M., Baranova, A. O.** Farmacevty`chni vidxody` zi skla ta yix resursna baza v Ukrayini. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU"KhPI", 2017, 23 (1245), 170-175, doi:10.20998/2413-4295.2017.23.27.
4. **Askarian, M., Heidarpour, P., Assadian, O.** A total quality management approach to healthcare waste management in Namazi Hospital, Iran. *Waste Management*, 2010, **30**, I. 11, 2321-2326, doi: 10.1016/j.wasman.2010.06.020.
5. **Insa, E., Zamorano, M., López, R.** Critical review of medical waste legislation in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, **54**, I. 12, 1048-1059, doi: 10.1016/j.resconrec.2010.06.005.
6. **Babanyara, Y. Y., Ibrahim, D. B., Garba, T., et al.** Poor Medical Waste Management (MWM) Practices and Its Risks to Human Health and the Environment: A Literature Review. *Engineering and Technology International Journal of Health and Medical Engineering*, 2013, **7**, №11, 780-787, doi:10.1999/1307-6892/9996582.
7. **Bokhoree, C., Beeharry, Y., Makoondlall-Chadec, T., et al.** Assessment of Environmental and Health Risks Associated with the Management of Medical Waste in Mauritius. *APCBEE Procedia*, 2014, **9**, 36-41, doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.007.
8. **Cheng, Y. W., Sung, F. C., Yang, Y., et al.** Medical waste production at hospitals and associated factors. *Waste Management*, 2009, **29**, I. 1, 440-444.
9. **Graikos, A., Voudrias, E., Papazachariou, A., et al.** Medical waste generation in selected clinical facilities in Taiwan. *Waste Management*, 2010, **30**, I. 8–9, 1690-1695.
10. Farmacevty`chna ency`klopediya. Available at: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2758/ampulne-sklo>.
11. Steklo meditsinskoye marki USP-1. TU U 00480945-002-96. Available at: <http://www.medicalglass.com.ua/prod.html>.
12. Steklo meditsinskoye. Marki. GOST 19808-86 (deystvuyet v Ukraine do 01.01.19). Available at: <http://www.medicalglass.com.ua/prod.html>.
13. TOP-10 najbil'sh prodavanih likiv u 2017 roci v Ukraїni. Available at: <http://hgraf.com.ua/index.php/joomla-pages/login-form/item/10226-top-10-najbilsh-prodavanikh-likiv-u-2017-rotsi-v-ukrajini>.
14. Promy`slove vy`robny`cztvo v Ukrayini vidnovlyuye zrostannya, – Derzhstat. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/promislove-virobnictvo-v-ukrayini-vidnovlyuye-zrostannya-derzhstat>.
15. Farmacevty`chna firma «Darny`cyua»: vy`robny`cztvo, na yakomu yakist` ne maye al'ternaty`v. Available at: <https://www.apteka.ua/article/416121>.

Відомості про авторів (About authors)

Самойленко Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; email: samoilenko@kpi.kharkov.ua.

Nataliia Samoilenko - PhD, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the department of chemical engineering and industrial ecology; Kharkov, Ukraine; e-mail: samoilenko@kpi.kharkov.ua.

Щукіна Людмила Павлівна – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; м. Харків, Україна; e-mail: milinvest@meta.ua.

Lyudmila Shchukina – PhD, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the department of Technology ceramics, refractories, glass and enamels; Kharkov, Ukraine; e-mail: milinvest@meta.ua.

Баранова Антоніна Олегівна – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; e-mail: baranovaa647@gmail.com.

Antonina Baranova – post graduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of chemical engineering and industrial ecology; Kharkov, Ukraine; e-mail: baranovaa647@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Самойленко, Н. М. Використання вторинного ресурсного потенціалу фармацевтичних відходів зі скла у виробництві керамічної плитки / **Н. М. Самойленко, Л. П. Щукіна, А. О. Баранова** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 93-99. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.38.

Please cite this article as:

Samoilenko, N., Shchukina, L., Baranova, A. The use of secondary resource potential of pharmaceutical waste from glass in the production of ceramic tiles. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 93-99, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.38.

Пожалуйста, сосылайтесь на эту статью следующим образом:

Самойленко, Н. Н. Использование вторичного ресурсного потенциала фармацевтических отходов из стекла в производстве керамической плитки / **Н. Н. Самойленко, Л. П. Щукина, А. О. Баранова** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 93-99. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.38.

АННОТАЦИЯ Охарактеризованы экологические особенности фармацевтических отходов из стекла, основной составляющей которых является использованные ампулы (А). Определена экологическая необходимость изъятия и обезвреживания остатков фармацевтических веществ из ампул при их утилизации. Проанализированы ресурсные возможности применения А в качестве вторичного сырья при производстве керамической плитки. Для обоснования экологической целесообразности и ресурсной ценности использования А в процессе производства керамической плитки экспериментально определен химический состав и физико - химические характеристики отходов.

Ключевые слова: фармацевтические отходы из стекла; экологическая безопасность; ресурсная ценность; керамическая плитка.

Поступила (received) 01.07.2018

УДК 665.3:665.1.09

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.39

РОЗРОБКА КУЛІНАРНИХ ЖИРІВ ПІДВИЩЕНОЇ ОКИСНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ

О. О. УДОВЕНКО¹, К. В. КУНИЦЯ^{2*}, О. А. ЛИТВИНЕНКО¹, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ¹

¹ кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

² кафедра харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, Харків, УКРАЇНА

*email: ekaterina.kunitsia@gmail.com

АНОТАЦІЯ Проведено дослідження щодо нехімічної стабілізації олій, призначених для термічної обробки. Встановлено, що для сумішей, які відповідають вимогам щодо органолептичних показників, стійкість до окислення в порівнянні з початковими оліями збільшувалася: для суміші соняшникової олії і пальмового олеїну (70%: 30%) в 1,2 рази, а для суміші соєвої олії і пальмового олеїну (70%: 30%) в 1,26 рази. Проведені дослідження показали ефективний шлях нехімічної стабілізації олій, призначених для термічної обробки.

Ключові слова: кулінарний жир; пальмовий олеїн; окиснення; жирні кислоти; стабільність; фритюр

DEVELOPMENT OF CULINARY FATS WITH INCREASED OXIDATIVE STABILITY

O. UDOVENKO¹, K. KUNITSYA^{2*}, O. LITVINENKO¹, F. GLADKY¹

¹ Department of Technology of Fats and Fermentation Products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

² Department of Food Technology and Hotel and Restaurant Business, Kharkiv Trade and Economic Institute of Kyiv National Trade and Economic University, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article analyzes the use of culinary fats in the preparation of food products, examines the requirements that are imposed on culinary fats. The use of oils with an increased content of oleic acid as a promising raw material for the production of culinary fats resistant to oxidation is justified. The analysis of the fatty acid composition of the samples of the initial oils was carried out by the gas-liquid chromatography method, and the resistance of these oils to oxidation by the accelerated oxidation method on the "OXITEST" instrument was measured by the "induction time" parameter. A method of non-chemical stabilization of oils intended for heat treatment is proposed, by blending oils with palm olein. Developed recipes for liquid culinary fats, which contain vegetable oil and palm olein in a ratio that provides high organoleptic characteristics, including fat transparency. For developed recipes for culinary fats, the fatty acid composition is determined and the stability of oil mixtures to oxidation is studied. It was found that for mixtures of oils that meet the requirements for organoleptic characteristics, the resistance to oxidation in comparison with the initial oils increased: for a mixture of sunflower oil and palm oil (70%: 30%) by 1.2 times, and for a mixture of soybean oil and palm oil (70%: 30%) in 1,26 times. The conducted studies have shown the effectiveness of the method of non-chemical stabilization of oils intended for heat treatment. This will allow to extend the period of use of oils in the technological cycle of production of frying products, and also will make it possible to increase the shelf life of fried products due to the content of less oxidized fats in it.

Key words: culinary fat; palm olein; oxidation; fatty acid; stability; deep fryers

Вступ

Кулінарні жири широко використовуються в харчовій промисловості. Вимоги до цих жирів різноманітні: від прозорості для салатних олій до стабільності к окисненню при жарінні.

До жирів і олій, які при виробництві продуктів піддаються термічній обробці, пред'являються особливі вимоги, зокрема, до їх термостабільності. Стабільність олій при високих температурах залежить від ряду причин: вмісту поліненасичених жирних кислот і ступеня їх ненасиченості, вмісту токоферолів і їх ізомерного складу і кількості компонентів, що володіють антиоксидантними властивостями або підсилюють дію токоферолів шляхом синергетичного ефекту (наприклад, фосфоліпіди і токоферолі і т.д.) [1–4].

Досить часто як рідкий рослинний жир для кулінарної обробки використовують соняшникову та соєву олії. При цьому їх нестійкість до окислювального псування внаслідок наявності високого вмісту поліненасичених жирних кислот знижує сфери їх застосування, зменшує терміни зберігання отриманої продукції [5–7].

У той же час досить стабільні при кулінарній обробці (обсмажуванні у фритюрі) в силу своєї високої насиченості олії з високим вмістом насичених жирних кислот. Відомо, що олеїнова кислота стабільніша до впливу високих температур, ніж поліненасичені жирні кислоти, і починає окислюватися при температурі вище 100 °С [8–10]. Таким чином, можна припустити, що олії з підвищеним вмістом олеїнової кислоти будуть більш стабільні при високих температурах. Таким жиром є

пальмовий олеїн, який широко використовують як кулінарний жир, але сферу його застосування обмежує його відносно висока температура плавлення [11–12].

Мета роботи

Більшість виробників і споживачів хотіли б використовувати недорогий рослинний жир, який би характеризувався підвищеною окиснювальною стабільністю, а також високими органолептичними показниками, зокрема, прозорістю. З цією метою проведено дослідження щодо розробки такого рідкого жиру, який містить пальмовий олеїн та одну з рослинних олій. Для вирішення поставленої мети необхідно було визначити, яке співвідношення

рослинних олій забезпечує збереження високих органолептичних показників, зокрема, прозорості, і встановити антиоксидантну стабільність таких сумішей.

Об'єкти дослідження – рафінована дезодорована соняшникова олія згідно ДСТУ 4492:2005; високоолеїнова соняшникова олія; рафінована дезодорована соєва олія згідно ДСТУ 4534:2006; пальмовий олеїн рафінований вибілений дезодорований згідно ДСТУ 4438:2005.

Жирнокислотний склад початкових олій (соняшникова, високоолеїнова соняшникова, соєва, пальмовий олеїн) визначено методом газорідної хроматографії і наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Жирнокислотний склад олій

Жирні кислоти	Соняшникова олія	Високоолеїнова соняшникова олія	Соєва олія	Пальмовий олеїн
Каприлова C _{8:0}	–	–	–	0,02
Капринова C _{10:0}	–	–	–	0,02
Лауринова C _{12:0}	–	–	–	0,20
Міристинова C _{14:0}	–	–	–	0,97
Пальмітинова C _{16:0}	5,75	3,11	9,65	39,21
Пальміт-олеїнова C _{16:1}	0,08	–	0,08	0,17
Маргарінова C _{17:0}	–	–	0,09	0,09
Стеаринова C _{18:0}	3,56	3,80	5,14	4,09
Олеїнова C _{18:1}	26,93	81,85	22,42	43,86
Лінолева C _{18:2}	62,25	9,12	53,90	10,44
Ліноленова C _{18:3}	0,09	0,06	7,73	0,27
Ейкозанова C _{20:0}	0,23	0,31	0,35	0,37
Ейкозенова C _{20:1}	0,14	0,26	0,13	0,15
Бегенова C _{22:0}	0,72	1,19	0,39	0,07
Лігноцерінова C _{24:0}	0,25	0,30	0,12	0,07

Вклад основного матеріалу

В результаті термічної обробки в олії відбуваються як фізичні, так і хімічні зміни. Головною причиною термічного псування олій, жирів, і всіх жиромісних продуктів є процес самоокиснення ліпідів. Ступінь окиснення ліпідів може бути визначений різними хімічними або фізичними методами. Зокрема, може бути визначений при використанні тестів, які вимірюють стабільність продукту в спеціальних умовах «прискороного старіння» (наприклад, при підвищеній температурі), для того щоб відбулося швидше самоокиснення протягом декількох годин, а не тижнів або місяців.

Такий метод дозволяє отримати криву окиснення, яка характеризується індукційним періодом (IP), тобто часом, який необхідний для досягнення кінцевої точки окиснення продукту, що відповідає раптовій зміні рівня споживання кисню.

Стійкість до окиснення олій визначено методом прискороного окиснення на приладі «OXITEST» (який дозволяє в режимі реального часу вивчати стійкість сировини і різних харчових продуктів до окиснення – тобто окисну стабільність) за показником «час індукції», значення якого знаходиться в зворотній залежності від інтенсивності окиснювальних процесів.

Результати досліджень наведено на рис. 1-4.

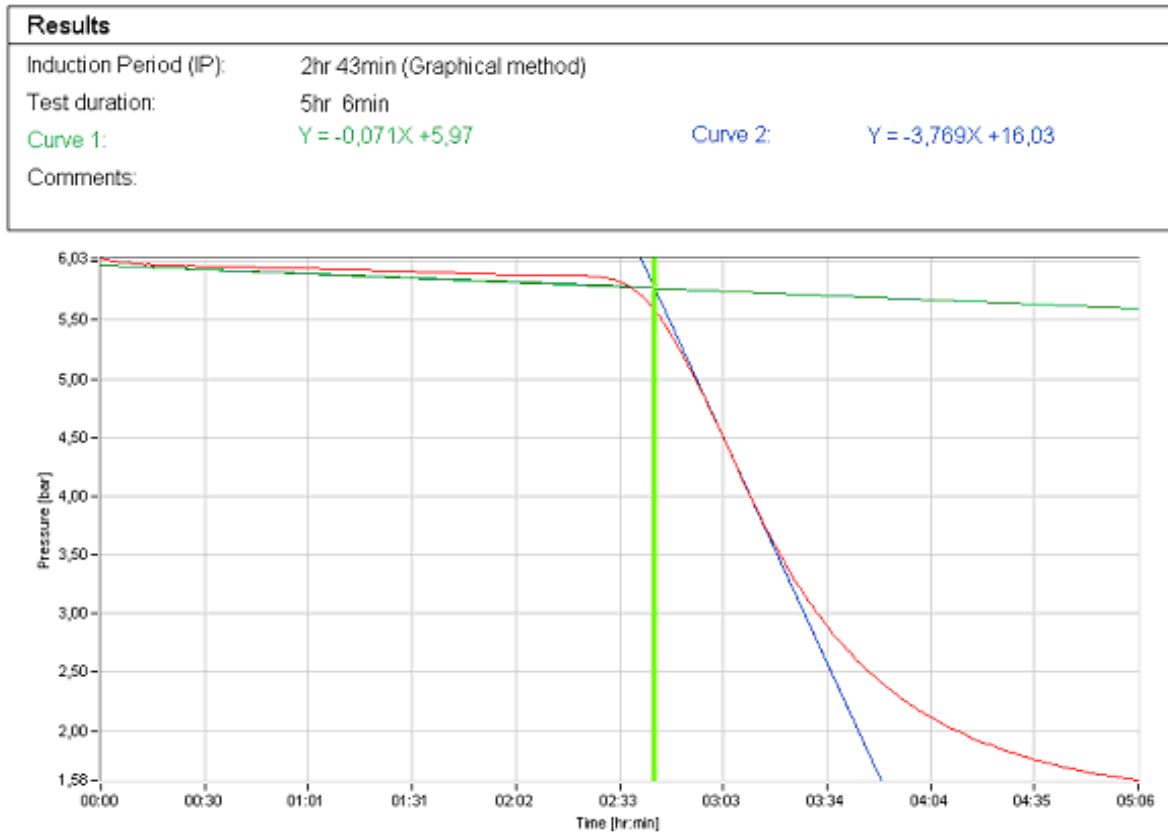


Рис. 1 – Результати дослідження окиснювальної стабільності соняшникової олії

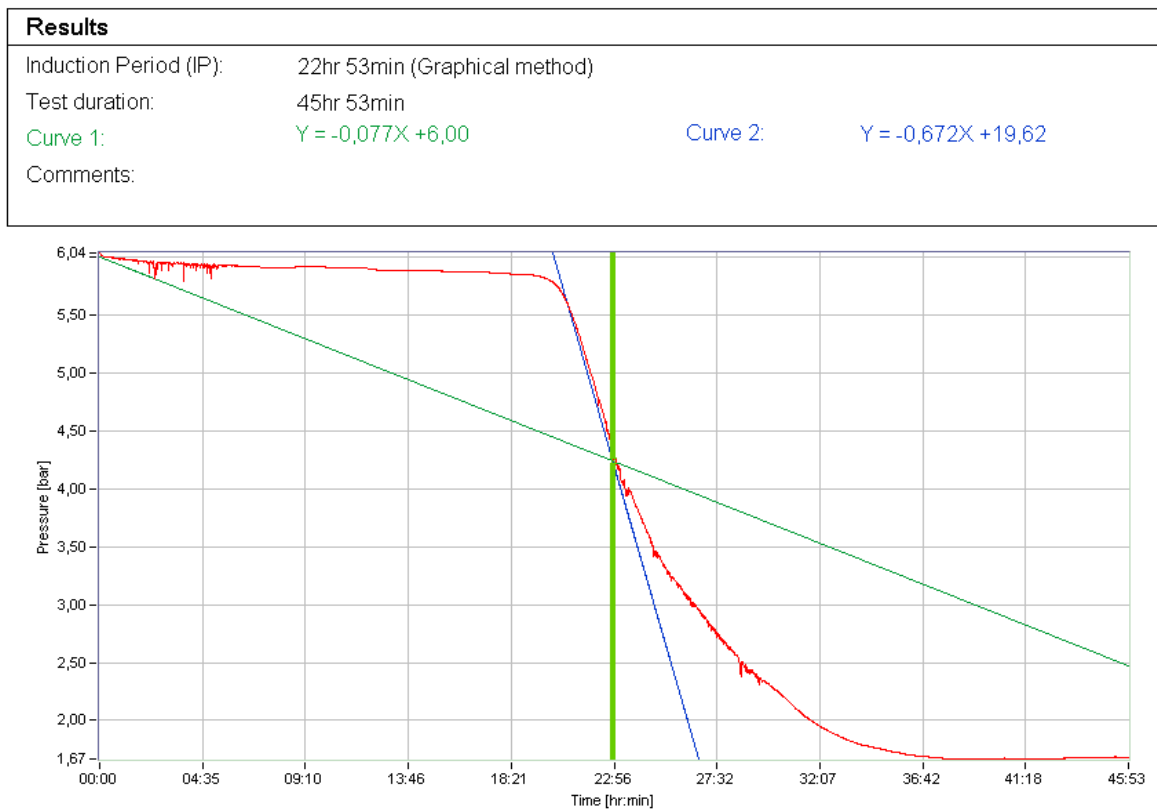


Рис. 2 – Результати дослідження окиснювальної стабільності високоолеїнової соняшникової олії

Results			
Induction Period (IP):	2hr 36min (Graphical method)		
Test duration:	5hr 6min		
Curve 1:	$Y = -0,073X + 6,11$	Curve 2:	$Y = -3,950X + 16,24$
Comments:			

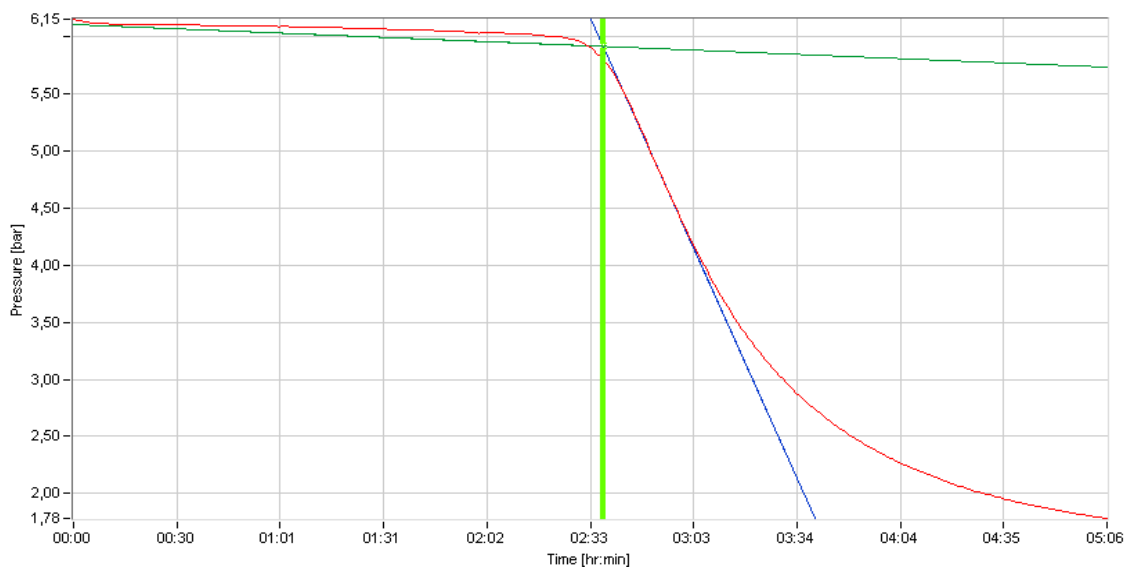


Рис. 3 – Результати дослідження окиснювальної стабільності соєвої олії

Results			
Induction Period (IP):	10hr 16min (Graphical method)		
Test duration:	20hr 59min		
Curve 1:	$Y = -0,022X + 5,99$	Curve 2:	$Y = -0,922X + 15,25$
Comments:			

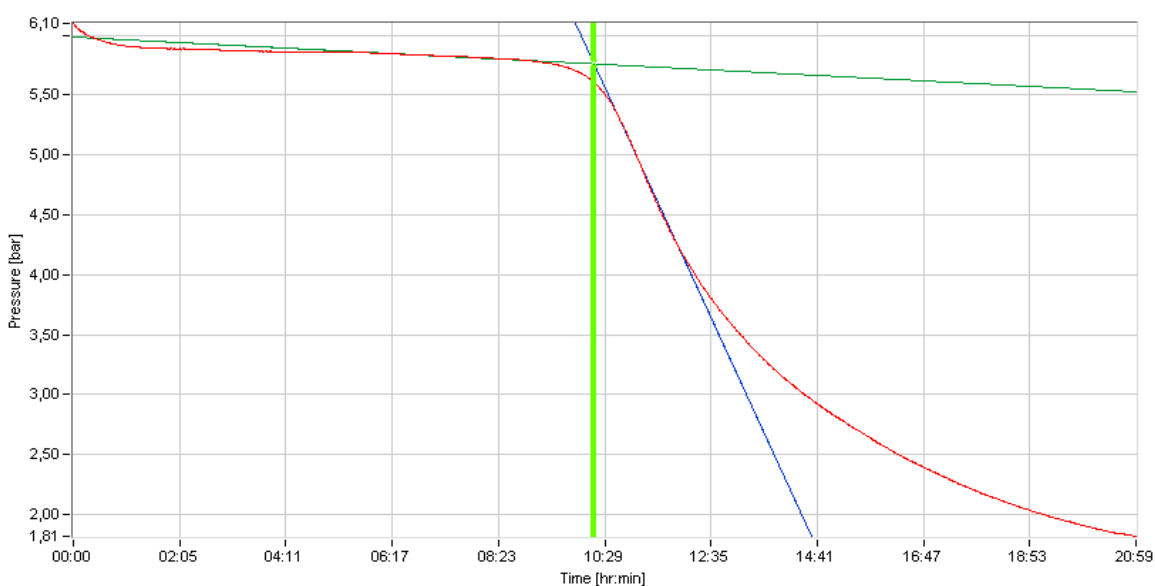


Рис. 4 – Результати дослідження окиснювальної стабільності пальмового олеїна

Обговорення результатів

Результати досліджень, наведених на рис. 1–4, узагальнено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Час окиснення для різних видів олій

№	Різновид олії	Температура дослідження	Час окиснення
1	Соняшникова олія	110 °С	2 год 43 хв
2	Високоолеїнова соняшникова олія	100 °С	22 год 53 хв
		110 °С*	11 год 26 хв*
3	Соєва олія	110 °С	2 год 36 хв
4	Пальмовий олеїн	110 °С	10 год 16 хв

*При підвищенні температури досліджуваного зразка прискореного окиснення на приладі «OXITEST» на 10 °С час окиснення зразка скорочується приблизно в 2 рази. Таким чином, час окиснення зразка високоолеїнової соняшкової олії при 110 °С становить приблизно – 11 год 26 хв.

Згідно з нормативними документами на рослинні олії – соняшкову і соєву (ДСТУ 4492:

2005 та ДСТУ 4534: 2006 відповідно) і на купажовані олії (ДСТУ 4536:2006) метод визначення органолептичних показників один, і проводиться відповідно до ГОСТ 5472-50 «Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности». Для рослинних олій до органолептичних показників, що визначають, відносять смак, запах, колір і прозорість. Смак, запах і колір рослинних олій залежать від якості і виду сировини, що переробляється, від способу виробництва і технологічних режимів роботи обладнання, а також від ступеня рафінації. Прозорість – показник, що характеризує відсутність в рослинних оліях каламуті або завислих часток, видимих неозброєним оком (олію витримують протягом 24 год при температурі 20 °С).

З точки зору споживача прозорість олії фасованої в споживчу тару є одним із важливих показників якості.

З метою підвищення стійкості жирів до окислення було приготовлено модельні суміші олій (в різних співвідношеннях) і визначено їх органолептичну характеристику – прозорість.

Результати досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Залежність органолептичної характеристики (прозорості) від виду суміші олій

№ зразка	Вид суміші		
	Соняшникова олія і пальмовий олеїн		
	Соняшникова олія	Пальмовий олеїн	Прозорість
1	90	10	Прозора
2	80	20	Прозора
3	70	30	Прозора
4	60	40	Спостерігається суспензія кристалів і наявність осаду
5	50	50	В об'ємі спостерігаються кристали і значний осад на дні
№ зразка	Соєва олія і пальмовий олеїн		
	Соєва олія	Пальмовий олеїн	Прозорість
	6	90	10
7	80	20	Прозора
8	70	30	Прозора
9	60	40	Спостерігається суспензія кристалів і осад
10	50	50	В об'ємі спостерігаються кристали і значний осад на дні

Таким чином, результати проведених досліджень показують, що зразки № 3 і 8 відповідають вимогам щодо такої органолептичної характеристики як прозорість згідно ГОСТ 5472.

Жиринокислотний склад сумішей олій (зразки № 3 і 8) визначено методом газорідної хроматографії і наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Жирнокислотний склад сумішей олій

Жирні кислоти	Зразок № 3	Зразок № 8
Міристинова C _{14:0}	0,43	0,40
Пальмітинова C _{16:0}	19,37	21,03
Стеаринова C _{18:0}	3,40	4,01
Олеїнова C _{18:1}	28,98	29,69
Лінолева C _{18:2}	47,26	40,89
Ліноленова C _{18:3}	–	3,45
Ейкозанова C _{20:0}	0,23	0,28
Бегенова C _{22:0}	0,33	0,25

Для зразків сумішей олій № 3 і 8 були проведені дослідження окиснювальної стабільності. Результати представлено на рис. 5-6 та узагальнено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Час окиснення сумішей

№	Зразок	Час окиснення
1	№ 3	3 год 18 хв
2	№ 8	3 год 16 хв

В результаті проведених досліджень було встановлено, що для сумішей, які відповідають вимогам щодо органолептичних показників, стійкість до окиснення в порівнянні з початковими оліями збільшувалася: для суміші соняшникової олії і пальмового олеїну (70%: 30%) в 1,2 рази, а для суміші соєвої олії і пальмового олеїну (70%: 30%) в 1,26 рази. Проведені дослідження показали ефективний шлях нехімічної стабілізації олій призначених для термічної обробки.

Results			
Induction Period (IP):	3hr 18min (Graphical method)		
Test duration:	15hr 8min		
Curve 1:	$Y = -0,060X + 5,97$	Curve 2:	$Y = -3,118X + 16,06$
Comments:			

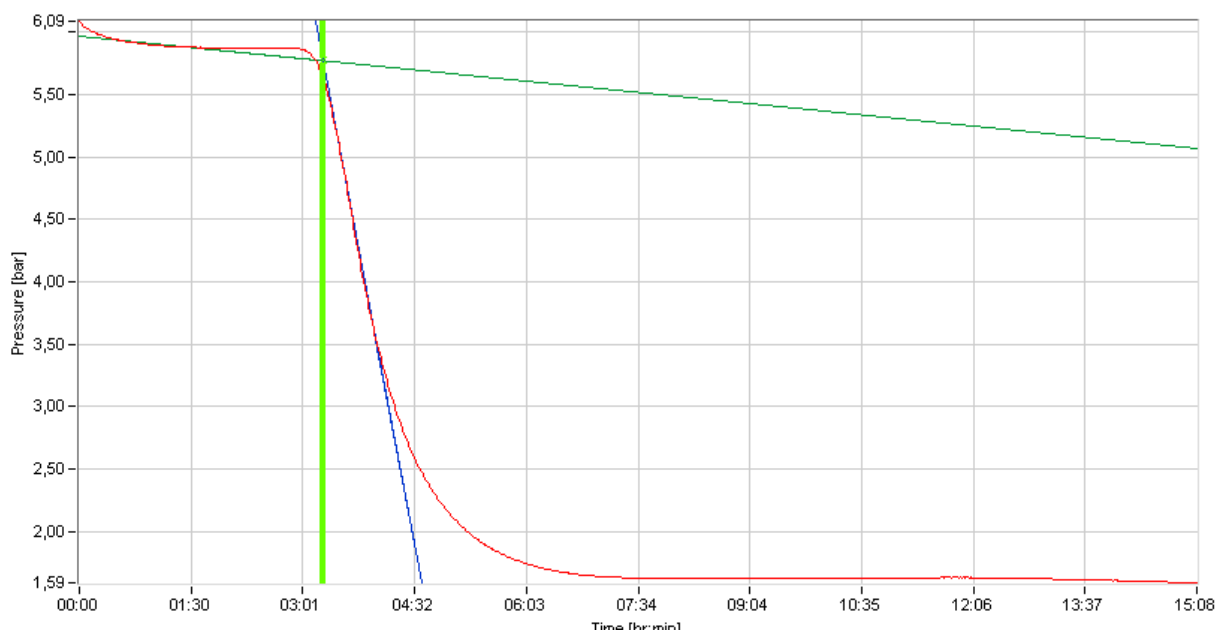


Рис. 5 – Результати дослідження окиснювальної стабільності зразка сумішей олій № 3

Results			
Induction Period (IP):	3hr 16min (Graphical method)		
Test duration:	20hr 59min		
Curve 1:	$Y = -0,060X + 6,07$	Curve 2:	$Y = -2,446X + 13,88$
Comments:			

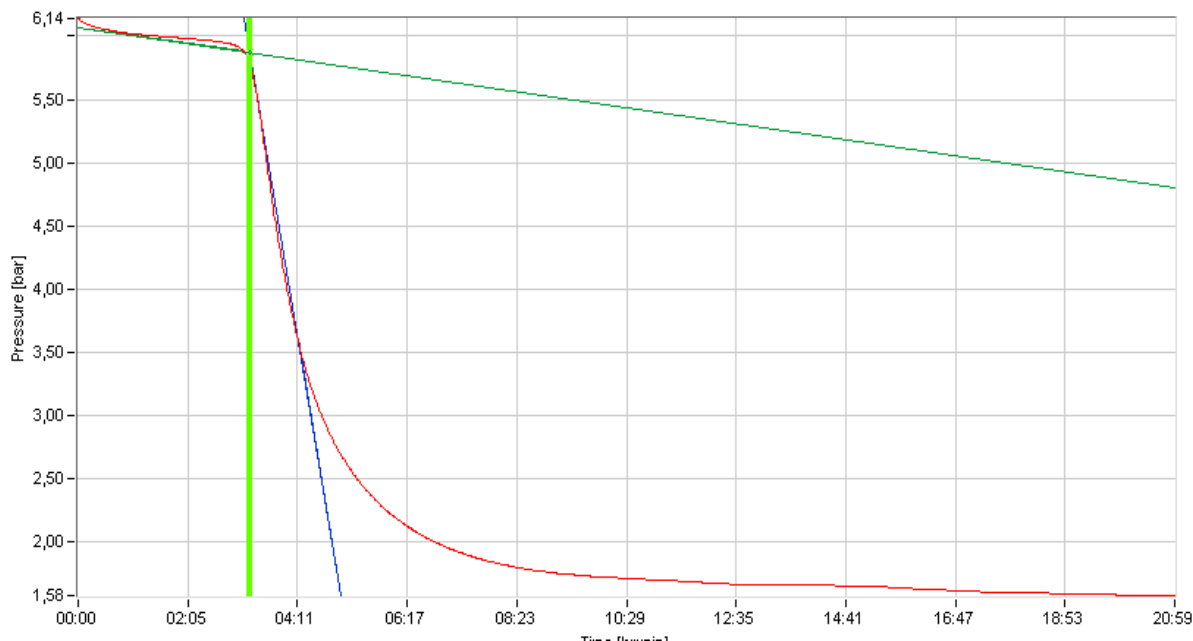


Рис. 6 – Результати дослідження окислювальної стабільності зразка сумішей олій № 8

Висновки

В результаті проведених досліджень:

- розроблено рецептури рідких кулінарних жирів, які містять рослинну олію та пальмовий олеїн у співвідношенні 70:30, що забезпечує збереження високих органолептичних показників, зокрема, прозорості;

- встановлено антиоксидантну стабільність розроблених сумішей, яка в порівнянні з початковими оліями збільшувалася: для суміші соняшникової олії і пальмового олеїну в 1,2 рази, а для суміші соєвої олії і пальмового олеїну в 1,26 рази;

- проведені дослідження показали ефективний шлях хімічної стабілізації олій, призначених для термічної обробки, шляхом купажування із пальмовим олеїном.

Впровадження результатів досліджень дозволить продовжити терміни використання олій в технологічному циклі виробництва фритюрної продукції, а також дасть можливість збільшити терміни придатності обжареної продукції за рахунок вмісту в ній менш окислених жирів.

Список літератури

1. **Мамонтов, А. С.** Исследование процессов окисления растительных масел при транспортировке и хранении / **А. С. Мамонтов** // *Food Processing: Techniques and Technology*. – 2014. – № 3. – С. 136–140.
2. **Мазалова, Л. М.** Качество фритюрного жира как залог безопасности продукции / **Л. М. Мазалова** // *Пищевая промышленность*. – 2006. – № 3. – С. 50–53.
3. **Самойлов, А. В.** Исследование фритюрных жиров в технологии картофеля фри / **А. В. Самойлов, Ю. А. Тырсин, Ю. В. Николаева, М. Ю. Рудакова** // *Масложировая промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 18–19.
4. **Тырсин, Ю. А.** Антиоксидантная стабилизация фритюрных жиров / **Ю. А. Тырсин, Ю. В. Николаева, М. Ю. Рудакова, М. Л. Мануйлова** // *Масложировая промышленность*. – 2012. – № 5. – С. 19–20.
5. **Дубцова, Г. Н.** Стабилизация фритюрного жира при жарке мучных изделий / **Г. Н. Дубцова, И. А. Дебова, И. У. Кусова, В. Г. Байков** // *Масла и жиры*. – 2014. – № 9-10. – С. 36–39.
6. **Васькина, В. А.** Обжаривание мучных изделий во фритюре / **В. А. Васькина, Н. А. Львович, Т. С. Вайншенкер** // *Масла и жиры*. – 2014. – № 3-4. – С. 34–37.

7. **Kerrihard, Adrian L.** Oxidative Stability of Commodity Fats and Oils: Modeling Based on Fatty Acid Composition / **Adrian L. Kerrihard, Kornél Nagy, Brian D. Craft, Maurizio Beggio, Ronald B. Pegg** // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 2015. – V.92, Issue 8. – P. 1153–1163. – doi: 10.1007/s11746-015-2686-4.
8. **Marmesat, S.** Performance of sunflower oil with high levels of oleic and palmitic acids during industrial frying of almonds, peanuts, and sunflower seeds / **S. Marmesat, M. Mancha, M. V. Ruiz-Méndez, M. C. Dobarganes** // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 2005. – V.82, Issue 7. – P. 505–510. – doi: 10.1007/s11746-005-1101-6.
9. **Guinda, A.** Chemical and physical properties of a sunflower oil with high levels of oleic and palmitic acids / **A. Guinda, M.C. Dobarganes, M.V. Ruiz-Mendez, M. Mancha** // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* – 2003. – V. 105. – P. 130–137. – doi: 10.1002/ejlt.200390028.
10. **Dewi, Fortuna Ayu.** Effect of tocopherols, tocotrienols, β -carotene, and chlorophyll on the photo-oxidative stability of red palm oil / **Fortuna Ayu Dewi, Nuri Andarwulan, Purwiyatno Hariyadi, Eko Hari Purnomo** // *Food Science and Biotechnology*. – 2016. – V.25, Issue 2. – P. 401–407. – doi: 10.1007/s10068-016-0055-1.
11. **Tarmizi, Azmil Haizam Ahmad.** Comparison of the Frying Stability of Standard Palm Olein and Special Quality Palm Olein / **Azmil Haizam Ahmad Tarmizi, Razali Ismail** // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 2008. – V.85, Issue 3. – P. 245–251. – doi: 10.1007/s11746-007-1184-8.
12. **Naghshineh, M.** Effect of Saturated/Unsaturated Fatty Acid Ratio on Physicochemical Properties of Palm Olein–Olive Oil Blend / **M. Naghshineh, Abdul Azis Ariffin, Hasanah Mohd Ghazali, Hamed Mirhosseini, Abdulkarim S. Mohammad** // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 2010. – V.87, Issue 3. – P. 255–262. – doi: 10.1007/s11746-009-1495-z.
3. **Samoilov, A. V., Tyrsyn, Yu. A., Nykolaeva, Yu. V., Rudakova, M. Yu.** Yssledovanye frytiurnykh zhyrov v tekhnolohyy kartofelia fry. *Maslozhyrovaia promyshlennost*, 2013, 3, 18–19.
4. **Tyrsyn, Yu. A., Nykolaeva, Yu. V., Rudakova, M. Yu., Manuilova, M. L.** Antyoksydantnaia stablyzatsiya frytiurnykh zhyrov. *Maslozhyrovaia promyshlennost*, 2012, 5, 19–20.
5. **Dubtsova, H. N., Debova, Y. A., Kusova, Y. U., Baikov, V. H.** Stablyzatsiya frytiurnoho zhyra pry zharke muchnykh yzdelyi. *Masla y zhyry*, 2014, 9-10, 36–39.
6. **Vaskyna, V. A., Lvovych, N. A., Vainshenker, T. S.** Obzharyvanye muchnykh yzdelyi vo frytiure. *Masla y zhyry*, 2014, 3-4, 34–37.
7. **Kerrihard, Adrian L., Kornél Nagy, Brian, D. Craft, Maurizio, Beggio, Ronald, B. Pegg.** Oxidative Stability of Commodity Fats and Oils: Modeling Based on Fatty Acid Composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2015, 92, 8, 1153–1163, doi: 10.1007/s11746-015-2686-4.
8. **Marmesat, S., Mancha, M., Ruiz-Méndez, M. V., Dobarganes, M. C.** Performance of sunflower oil with high levels of oleic and palmitic acids during industrial frying of almonds, peanuts, and sunflower seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2005, 82, 7, 505–510, doi: 10.1007/s11746-005-1101-6.
9. **Guinda, A., Dobarganes, M. C., Ruiz-Mendez, M. V., Mancha M.** Chemical and physical properties of a sunflower oil with high levels of oleic and palmitic acids. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2003, 105, 130–137, doi: 10.1002/ejlt.200390028.
10. **Dewi, Fortuna Ayu, Andarwulan, N., Purwiyatno H., Purnomo E. H.** Effect of tocopherols, tocotrienols, β -carotene, and chlorophyll on the photo-oxidative stability of red palm oil. *Food Science and Biotechnology*, 2016, 25, 2, 401–407, doi: 10.1007/s10068-016-0055-1.
11. **Tarmizi, Azmil Haizam Ahmad, Razali, I.** Comparison of the Frying Stability of Standard Palm Olein and Special Quality Palm Olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2008, 85, 3, 245–251, doi: 10.1007/s11746-007-1184-8.
12. **Naghshineh M., Ariffin, Abdul Azis, Ghazali, H. M., Mirhosseini, H., Abdulkarim S. M.** Effect of Saturated/Unsaturated Fatty Acid Ratio on Physicochemical Properties of Palm Olein–Olive Oil Blend. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2010, 87, 3, 255–262, doi: 10.1007/s11746-009-1495-z.

Bibliography (transliterated)

1. **Mamontov, A. S.** Yssledovanye protsessov okysleniya rastytelnykh masel pry transportyrovke y khranenny. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2014, 3, 136–140.
2. **Mazalova, L. M.** Kachestvo frytiurnoho zhyra kak zaloh bezopasnosti produktsyy. *Pyshchevaia promyshlennost*, 2006, 3, 50–53.

Відомості про авторів (About authors)

Удовенко Олексій Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння; м. Харків, Україна; e-mail: aleksey.udovenko@gmail.com.

Alexey Udovenko – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student of the technology department of fats and fermentation products; Kharkiv, Ukraine; e-mail: aleksey.udovenko@gmail.com.

Куніця Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, старший викладач кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, м. Харків, Україна; e-mail: ekaterina.kunitsia@gmail.com.

Ekaterina Kunitsa – Ph. D., Senior Lecturer of the Department of Food Technologies and Hotel and Restaurant Business. Kharkov Trade and Economic Institute of Kyiv National Trade and Economic University, Kharkov, Ukraine; e-mail: ekaterina.kunitsia@gmail.com.

Литвиненко Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння; м. Харків, Україна; e-mail: elena.litvinenko14@gmail.com.

Elena Litvinenko – Ph. D., senior research fellow, associate professor of the department of technology of fats and fermentation products; National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: elena.litvinenko14@gmail.com.

Гладкий Федір Федорович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри технології жирів та продуктів бродіння; м. Харків, Україна; e-mail: 1930tg@gmail.com.

Fedor Gladky – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Fats and Fermentation Products, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: 1930tg@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Удовенко, О. О. Розробка кулінарних жирів підвищеної окисної стабільності / **О. О. Удовенко, К. В. Куниця, О. А. Литвиненко, Ф. Ф. Гладкий** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 100-108. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.39.

Please cite this article as:

Udovenko, O., Kunitsya, K., Litvinenko, O., Gladky, F. Development of culinary fats with increased oxidative stability. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 100-108, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.39.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Удовенко, А. А. Разработка кулинарных жиров повышенной окислительной стабильности / **А. А. Удовенко, Е. В. Куниця, Е. А. Литвиненко, Ф. Ф. Гладкий** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 100-108. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.39.

АННОТАЦИЯ Проведено исследование нехимической стабилизации масел, предназначенных для термической обработки. Установлено, что для смесей, которые прошли органолептические испытания, устойчивость к окислению по сравнению с начальными маслами увеличивалась: для смеси подсолнечного масла и пальмового масла (70%: 30%) в 1,2 раза, а для смеси соевого масла и пальмового масла (70%: 30%) в 1,26 раза. Проведенные исследования показали эффективный путь нехимической стабилизации масел, предназначенных для термической обработки.

Ключевые слова: кулінарний жир; пальмовий олеїн; окислення; жирні кислоти; стабільність; фритюр

Поступила (received) 29.06.2018

УДК 628.349

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.40

ОЧИСТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД ОКИСЛЕНИЕМ НА КОМПОЗИЦИОННОМ УГОЛЬНОМ СОРБЕНТЕ

А. П. ХОХОТВА

кафедра экологии и технологии растительных полимеров, инженерно-химический факультет, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев, УКРАИНА
email: khokhotva@bigmir.net

АННОТАЦИЯ В данной работе предложено использовать преимущества окислительного и сорбционного методов для удаления нефтепродуктов из сточных вод на стадии доочистки воды. В качестве окислителя использован MnO_2 , осажденный в порах активированного угля Filtrasorb 300 в результате обработки последнего раствором $KMnO_4$. Изучен процесс осаждения MnO_2 на поверхности угля в зависимости от исходной концентрации перманганата. Синтезирован композиционный сорбент F300- MnO_2 с содержанием окислителя 0,5%. Удельная сорбционная емкость исходного угля по нефти составляла 68 мг/г, в то время как для синтезированного композиционного сорбента она была почти вдвое больше.
Ключевые слова: сточные воды; нефтепродукты; MnO_2 ; композиционный сорбент; сорбция; окисление

TREATMENT OF OIL-CONTAINING WATER BY OXIDATION ONTO COMPOSITE CARBON SORBENT

О. КНОКНОТВА

Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, Faculty of Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Wastewater, treated at sewage treatment plants, contains oil products at low concentrations predominantly in a dissolved state and the use of sorption or destructive methods will be the most effective. The present paper proposes to combine the advantages of both methods. Activated carbon, among others, is widely used for the deep removal of oil and petroleum products from wastewater. MnO_2 proved to be a good oxidizer for the removal of organic pollutants. The composite sorbent was synthesized based on activated carbon Filtrasorb 300. It has high adsorption capacity and a large number of transport pores and is designed to remove organic compounds from water. The oxidizer MnO_2 was precipitated in the pores of the carbon as a result of treatment with a $KMnO_4$ solution. The process of MnO_2 precipitation on the carbon surface was studied depending on the initial concentration of $KMnO_4$ from 1 to 52 g/dm³. With contact 24 h, the mass fraction of MnO_2 in the carbon was almost independent of the concentration of the permanganate solution and reached up to 39.7 %. MnO_2 forms nanoparticles that gradually fill in the pores of the carbon sorbent. Obtained material will have a greater oxidizing ability and a longer operating time without regeneration. On the other hand, too much MnO_2 significantly reduces the contact area of the adsorbent with the solution, so the oxidation rate slows down. A sufficient duration of modification of coal is considered 15 minutes at a concentration of $KMnO_4$ solution 1 g/dm³. The synthesized composite sorbent contained 0.5% MnO_2 . The number of acidic surface sites after carbon modification doubled from 0.55 to 1.1 mmol-eq/g. The specific sorption capacity of the initial carbon after 24 h contact time was 68 mg/g, while for the synthesized composite sorbent it was 122 mg/g and continued to increase.

Keywords: wastewater; petroleum products; MnO_2 ; composite sorbent; sorption; oxidation

Введение

Нефть и нефтепродукты являются распространенными загрязнителями в широком спектре отраслей промышленности. Недостаточно очищенные нефтесодержащие сточные воды, сбрасываемые в окружающую среду, создают серьезную экологическую проблему во всем мире. Существует множество источников нефтесодержащих сточных вод, к основным из которых относятся предприятия нефтеперерабатывающей, нефтехимической, металлургической и металлообрабатывающей промышленности и морского транспорта. Его основные компоненты

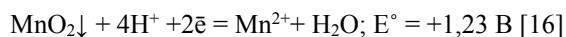
включают легкие углеводороды, тяжелые углеводороды, масло, смолы, смазочные масла. Состав и концентрация нефтесодержащих сточных вод сильно различаются между отраслями.

В течение последних лет были разработаны различные методы очистки сточных вод, такие как флотация [1, 2], коагуляция [3, 4], адсорбция [5, 6], методы химического [7, 8] и биологического окисления [9, 10], мембранного разделения [11, 12]. Однако только несколько технологий позволяют достичь компромиссного баланса между соблюдением требования законодательства по содержанию загрязняющих веществ в сточных водах и приемлемой стоимостью очистки.

При низких концентрациях нефтепродуктов в сточных водах, прошедших обработку в очистных сооружениях, органическая фаза находится преимущественно в растворенном состоянии и применение деструктивных методов будет наиболее эффективно. Многие окислительные методы часто являются приемлемыми только на уровне экспериментальной установки, очень дорогими в эксплуатации и поэтому не подходящими для непрерывного режима очистки в промышленных масштабах.

Перспективным методом обезвреживания нефтепродуктов в воде может быть их твердофазное окисление на MnO_2 . Каталитическое окисление на оксидах переходных металлов подтвердило свою высокую эффективность при очистке сточных вод от фенолов и красителей [13-15].

Диоксид марганца является довольно активным окислителем, который способен реагировать с большинством компонентов нефти и продуктов ее переработки:



В литературе описано несколько способов осаждения пленки MnO_2 на твердом носителе [17], среди которых особого внимания заслуживает метод окисления-восстановления.

Цель работы

Целью работы является сравнительное исследование сорбционных свойств суспендированного MnO_2 и композиционного материала, полученного на основе активированного угля и оксидов марганца, для удаления нефти из модельных растворов.

Методики проведения эксперимента

Для экспериментов был выбран уголь марки Filtrasorb 300 (далее F300). Он имеет высокую адсорбционную способность и большое количество транспортных пор и предназначен для удаления из воды органических соединений. Площадь поверхности F300 по методу БЭТ составляет $950 \text{ м}^2/\text{г}$, средний размер гранул 1,6 мм.

Исследование процесса осаждения MnO_2 на угле проводили по следующей методике. Навески активированного угля 1 г помещали в стаканы на 200 см^3 и заливали растворами $KMnO_4$ в диапазоне концентраций от 1 до $52 \text{ г}/\text{дм}^3$ при нейтральном значении pH и при перемешивании, оставляли на сутки. Затем, титрованием раствора оксалата натрия, определяли остаточную концентрацию $KMnO_4$ и рассчитывали удельную емкость угля по MnO_2 . Синтезированный сорбент обозначен F300- MnO_2 .

Синтез MnO_2 в виде суспензии проводили путем смешивания 3%-х растворов $MnCl_2$ и $KMnO_4$ с последующим отмыванием суспензии MnO_2 водой от непрореагировавших компонентов. Содержание

окислителя в суспензии определяли гравиметрически как содержание взвешенных веществ.

Изотермы сорбции нефти на F300 и F300- MnO_2 получали при контакте $0,5 \text{ дм}^3$ модельных эмульсий нефти (концентрация $2-30 \text{ мг}/\text{дм}^3$) с навеской сорбентов 100 мг. По истечению времени контакта 24 ч определяли остаточное содержание нефти в воде экстракционно-спектрофотометрическим методом.

Определение поверхностных функциональных групп проводили методом кислотно-основного титрования суспензий исходного F300 и композиционного сорбента F300- MnO_2 при 20°C в присутствии фонового электролита $0,1 \text{ М NaNO}_3$ (для поддержания постоянной величины ионной силы раствора). 100 мг угля выдерживали в течение 72 часов в 10 см^3 фонового электролита при pH 2, подкисляя раствор $0,1 \text{ М H}_2\text{SO}_4$. Затем суспензию оттитровывали раствором $0,1 \text{ М NaOH}$ до достижения pH 11.

Полученные данные были обработаны по методу Грана для определения точек эквивалентности кривых титрования. Значение функции Грана были рассчитаны, используя следующие уравнения: для кислотной стороны кривой титрования:

$$G_k = (V_0 + V_{NaOH}) \cdot 10^{pH_1 - pH},$$

для основной стороны кривой титрования:

$$G_o = (V_0 + V_{NaOH}) \cdot 10^{pH - pH_2},$$

где V_0 - начальный объем суспензии, см^3 ; V_{NaOH} и pH - соответственно объем раствора NaOH, см^3 , добавленного в разных точках кривой титрования и значение pH в этих точках; pH_1 - значение pH в начальной точке кривой титрования; pH_2 - значение pH в конечной точке кривой титрования.

По результатам расчетов строили график зависимости функции Грана (ось y) от объема добавленного раствора щелочи (ось x).

Определяли эффект очистки модельных растворов нефти диоксидом марганца в статических условиях. Окислитель дозировали в количествах 250 и $500 \text{ мг}/\text{дм}^3$ в очищаемую воду в виде суспензии MnO_2 и поддерживали во взвешенном состоянии с помощью магнитной мешалки. Объем нефтесодержащей воды составлял 1 дм^3 . Пробы воды на анализ отбирали через равные промежутки времени 10-20 мин. Взвешенную фазу отделяли на лабораторной центрифуге и в осветленной воде определяли остаточную концентрацию нефти экстракционно-спектрофотометрическим методом [18].

Обсуждение результатов

При исследовании процесса окисления нефти на суспензии диоксида марганца установлено, что с повышением концентрации MnO_2 возрастает скорость окисления органических загрязнений в воде (рис. 1).

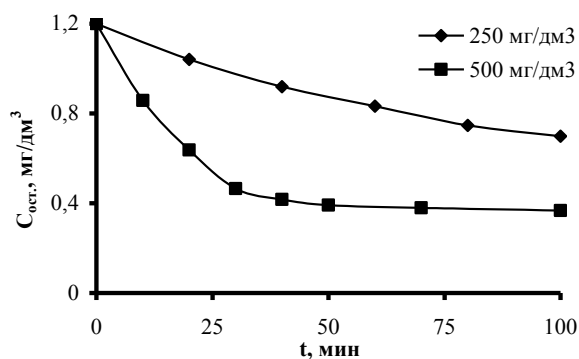


Рис. 1 – Залежність залишкової концентрації нафти від часу контакту фаз і кількості внесенного MnO_2

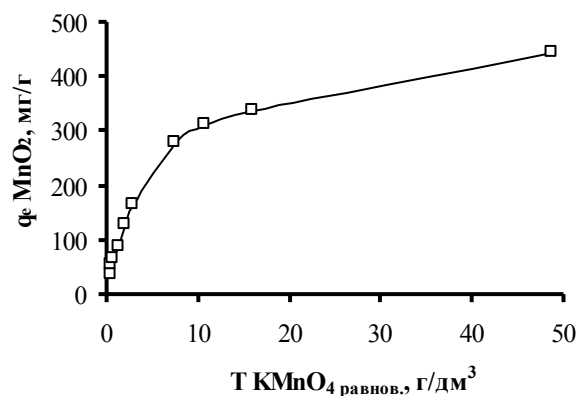
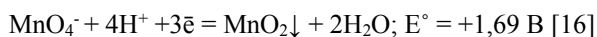


Рис. 2 – Ізотерма осаження MnO_2 на вуглі F300

При вмісті діоксида марганцю 250 мг/дм³ за час контакту фаз 100 мин не досягалося значення залишкового вмісту нафти на рівні, який спостерігався в разі концентрації окислювача 500 мг/дм³ за вдвоє менше часу.

Використання суспензії MnO_2 , має свої недоліки: частинки діоксида марганцю мелкодисперсні, мають схильність до слипання і такої окислювач не можна використовувати як фільтруючу завантаження. Інтенсифікувати процес видалення іонів-восстановителів як органічного, так і неорганічного походження можна, об'єднавши переваги сорбційного методу з методом хімічного окислення. В відмінності від використання суспензованого MnO_2 , активованого вугілля має більш розвинуту поверхню, тобто, процес окислення забруднювачів буде відбуватися на площині декількох сотень квадратних метрів.

MnO_2 на поверхні вугілля осаджали по окислювально-відновлювальній реакції, в якій окислювачем є $KMnO_4$, а відновителем - вугілля. Дослідження показали, що реакція активованого вугілля з $KMnO_4$ при кімнатній температурі протікає достатньо швидко. Перманганат-іон розриває зв'язки С-С і на звільнене місце встраюється MnO_2 [19]. Утворення діоксида марганцю в порах вугілля описується рівнянням напівреакції:



При підвищенні часу контакту між вуглеродним сорбентом і перманганатом зростало кількість MnO_2 , осадиженого в порах. Причому при тривалому контакті масова частка MnO_2 в вуглі майже не залежала від концентрації розчину перманганату. Так, при часі контакту 1 доби і концентраціях $KMnO_4$ 1,3 і 48 г/дм³ ω (MnO_2) становила відповідно 35,4 і 39,7 %, що підтверджує результати, отримані в [19].

На рис. 2 наведено ізохерма осадиження MnO_2 на вуглі F300.

При обробці активованого вугілля розчином при високих концентраціях використаного розчину перманганату або при значному часі його контакту з вугіллям вугілля набувало фіолетового відтінку. Згідно [19], при збільшенні концентрації перманганату і часу контакту удільна площа поверхні адсорбента зменшується, що дослідники пояснюють тим, що MnO_2 має більшу густоту і тому важче. Тобто, 1 г обробленого вугілля займає менший об'єм і тому площа пор, що припадає на одиницю маси вугілля, зменшується.

Фотографії, отримані методом тунельної електронної мікроскопії [17], свідчать про те, що MnO_2 утворює наночастинки, які поступово заповнюють пори вуглеродного сорбента. Такого вугілля буде мати більший запас окислювальної здатності і більш тривале час роботи без регенерації. З іншого боку, занадто велика частка MnO_2 суттєво зменшує площу контакту адсорбента з розчином, тому швидкість окислення зменшується. Достатньою тривалістю модифікації вугілля можна вважати 15 мин при концентрації розчину $KMnO_4$ 1 г/дм³, він містить 0,5 % MnO_2 . Синтезований в таких умовах сорбент позначено F300- MnO_2 .

Методом кислотно-основного титрування суспензій вугілля було встановлено, що після модифікації вугілля загальна кількість кислотних функціональних груп на поверхні сорбента збільшилася вдвоє - з 0,55 ммоль-екв/г до 1,1 ммоль-екв/г - в результаті розриву вуглеродних зв'язків на поверхні вугілля і їх окислення перманганат-іоном.

Метод титрування суспензії, обробленої кислотою, широко використовується при дослідженні характеристик поверхні сорбентів. Для цього використовували серну кислоту, а не азотну або соляну, оскільки HCl буде відновлюватися осадиженою на поверхні вугілля MnO_2 , а HNO_3 сама може окисляти поверхні функціональні групи і збільшувати кількість кислотних груп, що призведе до спотворення результатів титрування. Всі кислотні функціональні групи на

поверхности угля переходят в H^+ -форму. Во время титрования суспензии щелочью сначала оттитровываются свободные непрореагировавшие протоны, а затем протоны кислот на поверхности сорбента.

На диаграммах кислотно-основного титрования суспензии угля в кислоте, рассчитанных и построенных по методу Грана (рис. 3), видно, что в случае угля F300 аппроксимационные прямые с кислотной и основной сторон почти сходятся в одной точке, что указывает на относительно небольшую разницу значений констант диссоциации кислотных функциональных групп на поверхности угля. В то же время при окислении угля возникают кислотные группы с более широким спектром констант диссоциации (условно, несколько точек эквивалентности при титровании).

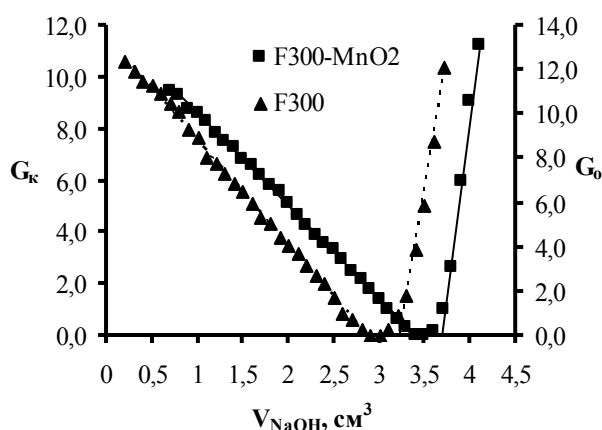


Рис. 3 – Значение функции Грана с кислотной (G_k) и основной (G_o) сторон при титровании щелочью суспензии F300 и F300-MnO₂

На рис. 4 показаны изотермы сорбции нефти на угле F300 и F300-MnO₂.

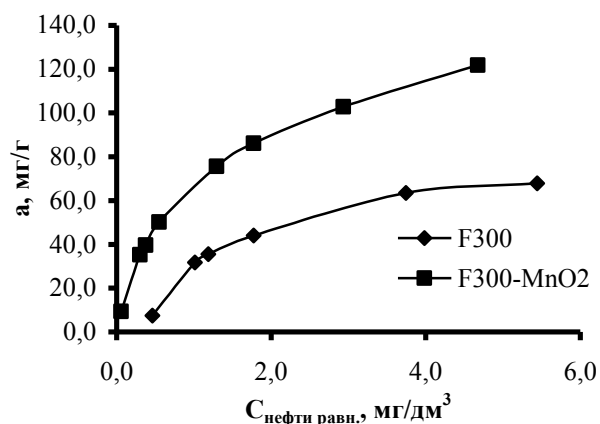


Рис. 4 – Изотермы сорбции нефти на F300 и F300-MnO₂

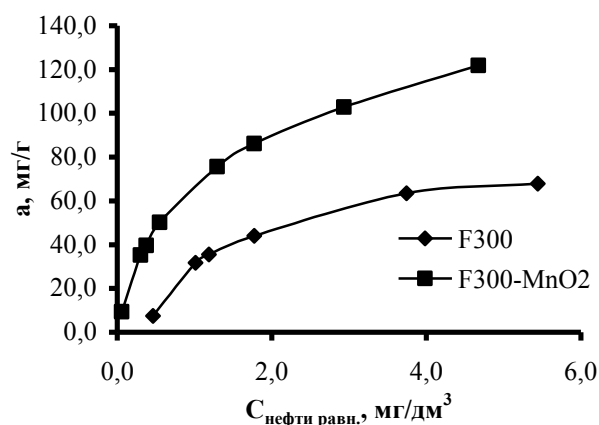


Рис. 4 – Изотермы сорбции нефти на F300 и F300-MnO₂

Предельная сорбционная емкость при сорбции нефти из водного раствора в течение суток составляла 68 мг/г. Композиционный сорбент проявлял себя и как сорбент, и как окислитель. При одинаковых начальных концентрациях нефти достигались более низкие остаточные концентрации. В этом эксперименте с F300-MnO₂ получена сорбционная емкость была далека от насыщения, а достигнута величина составляла 122 мг/г с тенденцией к дальнейшему росту.

Очевидно, увеличение времени контакта нефтесодержащей воды с композиционным угольным сорбентом заметно повысит глубину очистки воды от нефти.

Выводы

Получен композиционный сорбент, в котором матрицей-носителем выступает активированный уголь Filtrasorb 300, а дисперсной фазой - MnO₂. Лучший эффект очистки воды достигается при модификации угля раствором KMnO₄ с концентрацией до 1 г/дм³ в течение 10-15 мин. При этом в пористой структуре F300 оседают наночастицы MnO₂ в количестве, достаточном для окислительного удаления органических соединений, при этом не очень уменьшая удельную площадь поверхности сорбента. Удельная емкость F300-MnO₂ вдвое больше, чем у немодифицированного F300. Сорбционная емкость композиционного сорбента увеличивается с увеличением времени контакта с очищаемой водой, поскольку увеличивается время его окислительного действия. Метод лучше всего использовать на стадии доочистки воды для извлечения остаточных количеств растворенных нефтепродуктов.

Список использованной литературы

1. **Moosai, R.** Gas attachment of oil droplets for gas flotation for oily wastewater cleanup / **R. Moosai, R. A. Dawe** //

- Separation and Purification Technology*. – 2003. – № 3. – P. 303-314. – doi: 10.1016/S1383-5866(03)00091-1.
- Effect of bubble hydrodynamic and chemical dosage on treatment of oily wastewater by Induced Air Flotation (IAF) process / **P. Painmanakul, P. Sastaravet, S. Lersjintanakarn, S. Khaodhiar** // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2010. – 88. – № 5-6. – P. 693-702. – doi: 10.1016/j.cherd.2009.10.009.
 - Cong, L. N.** Synthesis and application of PAZSC in oily wastewater treatment / **L. N. Cong, Y. J. Liu, B. Hao** *Chemical Engineer*. – 2011. – № 1. – P. 5-9.
 - El-Naas, M. H.** Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater / **M. H. El-Naas, S. Al-Zuhair, A. Al-Lobaney, S. Makhoulf** // *Journal of Environmental Management*. – 2009. – № 91. – P. 180-185. – doi: 10.1016/j.jenvman.2009.08.003.
 - Ibrahim, S.** Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw / **S. Ibrahim, S. B. Wang, H. M. Ang** // *Biochemical Engineering Journal*. – 2010. – 49. – № 1. – P. 78-83. – doi: 10.1016/j.bej.2009.11.013.
 - Сироткина, Е. Е.** Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов / **Е. Е. Сироткина, Л. Ю. Новоселова** // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2005. – № 13. – С. 359-377.
 - Santos, M. R. G.** The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater / **M. R. G. Santos, M. O. F. Goulart, J. Tonholo, C. L. P. S. Zanta** // *Chemosphere*. – 2006. – 64. – № 3. – P. 393-399. – doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.12.036.
 - Yu, L.** Catalytic Supercritical Water Oxidation of Oily Wastewater / **L. Yu, Y. Chen, F. He** // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 2015. – 51. – № 1. – P. 87-92. – doi: 10.1007/s10553-015-0578-9.
 - Liu, G. H.** Biotreatment of heavy oil wastewater by combined upflow anaerobic sludge blanket and immobilized biological aerated filter in a pilot-scale test / **G. H. Liu, Z. F. Ye, K. Tong, Y. H. Zhang** // *Biochemical Engineering Journal*. – 2013. – 72. – № 15. – P. 48-53. – doi: 10.1016/j.bej.2012.12.017.
 - Wu, L.** Biodegradation of oil wastewater by free and immobilized *Yarrowia lipolytica* W29 / **L. Wu, G. Ge, J. Wan** // *Journal of Environmental Sciences*. – 2009. – 21. – № 2. – P. 237-242. – doi: 10.1016/S1001-0742(08)62257-3.
 - Zhang, Y. Q.** Development of a sulfated Y-doped nonstoichiometric zirconia/polysulfone composite membrane for treatment of wastewater containing oil / **Y. Q. Zhang, P. Cui, T. D. Du, L. B. Shan, Y. L. Wang** // *Separation and Purification Technology*. – 2009. – 70. – № 2. – P. 153-159. – doi: 10.1016/j.seppur.2009.09.010.
 - Yang, T.** Formation and performance of Kaolin/MnO₂ bilayer composite dynamic membrane for oily wastewater treatment: Effect of solution conditions / **T. Yang, Z. F. Ma, Q. Y. Yang** // *Desalination*. – 2011. – 270. – № 1-3. – P. 50-56. – doi: 10.1016/j.desal.2010.11.019.
 - Yang, M.** Synthesis of Monodispersed Nanospheres of Mn₃O₄ and Its Adsorption Behavior for Alizarin Red / **M. Yang, D. Li, T. Zhao, J. Ma** // *Journal of Dispersion Science and Technology*. – 2010. – 31. – № 4. – P. 563-566. – doi: 10.1080/01932691003681522.
 - Song, Y.** The Kinetics of Oxidizing Phenol in Wastewater by Natural Manganese Oxide Minerals / **Y. Song, X. Qiaoqin, C. Tianhu** // *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*. – 2006. – 25. – № 4. – P. 324-329.
 - Chenzi, F.** Pretreatment of actual high-strength phenolic wastewater by manganese oxide method / **F. Chenzi, L. Anhuai, Y. Li, C. Wang** // *Chemical Engineering Journal*. – 2010. – № 160. – P. 20-26. – doi: 10.1016/j.ccej.2010.02.042.
 - Гороновский, И. Т.** Краткий справочник по химии / **И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч**. Киев, "Наукова думка". – 1987. – 833 с.
 - Wu, M.** Redox deposition of manganese oxide on graphite for supercapacitors / **M. Wu, G. A. Snook, G. Z. Chen, D. J. Fray** // *Electrochemistry Communications*. – 2004. – № 6. – P. 499-504. – doi: 10.1016/j.elecom.2004.03.011.
 - Гомеля, Н. Д.** Экстракционно-спектрофотометрический метод определения общего содержания масел и тяжелых нефтепродуктов / **Н. Д. Гомеля, Л. В. Калабина, А. П. Хохотва** // *Химия и технология воды*. – 1999. – № 6. – С. 611-616.
 - Dong, X.** A structure of MnO₂ embedded in CMK-3 framework developed by a redox method / **X. Dong, W. Shen, J. Gu, L. Xiong** // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2006. – № 91. – P. 120-127. – doi: 10.1016/j.micromeso.2005.11.019.

Bibliography (transliterated)

- Moosai, R., Dawe, R. A.** Gas attachment of oil droplets for gas flotation for oily wastewater cleanup. *Separation and Purification Technology*, 2003, 3, 303-314, doi: 10.1016/S1383-5866(03)00091-1.
- Painmanakul, P., Sastaravet, P., Lersjintanakarn, S., Khaodhiar S.** Effect of bubble hydrodynamic and chemical dosage on treatment of oily wastewater by Induced Air Flotation (IAF) process. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, 88, 5-6, 693-702, doi: 10.1016/j.cherd.2009.10.009.
- Cong, L. N., Liu, Y. J., Hao, B.** Synthesis and application of PAZSC in oily wastewater treatment, *Chemical Engineer*, 2011, 1, P. 5-9.
- El-Naas, M. H., Al-Zuhair, S., Al-Lobaney, A., Makhoulf, S.** Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater. *J. Environ. Manage*, 2009, 91, 180-185, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.08.003.
- Ibrahim, S., Wang, S. B., Ang, H. M.** Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw. *Biochem. Eng. J.*, 2010, 49(1), 78-83, doi: 10.1016/j.bej.2009.11.013.
- Sirotkina, E. E., Novoselova, L. Yu.** Materials for Adsorption Purification of Water from Petroleum and Oil Products. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, 13, 359-377.
- Santos, M. R. G., Goulart, M. O. F., Tonholo, J., Zanta, C. L. P. S.** The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater. *Chemosphere*, 2006. – 64(3), P. 393-399, doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.12.036.
- Yu, L., Chen, Y., He, F.** Catalytic Supercritical Water Oxidation of Oily Wastewater. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2015, 51(1), 87-92, doi: 10.1007/s10553-015-0578-9.
- Liu, G. H., Ye, Z. F., Tong, K., Zhang, Y. H.** Biotreatment of heavy oil wastewater by combined upflow anaerobic sludge blanket and immobilized biological aerated filter in a pilot-scale test. *Biochem. Eng. J.*, 2013, 72(15), 48-53. doi: 10.1016/j.bej.2012.12.017.
- Wu, L., Ge, G., Wan, J.** Biodegradation of oil wastewater by free and immobilized *Yarrowia lipolytica* W29. *Journal*

- of *Environmental Sciences*, 2009, **21**(2), 237-242. doi: 10.1016/S1001-0742(08)62257-3.
11. **Zhang, Y.Q., Cui, P., Du, T. D., Shan, L. B., Wan, Y. L.** Development of a sulfated Y-doped nonstoichiometric zirconia/polysulfone composite membrane for treatment of wastewater containing oil. *Separation and Purification Technology*, 2009, **70**(2), P. 153-159, doi: 10.1016/j.seppur.2009.09.010.
 12. **Yang, T., Ma, Z. F., Yang, Q. Y.** Formation and performance of Kaolin/MnO₂ bi-layer composite dynamic membrane for oily wastewater treatment: Effect of solution conditions. *Desalination*, 2011, **270**(1-3), 50-56. doi: 10.1016/j.desal.2010.11.019.
 13. **Yang, M., D. Li, T. Zhao, Ma, J.** Synthesis of Monodispersed Nanospheres of Mn₃O₄ and Its Adsorption Behavior for Alizarin Red. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2010, **31**(4), 563-566, doi: 10.1080/01932691003681522.
 14. **Song, Y., Qiaoqin, X., Tianhu, C.** The Kinetics of Oxidizing Phenol in Wastewater by Natural Manganese Oxide Minerals. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, **25**(4), 324-329.
 15. **Chenzi, F., Anhuai, L., Li, Y., Wang, C.** Pretreatment of actual high-strength phenolic wastewater by manganese oxide method. *Chemical Engineering Journal*, 2010, **160**, 20-26, doi: 10.1016/j.cej.2010.02.042.
 16. **Goronovsky, I. T., Nazarenko, Yu. P., Nekryach, E. F.** *Kratkyy spravochnyk po khymyy* [A brief reference book on chemistry]. Kiev "Naukova dumka", 1987, 833 p.
 17. **Wu, M., Snook, G. A., Chen, G. Z., Fray, D. J.** Redox deposition of manganese oxide on graphite for supercapacitors. *Electrochemistry Communications*, 2004, **6**, 499-504, doi: 10.1016/j.elecom.2004.03.011.
 18. **Gomelya, N. D., Kalabina, L. V., Khokhotva, A. P.** Ekstraktsionno-spektrofotometricheskiy metod opredeleniya obshchego soderzhaniya masel i tyazhelykh nefteproduktov [Extraction-spectrophotometric method for determination of total oil and heavy oil products]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of water chemistry and technology], 1999, **6**, 611-616.
 19. **Dong, X., Shen, W., Gu, J., Xiong, L.** A structure of MnO₂ embedded in CMK-3 framework developed by a redox method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2006, **91**, 120-127, doi: 10.1016/j.micromeso.2005.11.019.

Сведения об авторах (About authors)

Хохотва Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" им. И. Сикорского, доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров; г. Киев, Украина; e-mail: khokhotva@bigmir.net.

Oleksandr Khokhotva – Ph. D., Docent, Associate Professor, Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: khokhotva@bigmir.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Хохотва, А. П. Очистка нефтесодержащих вод окислением на композиционном угольном сорбенте / **А. П. Хохотва** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 109-114. – doi: 10.20998/2413-4295.2018.26.40.

Please cite this article as:

Khokhotva, O. Treatment of oil-containing water by oxidation onto composite carbon sorbent. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 109-114, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.40.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Хохотва, О. П. Очищення нафтовмісних вод окисленням на композиційному вугільному сорбенті / **О. П. Хохотва** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 109-114. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.40.

АНОТАЦІЯ У даній роботі запропоновано використати переваги окислювального і сорбційного методів для видалення нафтопродуктів зі стічних вод на стадії доочищення води. Як окислювач використаний MnO₂, осаджений у порах активованого вугілля Filtrasorb 300 в результаті обробки останнього розчином KMnO₄. Вивчено процес осадження MnO₂ на поверхні вугілля в залежності від вихідної концентрації перманганату. Синтезовано композиційний сорбент F300-MnO₂ з вмістом окислювача 0,5%. Питома сорбційна ємність вихідного вугілля за нафтою складала 68 мг/г, в той час як для синтезованого композиційного сорбенту вона була майже вдвічі більше.

Ключові слова: стічні води; нафтопродукти; MnO₂; композиційний сорбент; сорбція; окислення

Надійшла (received) 20.06.2018

УДК 541.128.13

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.41

ВПЛИВ ГІДРОТЕРМАЛЬНОЇ ОБРОБКИ КАТАЛІЗАТОРІВ НА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ОДЕРЖАННЯ АКРИЛОВОЇ КИСЛОТИ ТА МЕТИЛАКРИЛАТУ ОКИСНЮВАЛЬНОЮ КОНДЕНСАЦІЄЮ МЕТАНОЛУ З ОЦТОВОЮ КИСЛОТОЮ

I. I. ШПИРКА^{1*}, P. B. НЕБЕСНИЙ¹, O. M. ОРОБЧУК¹, C. B. ХАЛАМЕЙДА²

¹кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; м. Львів, УКРАЇНА

²Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, м. Київ, УКРАЇНА

*email: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ Досліджено процес одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією метанолу з оцтовою кислотою в газовій фазі на каталізаторі $B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$, модифікованому гідротермальним методом в інтервалі температур 100-250 °С. Встановлено вплив температури гідротермальної обробки на селективність та вихід продуктів реакції. Встановлено, що збільшення температури гідротермальної обробки супроводжується збільшенням розміру пор каталізатора, зменшенням селективності утворення акрилової кислоти та збільшенням селективності утворення естерів (метилацетату та метилакрилату). Максимальний сумарний вихід акрилатів (52,9 % за акриловою кислотою та 1,7 % за метилакрилатом) отримано на каталізаторі модифікованому при 150 °С. Гідротермальна обробка каталізатора дозволяє підвищити його ефективність у процесі сумісного одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією метанолу з оцтовою кислотою.

Ключові слова: акрилова кислота; метилакрилат; гідротермальна обробка; гетерогенний каталіз; окиснювальна конденсація.

INFLUENCE OF HYDROTHERMAL TREATMENT OF CATALYSTS ON THEIR EFFECTIVENESS IN THE PROCESS OF ACRYLIC ACID AND METHYL ACRYLATE SYNTHESIS via OXIDATIVE CONDENSATION OF METHANOL WITH ACETIC ACID

I. SHPYRKA¹, R. NEBESNYI¹, O. OROBCHUK¹, S. KHALAMEIDA²

¹ Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

² Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The purpose of the work was to investigate the effect of modification of the catalyst of oxidative condensation of methanol with acetic acid on acrylic acid and methyl acrylate selectivity and yield. It was carried out hydrothermal treatment of the support - silica gel, in the temperature range of 100-250 °C in the range of 25 °C. It was investigated the effectiveness of the developed catalyst in the optimal conditions: temperature – 400 °C, reagents ratio $CH_3OH: CH_3COOH = 1.2: 1$, oxygen concentration in the oxidant stream is 90 % and contact time – 8 seconds. Physical and chemical properties of the catalysts for the process of acrylic acid and methyl acrylate synthesis by oxidative condensation of methanol with acetic acid were determined. Hydrothermal treatment of the silica gel, KSKG brand was performed and based on this treated silica gel catalytic system $SiO_2 / B_2O_3-P_2O_5-WO_3-V_2O_5$ with the atomic ratio of components B:P:W:V=3:1:0,18:0,12 were prepared. The catalysts were tested in the process of acrylic acid and methyl acrylate synthesis. It has been established that the best catalyst for the process of acrylic acid and methyl acrylate synthesis is the catalyst with a HTT temperature of 150 °C (under optimum conditions the temperature of the process is 400 °C and contact time 8 s). At this temperature, it was possible to obtain acrylic acid and methyl acrylate with 54.7 % yield, total selectivity of acrylic acid and methyl acrylate – 97.6 %, acetic acid conversion – 56.9 %. It was established that increasing of hydrothermal treatment temperature leads to increasing of pore size of the catalysts and decreasing the acrylic acid selectivity and increasing of esters (methyl acetate and methyl acrylate) selectivity.

Keywords: acrylic acid; methyl acrylate; hydrothermal treatment; heterogeneous catalysis; oxidation condensation.

Вступ

Акрилова кислота та метилакрилат є цінними продуктами промисловості органічного синтезу [1]. Обсяг світового виробництва акрилової кислоти зростає з кожним роком, що зумовлено значним попитом на даний продукт. Сучасне виробництво акрилової кислоти на даний момент складає близько

5 млн т/рік, а метилакрилату – близько 500 тис. т/рік [2].

Акрилова кислота (АК), метилакрилат (МА) та їх похідні використовуються в різних галузях промисловості [3], побуті [4]. АК використовується як безпосередньо, так і для синтезу інших мономерів [5], зокрема, метилакрилату. З огляду на широку сферу застосування акрилатів та зростаючий попит на ці

продукти, актуальним є розроблення нових методів одержання акрилової кислоти та метилакрилату.

Одним із найбільш перспективних методів одержання АК є альдольна конденсація формальдегіду (ФА) з оцтової кислоти (ОК) [6]. ФА та ОК в промисловості отримують з метанолу [7]. Сировиною ж для виробництва метанолу є синтез-газ, який отримують з природного газу або вугілля. Проаналізувавши останні тенденції вдосконалення каталізаторів окиснення метанолу до формальдегіду, можна стверджувати про все частіше використання каталізаторів кислотного типу для здійснення даного процесу. Типовими ж каталізаторами реакції альдольної конденсації оцтової кислоти з формальдегідом в акрилову кислоту є саме каталізатори кислотного типу. Тому доцільним є суміщення двох процесів, а саме окиснення метанолу до формальдегіду та альдольну конденсацію оцтової кислоти з формальдегідом у одному й тому ж реакторі з використанням каталізаторів кислотного типу.

Варто зазначити, що у процесі окиснювальної конденсації метанолу та оцтової кислоти утворюється не тільки акрилова кислота, а ще й інший цінний продукт органічного синтезу – метилакрилат [8]. Таким чином, реалізація запропонованого методу одержання акрилової кислоти та метилакрилату дозволить скоротити стадії окиснення метанолу до формальдегіду та естерифікації акрилової кислоти з метанолом до метилакрилату в окремих реакторах.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Добре відомо, що питома поверхня й порувата структура твердих каталізаторів мають великий вплив на їх каталітичні властивості в процесах конденсації карбонільних сполук. Встановлено, що метод приготування каталізаторів має суттєвий вплив на його фізико-хімічні, а отже і на каталітичні властивості в хімічних перетвореннях [9]. Гідротермальну обробку застосовують для різноманітних кристалічних матеріалів для розширення розміру пор. Під час обробки відбувається досить значне збільшення середнього діаметра пор, збільшення об'єму пор і зменшення площі поверхні. При гідротермальній обробці товщина пористої стінки обробленого кремнезему значною мірою не змінюється, також не спостерігається жодної зміни сферичної морфології [10].

З попередніх досліджень відомо, що каталітична система складу $B-P-W-V-O_x$ є ефективною у процесі одностадійного одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти. Застосування розробленого каталізатора дозволяє одержувати акрилову кислоту та метилакрилат з сумарним виходом 30,4 % при сумарній селективності їх утворення 93,9 %. При рециркуляції непрореагованих речовин (оцтової кислоти та

метилацетату) сумарний вихід акрилової кислоти та метилакрилату становитиме до 93,4 % [11].

Тому вирішено взяти дану каталітичну систему за основу, модифікувати її методом гідротермальної обробки та встановити її ефективність у процесі окиснювальної конденсації ОК з метанолом до АК та МА.

Мета та завдання досліджень

Мета роботи – встановити вплив гідротермальної обробки каталізаторів на їх каталітичні властивості в процесі окиснювальної конденсації оцтової кислоти з метанолом в акрилову кислоту та метилакрилат.

У роботі передбачається вирішення таких завдань:

- модифікувати каталітичну систему складу $B-P-W-V-O_x$;
- визначити фізико-хімічні властивості каталізатора;
- дослідити ефективність гідротермальної обробки носія у процесі одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією оцтової кислоти з метанолом.

Матеріали та методи досліджень

Для дослідження процесу окиснювальної конденсації ОК з метанолом для одержання АК приготовано каталітичні системи на основі сумішей оксидів бору, фосфору, ванадію та вольфраму. Спочатку носій, а саме силікагель марки КСКГ (з питомою поверхнею 365 m^2/g), піддали гідротермальній обробці (ГТО) в газовій фазі в інтервалі температур 100-250 °C з кроком 25 °C. На приготований носій наносили активну фазу каталізатора методом просочування. Атомне співвідношення компонентів у каталізаторі $B:P:W:V=3:1:0,18:0,12$. Каталітичні властивості досліджували в реакторі проточного типу зі стаціонарним шаром каталізатора, температура процесу 400 °C, час контакту 8с, мольне співвідношення $M:OK=1,2:1$, концентрація кисню 90 %.

Результати досліджень та їх обговорення

Першим етапом роботи було дослідити фізико-хімічні властивості каталізатора. Оскільки якісний та кількісний склад розроблених каталізаторів ($K_1 - K_8$) є незмінним, то основними характеристиками, які змінювалися в результаті ГТО є параметри поруваної структури каталізаторів (розмір пор та питома поверхня каталізаторів). Фізико-хімічні властивості каталізатора наведено в таблиці 1.

Збільшення температури гідротермальної обробки каталізатора від 100 до 250°C супроводжується збільшенням середнього діаметру

пор і монотонного зменшення питомої площі поверхні від 245 до 62 м²/г для всіх каталізаторів (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри поруватої структури нанесених каталізаторів

№	Температура ГТО, °С	S, м ² /г	d, нм
K ₁	Без ГТО	238	9.7
K ₂	100	245	9.7
K ₃	125	232	11.1
K ₄	150	193	12.6
K ₅	175	130	14.8
K ₆	200	107	17.8
K ₇	225	84	24.4
K ₈	250	62	31.8

Наступним етапом роботи було дослідити залежність впливу температури ГТО на селективності утворення Мац (1), АК (2), АЦ (3), МА (4) у присутності каталізатора K₂₋₈ (рис. 1). Як видно з рис. 1, при збільшенні температури ГТО селективність утворення АК та МА зменшується, так при температурі ГТО 100°С найвище значення селективності утворення АК становить 98,5%. Варто зазначити, що селективність утворення Мац при збільшенні температури ГТО навпаки зростає і досягає найвищого значення 61,9% при ГТО 250 °С. Селективність за МА та АЦ при збільшенні температури ГТО зростає, але не суттєво.

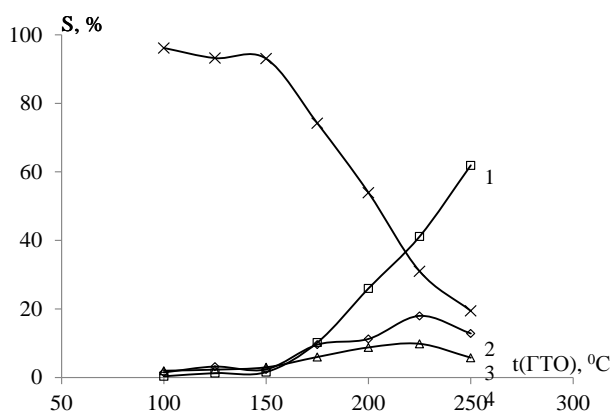


Рис. 1 – Вплив температури ГТО на селективності утворення Мац (1), АК (2), АЦ (3), МА (4) у присутності каталізатора K₂₋₈. Час контакту 8 с; температура процесу 400 °С

При збільшенні температури ГТО від 100 до 150 °С вихід АК зростає (рис.2). Найбільше значення виходу АК спостерігається при температурі ГТО 150 °С і відповідно становить 52,9%. Вихід Мац зростає зі збільшенням температури ГТО від 100-

250°С, проте вихід утворення МА та АЦ суттєво не змінюється в досліджуваному інтервалі температур ГТО. Найбільше значення виходу МАц становить 26,6% при температурі ГТО 250 °С, а найменше значення виходу при цій же температурі ГТО становить 2,5% для МА.

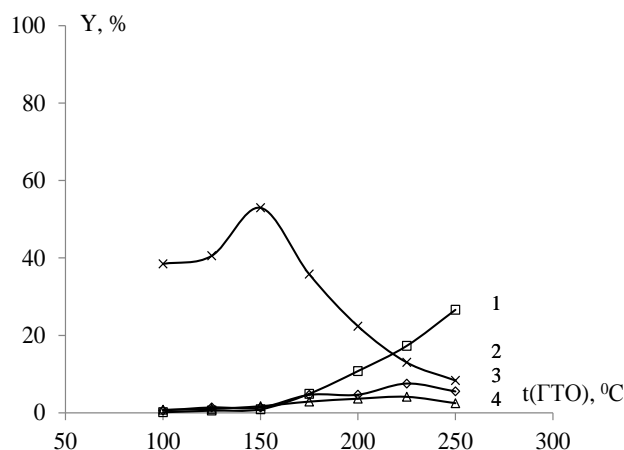


Рис. 2 – Вплив температури ГТО на вихід утворення Мац (1), АК (2), АЦ (3), МА (4) у присутності каталізатора K₂₋₈. Час контакту 8 с; температура процесу 400 °С

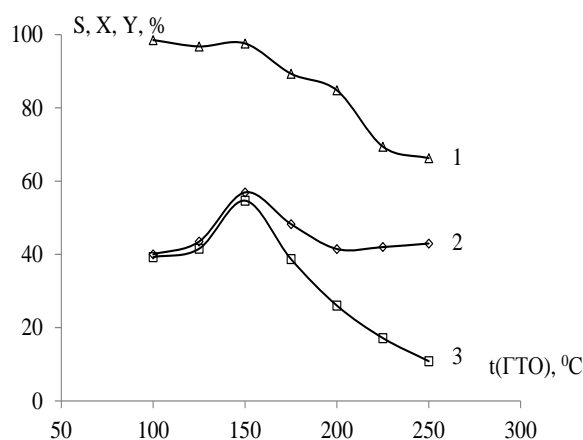


Рис. 3 – Вплив концентрації кисню на сумарну селективність утворення АК і МА (1), конверсію ОК (2) та сумарний вихід АК і МА (3) у присутності каталізатора K₂₋₈. Час контакту 8 с; температура процесу 400 °С

Також визначено вплив температури ГТО на сумарну селективність утворення АК і МА, конверсію ОК та сумарний вихід АК і МА (рис.3). Як видно з рис. 3, сумарна селективність АК і МА зменшується при збільшенні температури ГТО, а сумарний вихід АК і МА збільшується до температури ГТО 150 °С, а наступне збільшення температури ГТО призводить до плавного зменшення сумарного виходу АК та МА, і становить відповідно сумарна селективність АК і МА

– 97,6 % при ГТО 150 °С, а вихід АК і МА – 54,7 % при тій же температурі ГТО.

Таким чином, кращим каталізатором для процесу одержання акрилової кислоти та метилакрилату є каталізатор з температурою ГТО 150 °С (в оптимальних умовах температура процесу 400 °С та час контакту 8 с). При цій температурі вдалося одержати АК та МА з виходом 54,7 %, сумарна селективність АК і МА – 97,6 % при конверсії ОК – 56,9 %.

Порівнюючи результати, одержані на каталізаторі, який пройшов гідротермальну обробку і звичайному каталізаторі без гідротермальної обробки видно, що ГТО носія каталізатора дозволяє суттєво покращити його каталітичні властивості в процесі окиснювальної конденсації ОК з метанолом в АК та МА (рис. 4). Так, на не модифікованому ГТО каталізаторі сумарний вихід акрилатів становить 34,9 % при сумарній селективності їх утворення 76,1 % та конверсії ОК 47,9 %. А на каталізаторі, який пройшов попередню гідротермальну обробку сумарний вихід акрилатів становить 54,7 % при сумарній селективності їх утворення 97,6 % та конверсії ОК 56,9 %.

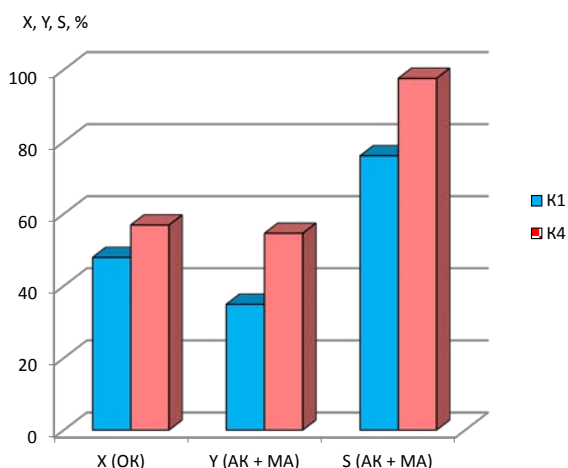


Рис. 4 – Порівняння каталітичної активності в оптимальних умовах на обробленому та необробленому носії в процесі окиснювальної конденсації метанолу з оцтовою кислотою

Висновки

Встановлено, що гідротермальна обробка каталізатора є ефективною в процесі одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією метанолу з оцтовою кислотою.

Показано, що селективність утворення акрилової кислоти, метилацетату та метилакрилату корелює з температурою гідротермальної обробки каталізатора. Таким чином, гідротермальну обробку каталізатора можна розглядати як інструмент регулювання селективності утворення продуктів

процесу окиснювальної конденсації метанолу з оцтовою кислотою.

Встановлено, що кращим каталізатором для процесу одержання акрилової кислоти та метилакрилату є каталізатор з температурою ГТО 150 °С (в оптимальних умовах температура процесу 400 °С та час контакту 8 с). При цій температурі вдалося одержати АК та МА з виходом 54,7 %, сумарна селективність АК і МА – 97,6 % при конверсії ОК – 56,9 %.

Гідротермальна обробка каталізатора дозволяє суттєво покращити його каталітичні властивості в процесі окиснювальної конденсації ОК з метанолом в АК та МА порівняно з немодифікованим каталізатором.

Список літератури

1. **Tu, X.** Controlled silylation of MoVTeNb mixed oxide catalyst for the selective oxidation of propane to acrylic acid / **Tu X., Niwa M., Arano A., Kimata Y., Okazaki E., Nomura S.** // *Applied Catalysis A, General.* – 2018. – 549. – 152-160. – doi:10.1016/j.apcata.2017.09.013.
2. **Xiukai, Li.** Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate / **Xiukai Li, Yugen Zhang** // *ACS Catal.* – 2016. – 6(1). – 143–150. – doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
3. **Bajpai, S. K.** Controlled release of Doxycycline from gum acacia/poly(sodium acrylate) microparticles for oral drug delivery / **S. K. Bajpai, Mamta Jadaun, M. Bajpai, Pooja Jyotishi, Farhan Ferooz Shaha, Seema Tiwar** // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2017. – 104. – 1064-1071. – doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.108.
4. Patent 7416783 US, Resin particles comprising a (meth)acrylate copolymer and a surfactant having a sulfonic-acid or sulfonate group / **Higashi Takashi, Kito Tetsuji, Sasaki Yasushi, Nambu Hiromi**; assignee: Kao Corporation (Tokyo, JP). – № 590998; filing date: 26.05.2005; publication date: 26.08.2008.
5. **Suo, X.** Design and control of an improved acrylic acid process / **X. Suo, H. Zhang, Q. Ye, X. Dai, H. Yu, R. Li** // *Chem. Eng. J.* – 2015. – 104. – 346. – doi:10.1016/j.chemd.2015.08.022.
6. Patent WO/2013/028356, Catalysts for producing acrylic acids and acrylates / **Weiner Heiko, Chapman Josefina T., Locke Alexandra S., Nagaki Dick, Peterson Craig J., Scates Mark O.**; assignee: Celanese International Corporation; filing date: 08.08.2012; publication date: 28.02.2013.
7. **Calzada, L. A.** Synergetic effect of bimetallic Au-Ru/TiO₂ catalysts for complete oxidation of methanol / **Lina A. Calzada, Sebastian E. Collins, Chang W. Han, Volkan Ortalan, Rodolfo Zanella** // *Applied Catalysis B: Environmental.* – 2017. – 207. – 79-92. – doi: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.01.081.
8. Patent 20130245312 US, Catalyst for Producing Acrylic Acids and Acrylates / **Nagaki Dick, Pan Tianshu, Peterson Craig J., Bowden Elizabeth, Chapman Josefina T., Mueller Sean**; assignee: Celanese International

- Corporation; filing date: 10.31.2012; publication date: 09.19.2013.
9. **Skubiszewska-Zieba, J.** Comparison of surface properties of silica xero- and hydrogels hydrothermally modified using mechanochemical, microwave and classical methods / **J. Skubiszewska-Zieba, S. Khalameida, V. Sydorчук** // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2016. – 504. – 139-153. – doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.05.066.
 10. Patent EP2615064, Mesoporous silica microparticles / **Justin Holmes**; assignee: University College Cork – National University of Ireland, Cork (College Road, Cork, IE); № EP20130154419; filing date: 07.14.2008; publication date: 07.17.2013.
 11. **Небесний, Р. В.** Одержання акрилової кислоти з метанолу та оцтової кислоти в присутності складних оксидних каталізаторів / **Р. В. Небесний, З. Г. Піх, І. І. Шпирка, В. В. Івасів, Ю. В. Небесна, У. В. Фуч** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 62(1171). – С. 125-130.
 4. Patent 7416783 US, Resin particles comprising a (meth)acrylate copolymer and a surfactant having a sulfonic-acid or sulfonate group / **Higashi Takashi, Kito Tetsuji, Sasaki Yasushi, Nambu Hiromi**; assignee: Kao Corporation (Tokyo, JP). – №590998; filing date: 26.05.2005; publication date: 26.08.2008.
 5. **Suo, X. Zhang, Ye, H., Q., Dai, X., Yu, H., Li, R.** Design and control of an improved acrylic acid process. *Chem. Eng. J.*, 2015, **104**, 346, doi:10.1016/j.chem.2015.08.022.
 6. Patent WO/2013/028356, Catalysts for producing acrylic acids and acrylates / **Weiner Heiko, Chapman Josefina T., Locke Alexandra S., Nagaki Dick, Peterson Craig J., Scates Mark O.**; assignee: Celanese International Corporation; filing date: 08.08.2012; publication date: 28.02.2013.
 7. **Calzada, L. A., Collins, Sebastian, E., Han, Chang, W., Ortalan, Volkan, Zanella, Rodolfo.** Synergetic effect of bimetallic Au-Ru/TiO₂ catalysts for complete oxidation of methanol. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, **207**, 79-92, doi: 10.1016/j.apcatb.2017.01.081.
 8. Patent 20130245312 US, Catalysts for Producing Acrylic Acids and Acrylates / **Nagaki Dick, Pan Tianshu, Peterson Craig J., Bowden Elizabeth, Chapman Josefina T., Mueller Sean**; assignee: Celanese International Corporation; filing date: 10.31.2012; publication date: 09.19.2013.
 9. **Skubiszewska-Zieba, J., Khalameida, S. Sydorчук, V.** Comparison of surface properties of silica xero- and hydrogels hydrothermally modified using mechanochemical, microwave and classical methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, **504**, 139-153, doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.05.066.
 10. Patent EP2615064, Mesoporous silica microparticles / **Justin Holmes**; assignee: University College Cork – National University of Ireland, Cork (College Road, Cork, IE); № EP20130154419; filing date: 07.14.2008; publication date: 07.17.2013.
 11. **Nebesnyi, R. V., Shpyrka, I. I. Ivashiv, V. V., Nebesna, Y. V., Fuch, U. V.** Acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid in the presence of complex oxide catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology*, Kharkiv, NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 125-130.

Bibliography (transliterated)

1. **Tu, X., Niwa, M., Arano, A., Kimata, Y., Okazaki, E., Nomura, S.** Controlled silylation of MoVTenb mixed oxide catalyst for the selective oxidation of propane to acrylic acid. *Applied Catalysis A, General*, 2018, **549**, 152-160, doi:10.1016/j.apcata.2017.09.013.
2. **Xiukai, Li, Yugen, Zhang.** Highly Efficient Process for the Conversion of Glycerol to Acrylic Acid via Gas Phase Catalytic Oxidation of an Allyl Alcohol Intermediate. *ACS Catal.*, 2016, **6** (1), 143-150, doi: 10.1021/acscatal.5b01843.
3. **Vajpai, S. K., Mamta Jadaun, M. Vajpai, Pooja Jyotishi, Farhan Ferooz Shaha, Seema Tiwar.** Controlled release of Doxycycline from gum acacia/poly(sodium acrylate) microparticles for oral drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, **104**, 1064-1071, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.06.108.
9. **Skubiszewska-Zieba, J., Khalameida, S. Sydorчук, V.** Comparison of surface properties of silica xero- and hydrogels hydrothermally modified using mechanochemical, microwave and classical methods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, **504**, 139-153, doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.05.066.
10. Patent EP2615064, Mesoporous silica microparticles / **Justin Holmes**; assignee: University College Cork – National University of Ireland, Cork (College Road, Cork, IE); № EP20130154419; filing date: 07.14.2008; publication date: 07.17.2013.
11. **Nebesnyi, R. V., Shpyrka, I. I. Ivashiv, V. V., Nebesna, Y. V., Fuch, U. V.** Acrylic acid obtaining from methanol and acetic acid in the presence of complex oxide catalysts. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology*, Kharkiv, NTU "KhPI", 2015, **62** (1171), 125-130.

Відомості про авторів (About the Authors)

Шпирка Ірина Іванівна – аспірант кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка»; Львів, Україна; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Ірина Шпирка – PhD student of Department of Technology of organic products, Lviv Polytechnic National University; Lviv, Ukraine; e-mail: iryna.i.shpyrka@lpnu.ua.

Небесний Роман Володимирович – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», провідний науковий співробітник кафедри технології органічних продуктів; Львів, Україна; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Roman Nebesnyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Lviv Polytechnic National University, Leading Researcher, Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: nebesnyi@lp.edu.ua.

Оробчук Оксана Михайлівна – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», асистент кафедри технології органічних продуктів; Львів, Україна; e-mail: or_oksana@ukr.net.

Orobchuk Oksana – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Lviv Polytechnic National University, Assistant, Department of Technology of organic products; Lviv, Ukraine; e-mail: or_oksana@ukr.net.

Халамейда Світлана В'ячеславівна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, Київ, Україна; e-mail: bilychi@ukr.net.

Svitlana Khalameida – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Research Fellow, Institute for Sorption and Problems of Endoecology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: bilychi@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шпирка, І. І. Вплив гідротермальної обробки каталізаторів на їх ефективність у процесі одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією метанолу з оцтовою кислотою / **І. І. Шпирка, Р. В. Небесний, О. М. Оробчук, С. В. Халамейда** // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 115-120. – doi:10.20998/2413-4295.2016.26.41.

Please cite this article as:

Shpyrka, I. I., Nebesnyi, R. V., Orobchuk, O. M., Khalameida, S. V. Influence of hydrothermal treatment of catalysts on their effectiveness in the process of acrylic acid and methyl acrylate synthesis via oxidative condensation of methanol with acetic acid. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 115-120, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.41.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шпирка, И. И. Влияние гидротермальной обработки катализаторов на их эффективность в процессе получения акриловой кислоты и метилакрилата окислительной конденсацией метанола из уксусной кислотой / **И. И. Шпирка, Р. В. Небесный, О. М. Оробчук, С. В. Халамейда** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 115-120. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.41.

АННОТАЦИЯ Исследован процесс получения акриловой кислоты и метилакрилата окислительно конденсацией метанола с уксусной кислотой в газовой фазе на катализаторе $V_2O_5-P_2O_5-WO_3-V_2O_5/SiO_2$, модифицированном гидротермальным методом в интервале температур 100-250 °С. Установлено влияние температуры гидротермальной обработки на селективность и выход продуктов реакции. Установлено, что увеличение температуры гидротермальной обработки сопровождается увеличением размера пор катализатора, уменьшением селективности образования акриловой кислоты и увеличением селективности образования эфиров (метилацетата и метилакрилата). Максимальный суммарный выход акрилатов (52,9 % за акриловой кислотой и 1,7 % за метилакрилатом) получено на катализаторе, модифицированном при 150 °С. Гидротермальная обработка катализатора позволяет повысить его эффективность в процессе совместного получения акриловой кислоты и метилакрилата окислительно конденсацией метанола с уксусной кислотой.

Ключевые слова: акриловая кислота; метилакрилат; гидротермальная обработка; гетерогенный катализ; окислительная конденсация.

Поступила (received) 01.07.2018

УДК 621.314

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.42

КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ

Є. В. ВЕРБИЦЬКИЙ*, Р. М. ПРИБУДЬКО, Д. О. ЗІНЧЕНКО, М. О. МАЦЮК

кафедра промислової електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА

*email: verbitskiy@bigmir.net

АНОТАЦІЯ У статті аналізуються причини низької ефективності компенсаторів реактивної потужності у перехідних процесах. Розраховуються орієнтовні значення коефіцієнту потужності при заданому графіку споживання енергії ємнісним, індуктивним та змішаним навантаженням при використанні звичайного компенсатора. Запропоновано використання додаткового компенсатора, що усуває високочастотні спотворення струму мережі після основного компенсатора. Оцінено підвищення коефіцієнту потужності при використанні заданого підходу. Проаналізовано збільшення встановленої потужності додаткового компенсатора від похибки прогнозування першої гармоніки струму.

Ключові слова: компенсатор реактивної потужності; коефіцієнт потужності; перехідні процеси.

REACTIVE POWER COMPENSATOR IN TRANSIENT MODES

I. VERBYTSKYI, R. PRYBUDKO, D.O. ZINCHENKO, M.O. MATSYUK

Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Compensation of reactive power is one of the ways of increasing the electrical grid efficiency, theoretical foundations of which were developed at the beginning of the last century. The development of effective control algorithms for reactive power compensation continues today. As usual, algorithms of reactive power compensation have inertia of at least one period of network voltage. Therefore, they cannot be used in transient mode because of the grid current non-stationarity. The problem of reactive power compensation in power grids with variable load is analyzed. The transient modes behavior depends of the load types are analyzed. An inefficient implementation of existing methods of reactive power compensation for this case is shown. The method of analysis of the transmitting energy between the source and the load during the transition process based on the theory of instantaneous power is proposed. The low efficiency of classical reactive power compensators is shown. In parallel with the main reactive power compensator, it is proposed to use an auxiliary one, which eliminates distortion of the grid current based on its predicting. It is shown that the use of the additional compensator allows reaching power factor value closed to one with a non-significant increase in the total installed capacity of the compensation system. The additional compensator is compensated only high-frequency current distortion, whereas low-frequency subharmonics created by features of load power consumption are presence in the grid current. Therefore a total power factor of the grid current is less than one. An increase in the installed capacity of the additional compensator from the prediction error of the first harmonic of current is analyzed.

Keywords: reactive power compensator; power factor; transient modes.

Вступ

Компенсація реактивної потужності є важливою складовою підвищення ефективності роботи електричних мереж [1-3]. Через збільшення кількості різномісних навантажень, під'єднаних до мережі та їх динамічний режим роботи, погіршується процес компенсації реактивної потужності, оскільки більшість компенсаторів призначені для компенсації реактивної потужності в усталених режимах [4, 5].

Характер перехідного процесу навантаження суттєво залежить від порядку ланцюга n . Типові форми перехідних процесів для $n = 0, 1, 2$ наведено на рис. 1. При значеннях $n > 2$, характер перехідних процесів є аналогічним з перехідним процесом при $n = 1$ чи $n = 2$, або є їх комбінацією.

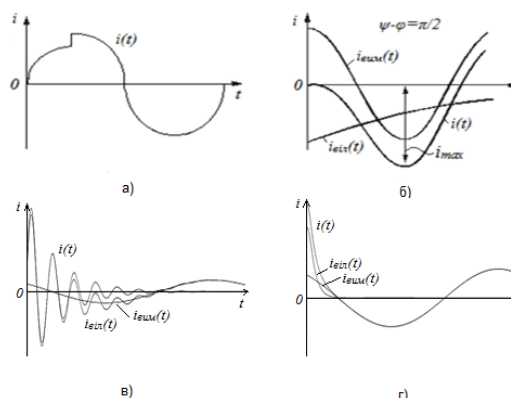


Рис. 1 – Типові форми перехідних процесів при нульовому (а), першому (б) і другому порядку (випадок комплексно-спряжених полюсів (б), випадок простих полюсів (г) ланцюга

Для покращення електромагнітної сумісності з мережею під час перехідного процесу вільна та

реактивна складові струму повинні бути компенсовані, для чого необхідно використовувати спеціалізовані компенсатори реактивної потужності з прогнозним керуванням.

У статтях [6, 7] запропоновано загальні підходи для компенсації потужності в перехідних режимах на основі прогнозного керування. Доцільність використання розроблених теоретичних засад проаналізовано у статті [8], де показано, що при динамічному навантаженні використання додаткового компенсатора із прогнозним алгоритмом керування дозволяє додатково підвищити коефіцієнт потужності мінімум на 2%. При цьому потужність додаткового компенсатора буде меншою на порядок, ніж основного.

Мета роботи

У статті проаналізовано ефективність використання додаткового компенсатора із прогнозним керуванням при різних типах навантажень, оцінено його масогабаритні показники, та оцінено чутливість вихідної потужності від точності прогнозування струму мережі.

Оцінка ефективності використання звичайних компенсаторів під час перехідних режимів

Оцінимо ефективність компенсації реактивної потужності в перехідних режимах звичайними компенсаторами. Для цього розглянемо як змінюється коефіцієнт потужності χ для перехідних процесів різного типу, який розраховується за формулою:

$$\chi = \frac{U_{(1)} I_{(1)}}{UI} \cos(\varphi_{(1)}), \quad (1)$$

де $I_{(1)}$, $U_{(1)}$ – діюче значення першої гармоніки струму і напруги мережі відповідно; I , U – діюче значення струму і напруги мережі відповідно; $\varphi_{(1)}$ – зсув фаз між першими гармоніками напруги і струму мережі.

Досліджувана модель складається з компенсатора, нелінійного навантаження і мережі. Як навантаження використовувався діодний міст з вихідним емнісним фільтром, до якого під'єднано навантаження. Навантаженням виступає регульоване джерело струму, за допомогою якого задається характер перехідного процесу. Створена модель в Matlab Simulink показана на рис. 2.

Характер перехідного процесу задавався трикутною формою струму з максимальним I_{max} і мінімальним I_{min} значенням струму та з періодом перехідного процесу в навантаження T_H , що дорівнює десяти періодам напруги мережі T_M , $T_H = 10 T_M$, рис.3.

Оскільки період перехідного процесу T_H більше ніж період напруги мережі, то у вхідному струмі можуть бути субгармоніки. Тому при розрахунку коефіцієнту потужності спектр струму необхідно розраховувати відносно періоду

перехідного процесу T_H , тому коефіцієнт потужності у даному випадку розраховується за такою формулою:

$$\chi = \frac{U_{(m)} I_{(m)}}{UI} \cos(\varphi_{(m)}), \quad (2)$$

де m – номер гармоніки струму, що відповідає частоті напруги мережі.

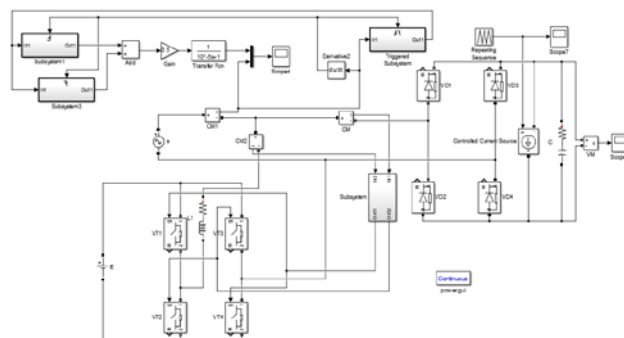


Рис.2 – Модель досліджування компенсатора

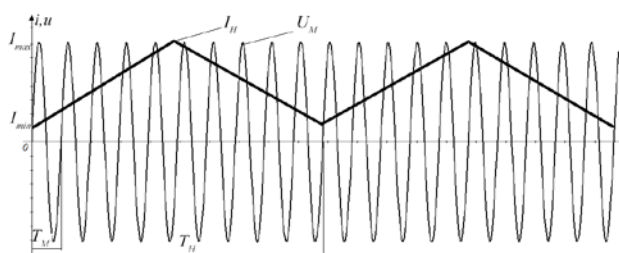


Рис. 3 – Часова діаграма перехідного процесу

У табл. 1 наведено значення коефіцієнту потужності χ залежно від параметрів перехідного процесу, який розраховується за формулою:

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта потужності від величини пульсацій струму навантаження після основного компенсатора

I_{min} , A	I_{max} , A	χ		
		C	L	LC
1	1	0.9953	0.9946	0.9964
1	2	0.9574	0.9928	0.9783
1	3	0.9178	0.9859	0.9555
1	4	0.8928	0.9689	0.9381
1	5	0.8759	0.9553	0.9251
1	6	0.8640	0.9210	0.9153

Для випадку постійного навантаження без перехідного процесу, коефіцієнт потужності дорівнює $\chi = 0.9953$, що відповідає діючим стандартам щодо якості електроспоживання. Зі зростанням величини пульсації коефіцієнт потужності зменшується, оскільки струм мережі, за умови використання основного компенсатора містить спотворення, що проілюстровано на рис. 4 для випадку емнісного навантаження.

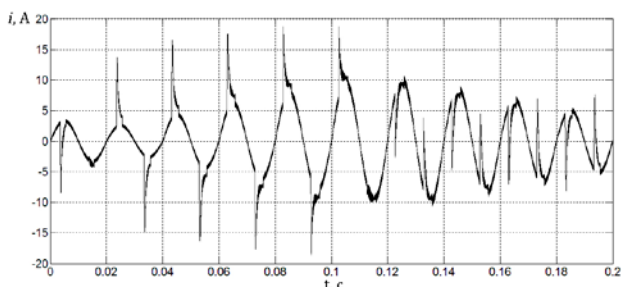


Рис. 4 – Часова діаграма струму мережі під час перехідного процесу після основного компенсатора

Як видно з рис. 4, струм мережі має форму струму, близьку до синусоїдальної, однак на деяких часових інтервалах спостерігаються спотворення що засвідчує необхідність використання ефективніших алгоритмів компенсації для перехідних режимів.

Принцип компенсації реактивної потужності в перехідних режимах

Для компенсації спотворень струму мережі, зображених на рис. 4 необхідно застосувати принципово нові засади компенсації реактивної потужності, розроблені в [9, 10] з використанням прогнозного керування [11-13]. При цьому слід враховувати, що струм мережі після основного компенсатора містить спотворення двох типів:

- височастотні, які утворені основним компенсатором;
- низькочастотні, що зумовлюються характером навантаження.

При використанні додаткового компенсатора доцільно усувати лише височастотні складові струму, які створюють великі пікові навантаження і мають імпульсний характер. При цьому потужність додаткового компенсатора є значно меншою, ніж основного. Для усунення низькочастотних спотворень потрібна значна більша потужність, разом з тим низькочастотні гармоніки струму мають значно менший вплив на параметри якості напруги мережі [14, 15].

За умови використання такого принципу роботи додаткового компенсатора, форма струму мережі покращиться, що показано на рис. 5, у порівнянні зі струмом, зображеним на рис. 4. При цьому у табл. 2 наведено значення коефіцієнту потужності струму мережі та його максимальне досяжне значення.

Як видно з рис. 5 струм мережі має значно менші височастотні спотворення, однак містить низькочастотну модуляцію, спричинену формою споживаного струму, зображеного на рис. 3.

Як видно з даних, наведених у табл. 2, отримані значення коефіцієнту потужності менші від максимально можливих не більше ніж на 0.5 %, що пояснюється наявністю височастотної пульсації, створюваної компенсатором.

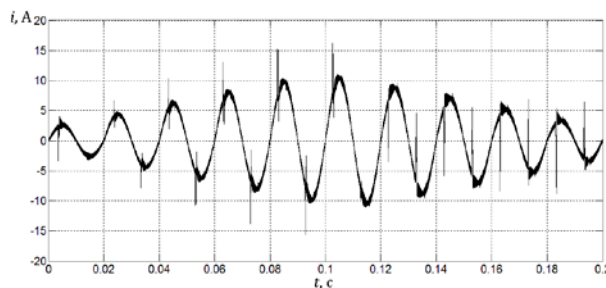


Рис. 5 – Часова діаграма струму мережі під час перехідного процесу після додаткового компенсатора

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта потужності від величини пульсації струму навантаження після додаткового компенсатора

$I_{min},$ A	$I_{max},$ A	χ					
		C		L		LC	
		макс.	комп.	макс.	комп.	макс.	комп.
1	1	1.0	0.9946	1.0	0.9880	1.0	0.9944
1	2	0.9977	0.9928	0.9827	0.9758	0.9831	0.9797
1	3	0.9903	0.9859	0.9622	0.9576	0.9633	0.9604
1	4	0.9765	0.9689	0.9470	0.9343	0.9483	0.9457
1	5	0.9649	0.9553	0.9357	0.9328	0.9374	0.9339
1	6	0.9326	0.9210	0.9272	0.9248	0.9292	0.9253

При проектуванні додаткового компенсатора також слід враховувати точність прогнозування амплітуди першої гармоніки, оскільки похибка прогнозування δ збільшує значення встановленої потужності компенсатора. На рис. 6 показана відносна потужність компенсатора ΔP , відносно мінімальної P_{min} , яка досягається при точному прогнозі

$$\Delta P = \frac{P_{\delta}}{P_{min}}, \quad (3)$$

де P_{δ} – поточна потужність компенсатора при заданій похибці прогнозування δ .

Як видно з рис. 6 встановлена потужність перетворювача зростає приблизно по квадратичній залежності відносно похибки δ . При цьому найбільша чутливість до похибки спостерігається при індуктивному навантаженні.

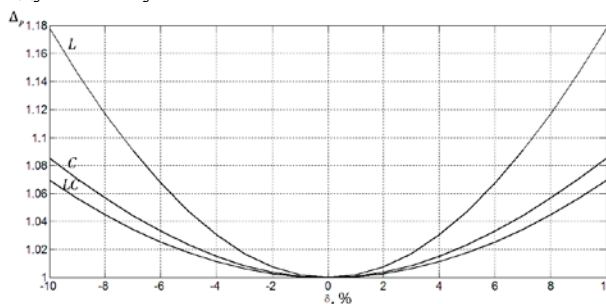


Рис. 6 – Відносна потужність компенсатора ΔP , відносно мінімальної P_{min}

Отже, для зменшення встановленої потужності додаткового компенсатора необхідно забезпечити ефективні алгоритми прогнозу струму мережі.

Висновки

На основі наведених розрахунків можна зробити такі висновки:

- при використанні додаткового компенсатора доцільно компенсувати високочастотні спотворення струму мережі;

- встановлення додаткового компенсатора дозволяє підвищити коефіцієнт потужності на 1-5 %;

- похибка прогнозу струму мережі призводить до квадратичного зростання встановленої потужності компенсатора.

Список літератури

1. **Bezhenar, V.** Multilevel inverter as var-compensator / **V. Bezhenar, D. Mykolaets, V. Mykytyuk, T. Tereshchenko** // *Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference.* – 2013. – P. 370-372. – doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552076.
2. **Artemenko, M. Y.** Combined control system with direct current formation for three-phase four-wire network shunt active power filter / **M. Y. Artemenko, L. M. Batrak, A. A. Taher** // *IEEE 34th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO).* – 2014. – doi: 10.1109/ELNANO.2014.6873442.
3. **Davari, P.** A Multipulse Pattern Modulation Scheme for Harmonic Mitigation in Three-Phase Multimotor Drives / **P. Davari, Y. Yang, F. Zare, F. Blaabjerg** // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics.* – 2016. – vol. 4, no. 1. – pp. 174-185. – doi: 10.1109/JESTPE.2015.2461018.
4. **Watanabe, E. H.** Instantaneous p-q power Theory for compensating nonsinusoidal systems / **E. H. Watanabe, H. Akagi, M. Aredes** // *In Nonsinusoidal Currents and Compensation.* – 2008. – P. 1-10. – doi: 10.1109/ISNCC.2008.4627480.
5. **Czarnecki, Leszek S.** Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems / **Leszek S. Czarnecki** // *IEEE Transactions on Power Delivery.* – 2006. – Vol. 21, № 1. – P. 362-367. – doi: 10.1109/TPWRD.2005.852348.
6. **Zhuikov, V.** Features of compensation of a reactive power at the transient mode / **V. Zhuikov, I. Verbytskyi, O. Bondarenko** // *Electric Power Networks (EPNet).* – 2016. – P. 1-4. – doi: 10.1109/EPNET.2016.7999362.
7. **Zhuikov, V. Y.** Особливості компенсації миттєвої реактивної потужності в лінійних ланцюгах у перехідному режимі при вмиканні навантаження / **V. Y. Zhuikov, I. V. Verbytskyi, O. F. Bondarenko** // *Електроніка та зв'язок.* – 2017. – № 22 (4). – С. 30-37. – doi: 10.20535/2312-1807.2017.22.4.105271.
8. **Zhuikov, V. J.** Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current / **V. J. Zhuikov, I. V. Verbytskyi, A. G. Kyselova** // *Технічна електродинаміка.* – 2018. – № 4. – С. 47-52. – doi: 10.15407/techned2018.04.047.
9. **Жежеленко, И. В.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / **И. В. Жежеленко,**

- Ю. Л. Саенко.** – Москва: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
10. **Жежеленко, И. В.** Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / **И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко, В. В. Нестерович.** – Москва: Энергоатомиздат, 2007. – 296 с.
 11. **Camacho, Eduardo F.** Model Predictive control. / **Eduardo F. Camacho, Carlos Bordons Alba** // *Elsiver.* – 2013. – 405 p.
 12. **Maciejowski, Jan Marian.** Predictive control: with constraints / **Jan Marian Maciejowski** // *Pearson Education.* – 2002. – 331 p.
 13. **Qin, S. Joe.** A survey of industrial model predictive control technology / **S. Joe Qin, Thomas A. Badgwell** // *Control Engineering Practice.* – 2003. – Vol. 11, Iss. 7. – P. 733-764. – doi: 10.1016/S0967-0661(02)00186-7.
 14. **Keebler, Philip F.** Meshing power quality and electromagnetic compatibility for tomorrow's smart grid / **Philip F. Keebler** // *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine.* – 2012. – Vol. 1, Iss. 2. – P. 100-103. – doi: 10.1109/MEMC.2012.6244982.
 15. **Dhia, Sonia Ben.** Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits: Techniques for low emission and susceptibility / **Sonia Ben Dhia, Mohamed Ramdani, Etienne Sicard** // *Springer Science & Business Media.* – 2006. – 473 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Bezhenar, V., Mykolaets, D., Mykytyuk, V., Tereshchenko, T.** Multilevel inverter as var-compensator. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE XXXIII International Scientific Conference,* 2013, 370-372, doi: 10.1109/ELNANO.2013.6552076.
2. **Artemenko, M. Y., Batrak, L. M., Taher A. A.** Combined control system with direct current formation for three-phase four-wire network shunt active power filter. *IEEE 34th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO),* 2014, doi: 10.1109/ELNANO.2014.6873442.
3. **Davari, P., Yang, Y., Zare, F., Blaabjerg, F.** A Multipulse Pattern Modulation Scheme for Harmonic Mitigation in Three-Phase Multimotor Drives. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics,* 2016, 4, 1, 174-185, doi: 10.1109/JESTPE.2015.2461018.
4. **Watanabe, E. H., Akagi, H., Aredes, M.** Instantaneous p-q power Theory for compensating nonsinusoidal systems. *In Nonsinusoidal Currents and Compensation,* 2008, 1-10, doi: 10.1109/ISNCC.2008.4627480
5. **Czarnecki, Leszek S.** Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery,* 2006, 21, 1, 362-367, doi: 10.1109/TPWRD.2005.852348.
6. **Zhuikov, V., Verbytskyi, I., Bondarenko, O.** Features of compensation of a reactive power at the transient mode. *Electric Power Networks (EPNet),* 2016, 1-4, doi: 10.1109/EPNET.2016.7999362.
7. **Zhuikov, V. Y., Verbytskyi, I. V., Bondarenko, O. F.** Features of compensation of an instantaneous reactive power in linear circuits at the transient mode and switched on load [Osoblyvosti kompensatsiyi mytsevoyi reaktivnoyi potuzhnosti v liniynyh lantsyugah u perehidnomu rezhymy pry vmykanni navantazhenya] *Electronika ta zvyazok,* 2017, 22 (4), 30-37, doi: 10.20535/2312-1807.2017.22.4.105271.

8. **Zhuikov, V. J., Verbytskyi, I. V., Kyselova, A. G.** Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current. *Technichna elektrodynamika*, 2018, **4**, 47-52, doi: 10.15407/techned2018.04.047.
9. **Zhezhelenko, I. V., Sayenko, Y. L.** Electrical energy quality in industrial enterprises [Kachestvo elektroenerhii na promyshlennyh predpriyatiyah], Moskva, Energoatomizdat, 2005, 261.
10. **Zhezhelenko, I. V., Sayenko, Y. L., Baranenko, T. K., Nesterovich, V. V.** Selected questions of non-sine modes in electrical grids of enterprises [Izbrannye voprosy nesinusoidalnyh rezhymov v elektricheskikh setyah predpriyatiy], Moskva, Energoatomizdat, 2007, 296.
11. **Camacho, Eduardo F., Alba, Carlos Bordons.** Model Predictive control. Elsevier, 2013, 405.
12. **Maciejowski, Jan Marian.** Predictive control: with constraints. Pearson Education, 2002, 331.
13. **Qin, S.Joe., Badgwell, Thomas A.** A survey of industrial model predictive control technology. *Control Engineering Practice*, 2003, **11**, Iss. 7, 733-764, doi: 10.1016/S0967-0661(02)00186-7.
14. **Keebler, Philip F.** Meshing power quality and electromagnetic compatibility for tomorrow's smart grid. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 2012, **1**, 2, 100-103, doi: 10.1109/MEMC.2012.6244982.
15. **Dhia, Sonia Ben, Ramdani, Mohamed, Sicard, Etienne.** Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits: Techniques for low emission and susceptibility. *Springer Science & Business Media*, 2006, 473.

Відомості про авторів (About authors)

Вербицький Євген Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри промислової електроніки, факультет електроніки, Київ, Україна; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Ievgen Verbytskyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., The department of Industrial Electronics, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Прибудько Роман Михайлович – студент, факультет електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Roman Prybudko – student, Faculty of Electronics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine.

Зінченко Денис Олександрович – студент, факультет електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

Denys Zinchenko – student, Faculty of Electronics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Мацюк Максим Олексійович – студент, факультет електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

Maxym Matsyuk – student, Faculty of Electronics of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вербицький, Є. В. Компенсатор реактивної потужності у перехідних режимах / **Є. В. Вербицький, Р. М. Прибудько, Д. О. Зінченко, М. О. Мацюк** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 121-125. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.42.

Please, cite this article as:

Verbytskyi, I., Prybudko, R., Zinchenko, D., Matsyuk, M. Reactive power compensator in transient modes. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 121-125, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.42.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вербицкий, Е. В. Компенсатор реактивной мощности в переходных режимах / **Е. В. Вербицкий, Р. М. Прибудько, Д. А. Зинченко, М. А. Мацюк** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 121-125. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.42.

АННОТАЦИЯ В статье анализируются причины низкой эффективности компенсаторов реактивной мощности в переходных процессах. Рассчитываются ориентировочные значения коэффициента мощности при заданном графике потребления энергии емкостной, индуктивной и смешанной нагрузкой при использовании обычного компенсатора. Предложено использование дополнительного компенсатора, который устраняет высокочастотные искажения тока сети после основного компенсатора. Дана оценка значению коэффициента мощности при использовании предложенного подхода. Проанализировано увеличение установленной мощности дополнительного компенсатора от погрешности прогноза первой гармоники тока сети.

Ключевые слова: компенсатор реактивной мощности; коэффициент мощности; переходные процессы.

Поступила (received) 05.07.2018

УДК 004.056

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.43

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРИХОВАНОСТІ ШУМОПОДІБНИХ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В. В. КОРЧИНСЬКИЙ, В. Й. КІЛЬДІШЕВ, К. О. ОСАДЧУК, О. М. БЕРДНІКОВ

кафедра інформаційної безпеки та передачі даних, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова, м.Одеса, УКРАЇНА
vladkorchin@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто особливості формування шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій. Запропоновано алгоритм розширення спектра таймерних сигналів. Надано оцінку енергетичної прихованості функціонування радіотехнічних систем на основі прямого розширення спектра. Для оцінки енергетичної прихованості передавання запропоновано застосовувати критерій ефективності, відповідно якому досягається максимальний ефект по маскуванню енергії сигналу на фоні шуму у каналі.

Ключові слова: прихованість; таймерний сигнал; спектр; канал; спектр; ефективність.

INVESTIGATION OF THE ENERGY HIDDENNESS OF NOISE-FREE TIMER SIGNAL STRUCTURES

V. KORCHYNSKYI, V. KILDISHEV, C. OSADCHUK, O. BERDNIKOV

The Department of Information Security and Data Transmission, O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The features of the formation of noise-like timer signals are considered. The estimation of the energy concealment of the functioning of radio engineering systems based on direct spreading of the spectrum is given. To assess the energy secrecy, it is suggested to use the efficiency criterion, according to which the maximum effect is achieved on masking the signal energy against the noise background in the channel.

The use of a variable signal structure makes it difficult to identify its parameters in the event of a message being intercepted by radio engineering intelligence. Therefore, timer coding creates a good premise for developing effective methods for protecting information from unauthorized access at the channel level of the OSI model.

However, the potentially high structural concealment of signals based on timer signal constructions does not solve the problem of energy concealment with narrowband transmission methods. Therefore, a promising solution to this problem is the expansion of the spectrum of timer signal constructions, the study of the appropriate characteristics of transmission and reception of noise signals in conditions of interference.

The purpose of the work is to study the energy concealment of noise-like timer signals.

The results of the research have shown that the probability of distortion of the timer signal structure is influenced by the value of the signal base and the type of modulation. Increasing the efficiency of the bandwidth due to the increase of the multipositional modulation system (FM-8, FM-16) does not give the desired result even at high values of the base. The FM-2 and FM-4 modulation systems are more disturbing.

Keywords: secretiveness; timer signal; spectrum; channel; spectrum; efficiency.

Вступ

Позитивними факторами в розвитку методів підвищення завадозахищеності обумовлюється поява складних видів модуляції [1,2], широкосмугових систем передавання на основі шумоподібних сигналів [3], а також досягненнями сучасної теорії інформації й зв'язку, які орієнтовані на можливість їх практичного застосування. Однак ці досягнення використовуються найчастіше відокремлено друг від друга й не завжди розглядаються в комплексі із задачами по забезпеченню прихованості передавання й завадостійкості. Як правило, такими показниками забезпечуються телекомунікаційні та системи радіозв'язку спеціального призначення (наприклад, військові, комерційні), які повинні ефективно функціонувати в умовах інформаційного конфлікту [4, 5].

За останнє десятиліття були зроблені значні наукові внески в теорію інформації й кодування. Зокрема, поява та розвиток теорії таймерного кодування М.В. Захарченко [1] дало можливість інтегрування завадостійкого кодування [6] та захисту інформації від НСД в одну задачу [7-10].

Варіаційні можливості таймерних сигнальних конструкцій, які є непозиційними, дозволяють створювати на їх основі різні ансамблі передаваних сигналів. Застосування змінної структури сигналу [2,3] ускладнює виявлення його параметрів у випадку перехоплення повідомлення засобами радіотехнічної розвідки. Тому таймерне кодування створює добру передумову при розробці ефективних методів захисту інформації від НСД на каналному рівні моделі OSI [6], тобто підвищення структурної прихованості передаваних сигнальних конструкцій.

Проте потенційно висока структурна прихованість сигналів на основі таймерних сигнальних конструкцій не вирішує проблеми енергетичної прихованості при вузькосмугових методах передавання. Тому перспективним для вирішення цієї проблеми є розширення спектра таймерних сигнальних конструкцій, дослідження відповідних характеристик передавання і прийому шумоподібних сигналів в умовах дії завад.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження енергетичної прихованості шумоподібних таймерних сигналів.

Метод формування шумоподібних таймерних сигналів

Використання на каналному рівні непозиційних таймерних сигналів [1], а також систем модуляції з питомою швидкістю модуляції $\gamma_m > 1$ дозволяє істотно збільшити не тільки структурну прихованість сигнальних конструкцій, а також і енергетичну. Тому розробка методів формування широкосмугових шумоподібних сигналів на основі ТСК і псевдовипадкових послідовностей (ПВП) з різними системами модуляції є актуальним завданням. При цьому в алгоритмі синтезу широкосмугових сигналів важливим є узгодження параметрів формування ТСК [9] з особливостями структури ортогональної ПВП та бази $V_{\text{пвп}}$. Ортогональні ПВП близькі за своїми властивостями до шумоподібних сигналів, в яких мінімальна тривалість елементарних посилок t_q набагато менше часу передачі інформаційного елемента t_0 , тобто $V_{\text{інф}} \gg V_{\text{пвп}}$. В системі з прямим розширенням спектра інформаційний сигнал t_0 передається послідовністю чіпів тривалістю $t_q \ll t_0$.

Базовим елементом для формування ТСК є елемент Δ , який в s разів менше тривалості елементарної посилки t_0 , але в той же час більше t_q . Такий підхід дозволяє вихідну двійкову інформаційну послідовність передавати бінарної послідовністю ТСК.

Алгоритм прямого розширення спектра і вибір бази послідовності B заснований на особливостях побудови таймерних сигналів. В якості послідовностей розширення запропоновано використовувати послідовності Уолша. Відомо, що пряме розширення спектра інформаційного позиційного коду здійснюється на кожному інтервалі t_0 за допомогою ПВП. Однак застосувати такий алгоритм розширення спектра до непозиційних кодів не представляється можливим. Пояснюється це тим, що значення моментів модуляції таймерних сигналів, які формуються на інтервалі часу $T_c = nt_0$ (де n –

кількість елементарних посилок; t_0 – їх тривалість), кратні ні t_0 , а деякому базовому елементу Δ (де $\Delta = t_0/s$; $s = 1, 2, 3, \dots, l$ – цілі числа). Тому для непозиційних таймерних сигналів буде використовуватися псевдовипадкова послідовність розширення $B_{\text{ТСК}} = B_{t_0} \times n$ до всієї довжини часового інтервалу T_c при збереженні тактової частоти в системі зв'язку. Значення $B_{\text{ТСК}}$ має бути кратним числу $N_\Delta = s \times n$, де N_Δ – число Δ на інтервалі T_c . Наприклад, якщо $s = 4$, $n = 4$, $N_\Delta = 16$, тоді для узгодження структури ТСК і ПВП необхідно, щоб $B = 32; 64; 128 \dots$. Коли $s = 4$, $n = 3$, $N_\Delta = s \times n = 12$, тоді $B = 12; 24; 48 \dots$.

Так як в таймерних сигналах [1] відстань між сигнальними конструкціями визначається величиною $\Delta < t_0$, то число реалізацій N_p ТСК на інтервалі T_c значно збільшується в порівнянні з розрядно-цифровим кодом. У канал передаються відрізки сигналу тривалістю

$$t_c = t_0 + k\Delta, \quad (1)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, s \cdot (n - 2)$.

Як впливає з (1), таймерні сигнали являють собою деякий вид розрядно-цифрових кодів, в яких дозволені для передачі сигнальні конструкції мають не менше s (де $s = t_0/\Delta$) посліпль передаваних елементів Δ одного знака («1» або «-1»). Для заданого значення s на інтервалі n одиничних елементів число реалізацій ТСК [105]:

$$N_p = \frac{[(n \cdot s) - [(s - 1) \cdot i]]!}{i! [(n \cdot s) - [(s - 1) \cdot i] - i]!}, \quad (2)$$

де i – число інформаційних значущих моментів модуляції (ЗММ) в сигналі.

Для сигнальних конструкцій з різною кількістю ЗММ

$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s - 1) \cdot i]]!}{i! [(n \cdot s) - [(s - 1) \cdot i] - i]!}. \quad (3)$$

Змінюючи параметри n , s та i можна отримати різні безлічі таймерних сигналів, кожне з яких відрізняється тривалістю, що залежні від значень n , s та i , тобто структурою сигналу на інтервалі часу T_c , чим досягається значне підвищення структурної прихованості сигнальних конструкцій [3,4,7].

Вибір множин ТСК, що задовольняють рівнянню якості [1], дозволяє вирішувати завдання по виявленню та виправленню помилок на приймальній

стороні. Як приклад, проаналізуємо формування широкопосмугового ТСК з наступними параметрами:

- 1) $T = 4t_0$ – тривалість елементарних посилок, на якому здійснюється побудова сигнальної конструкції;
- 2) $s = 2$ – кількість базових елементів Δ на інтервалі t_0 .

Позначимо через $x_k(t)$ інформаційний сигнал k -го користувача. Після завадостійкого кодування сигнал $x_k^{mk}(t)$ перетвориться формувачем ТСК в таймерний код $x_k^{тск}(t)$, який далі множиться на ПВП $s_k(t)$ k -го користувача. Отриманий сигнал

$$b_k(t) = x_k^{тск}(t) \cdot s_k(t) \quad (4)$$

надходить на бінарний фазовий модулятор, на виході якого кожен елемент ПВП перетворюється у фазоманіпульований сигнал

$$s_k(t; b_k) = x_k^{тск}(t) \cdot s_k(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) \quad (5)$$

На рис. 1 показано процес прямого розширення спектра сигнальної конструкції $x_k^{тск}(t)$ сигнатурою $s_k(t)$ для одного з індивідуальних каналів. При ФМ-2 одним символом кодується один елемент ПВП, тому питома швидкість модуляції $\gamma_m = 1$. Також можуть бути використані і інші ансамблі двомірних сигналів квадратурної амплітудної модуляції КАМ з більш високою щільною упаковкою сигналів, тоді $\gamma_m > 1$. Сигнальні конструкції вибираються з ансамблю, що містить $M_{бл}$ можливих варіантів сигналів.

Маніпуляція розширеної ТСК з тривалістю елементарної послілки t_q полягає в наступному:

- 1) передавальна двійкова розширена послідовність ТСК розбивається на блоки довжиною $n_{бл} = \log_2 M_{бл}$ символів t_q ;
- 2) кількість всіх можливих варіантів таких блоків довжини $n_{бл}$ має дорівнювати обсягу ансамблю $M_{бл} = 2^{n_{бл}}$;
- 3) кожному сигналу з ансамблю системи модуляції ставиться у відповідність блок двійкових елементів t_q .

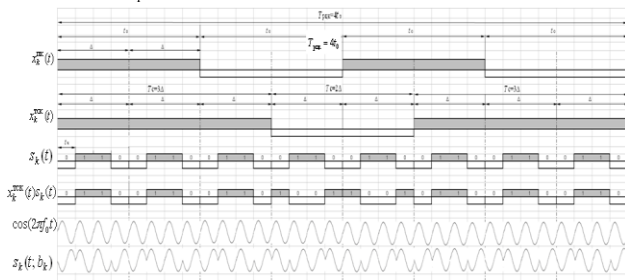


Рис. 1 – Процес прямого розширення спектра сигнальної конструкції $x_k^{тск}(t)$ сигнатурою $s_k(t)$

Слід зазначити, що вибір модуляційного коду залежить від конфігурації ансамблю сигналів і властивостей завад, що діють в каналі з багатопозиційними сигналами. При демодуляції багатопозиційних сигналів на виході каналу з гаусівськими завадами найбільш ймовірними є помилки «переходів» сигналів, що розташовані один від одного на мінімальній відстані Евкліда.

Таймерні сигнали мають можливість виявляти та виправляти помилки, які засновані на контролі величини зсуву фронтів в межах інтервалу $l_{cm} = \pm(1 \dots 2)\Delta$, а часовий інтервал Δ в свою чергу при розширенні спектра вузькосмугового сигналу замінюється ділянками ПВП, тобто

$$\Delta = l_{\Delta} t_q, \quad (6)$$

де l_{Δ} – кількість елементарних посилок тривалістю t_q , які заповнюють інтервал часу Δ . Тому очевидно, що коригувальна здатність ТСК буде залежати від частоти заповнення часового інтервалу Δ елементами ПВП t_q .

Дослідження енергетичної прихованості шумоподібних таймерних сигналів

Під критерієм ефективності енергетичної прихованості вважатимемо мінімальне співвідношення сигнал/шум, при якому забезпечується задана достовірність передавання інформації. При порівняльному аналізі методів передавання будемо вважати, що найбільшою енергетичною прихованістю має той метод, який при заданій достовірності забезпечує мінімальне співвідношення сигнал/шум. Зрозуміло, що при співвідношенні сигнал/шум $h^2 \leq 1$ може бути досягнутий максимальний ефект щодо забезпечення енергетичної прихованості, що можливо при використанні широкопосмугових шумоподібних сигналів.

Для завдання дослідження розглянуто шумоподібний сигнал, який синтезовано на основі розширення спектра ТСК за допомогою псевдовипадкових послідовностей Уолша. Для узгодження структури розширеного дискретного сигналу запропоновано використовувати різні варіанти модуляції ФМ-2, ФМ-4, ФМ-8 та ФМ-16. Моделювання процесу передавання здійснювалося для гаусівського каналу з визначенням ймовірності помилкового елемента розширеної послідовності в залежності від різних значень h^2 і B :

$$p_0 = 0,5 - \Phi_0(\sqrt{2}h), \quad (7)$$

де $\Phi_0(z)$ – інтеграл ймовірності. За допомогою кореляційного приймача здійснювалося звуження

спектра шумоподобного сигналу і відновлення тривалості імпульсів ТСК. Залежності ймовірності спотворення форми таймерних сигналів $P_{\text{ПТСК}}(n=7)$

от $h = \sqrt{E_6/N_0}$ і B представлено на рис. 2.

Результати досліджень показали, що на ймовірність $P_{\text{ПТСК}}(n=7)$ впливає значення B та вид модуляції. Підвищення ефективності смуги пропускання за рахунок збільшення багатопозиційності системи модуляції (ФМ-8, ФМ-16) не дає бажаного результату навіть при великих значеннях бази. Більш завадостійкими є системи модуляції ФМ-2 та ФМ-4, які мають практично однакові результати значень $P_{\text{ПТСК}}(n=7)$. Проте частотна ефективність каналу при ФМ-4 у порівнянні з ФМ-2 більше в два рази.

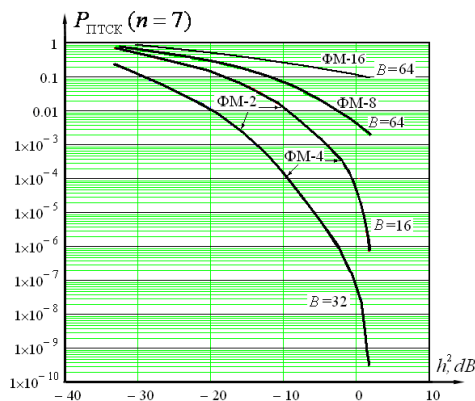


Рис. 2 – Залежності ймовірності спотворення ТСК, що побудовані на інтервалі $n=7$, від B та h^2

Висновки

Застосування шумоподібних ТСК у каналі з гаусівським шумом показали можливість відновлення форми сигналів при застосуванні систем модуляції ФМ-2 та ФМ-4. При $B=16$ та ФМ-2 забезпечується при відношенні сигнал/шум 0 дБ ймовірність $P_{\text{ПТСК}}(n=7)=10^{-4}$. Збільшення бази сигналу ($B=32$) дозволяє зменшити ймовірність $P_{\text{ПТСК}}=10^{-7}$ на три порядки при відношенні сигнал шум -10 дБ. Таким чином доведено, що застосування шумоподібних таймерних сигналів забезпечує енергетичну прихованість.

Список літератури

1. **Захарченко, М. В.** Системи передавання даних. Том 1. Завадостійке кодування / **Захарченко М. В.** – Одеса: Фенікс, 2009. – 447 с.
2. **Skopa, O. O.** Management of Relative Effective Transmission Rate in Packet Switching Networks / **O. O. Skopa, V. V. Korchinsky** // *Proceedings of the International Conference TCSET'2002*, Lviv-Slavsko. – 18-23 February 2002. – 2 p.

3. **Semenko, A.** Forming of wideband signal by means of its modulation with pseudo-random sequence created on the basis of a chaotic determined signal / **A. Semenko, N. Bokla, N. Kushnir, G. Kosovan** // *The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2017*. – 2017.
4. **Захарченко, Н. В.** Оценка информационной скрытности таймерных сигнальных конструкций в системах передачи конфиденциальной информации / **Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский** // *Збірник наукових праць ОНАЗ ім.О.С.Попова*. – 2011. – № 1. – С. 3–8.
5. **Корчинский, В. В.** Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / **В. В. Корчинский** // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Харьков: ХПИ, 2012. – № 66 (972). – С.63-67.
6. **Zakharchenko, N. V.** Assessing the Impact of the Noise on the Throughput Communication Channel with Timing Signals / **N. V. Zakharchenko, V. V. Korchinskiy, B. K. Radzimovskiy, D. N. Bektursunov, Y. S. Gorokhov** // *Eastern European Scientific Journal: AURIS Kommunikations- und Verlagsgesellschaft mbH.* – Düsseldorf. – Germany. – 2015. – № 4. – P. 209-214. – doi: 10.12851/EESJ201508C05ART07.
7. **Zakharchenko, M.** Integrated methods of information security in telecommunication systems / **M. Zakharchenko, V. Korchynskii, V. Kildishev** // *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017)*, IEEE Xplore Digital Library. 11 – 15 September 2017. – V. 1. – P. 78–81. – doi: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095428.
8. **Baranovsky, O.** Quantum Method of Secure Key Distribution in Optical Fiber Communication Lines / **O. Baranovsky, O. Gorbadey, A. Zenevich, Ye. Vasiliu** // *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017)*, IEEE Xplore Digital Library. – doi: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095366.
9. **Dmitrieva, I.** Numerical implementation of electrodynamic process in the flat guided structure / **I. Dmitrieva, N. Balan** // *Odessa National Academy Of Telecommunications (Onat). Econophysics, New Economy & Complexity International Conference*, Enec 2017, Bucharest. – 25 – 27 May 2017.
10. **Baytalsky, V.** Triple-Protocol – A New Direction of Elliptic-Curve Cryptography / **V. Baytalsky** // *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*. – 2017. – Vol. 25, Issue 4. – P. 1-10. – doi: 10.9734/JAMCS/2017/37301.

Bibliography (transliterated)

1. **Zaharchenko, M. V.** Sistemi peredavannya danih. Tom 1. Zavadostlyke koduvannya. – Odesa: FenIks, 2009. – 447 s.
2. **Skopa, O. O., Korchinsky, V. V.** Management of Relative Effective Transmission Rate in Packet Switching Networks. *Proceedings of the International Conference TCSET'2002*, Lviv-Slavsko, 18-23 February 2002, 2.
3. **Semenko, A., Bokla, N., Kushnir, N., Kosovan, G.** Forming of wideband signal by means of its modulation with pseudo-random sequence created on the basis of a chaotic determined signal. *The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2017*, 2017.

4. **Zaharchenko, N. V., Korchinskiy, V. V., Radzimovskiy, B. K.** Otsenka informatsionnoy skryitnosti taymernykh signalnykh konstruktsey v sistemakh peredachi konfidentsialnoy informatsii. *ZbIrnik naukovih prats ONAZ Im.O.S.Popova*, 2011, **1**, 3–8.
5. **Korchinskiy, V. V.** Povyshenie skryitnosti peredachi na osnove psevdosluchaynoy perestroyki rabochey chastoty i taymernykh signalov. *Vestnik NTU «HPI»*. Harkov: HPI, 2012, **66** (972), 63-67.
6. **Zakharchenko, N. V., Korchinskiy, V. V., Radzimovskiy, B. K., Bektursunov, D. N., Gorokhov, Y. S.** Assessing the Impact of the Noise on the Throughput Communication Channel with Timing Signals. *Eastern European Scientific Journal: AURIS Kommunikations- und Verlagsgesellschaft mbH*, Düsseldorf, Germany, 2015, **4**, 209-214, doi: 10.12851/EESJ201508C05ART07.
7. **Zakharchenko, M., Korchynskii, V., Kildishev, V.** Integrated methods of information security in telecommunication systems. *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017)*, IEEE Xplore Digital Library, 11 – 15 September 2017, **1**, 78–81, doi: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095428.
8. **Baranovsky, O., Gorbadey, O., Zenevich, A., Vasiliu, Ye.** Quantum Method of Secure Key Distribution in Optical Fiber Communication Lines. *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017)*, IEEE Xplore Digital Library. – doi: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095366.
9. **Dmitrieva, I., Balan, N.** Numerical implementation of electrodynamic process in the flat guided structure. *Odessa National Academy Of Telecommunications (Onat). Econophysics, New Economy & Complexity International Conference*, Enec 2017, Bucharest, 25 – 27 May 2017.
10. **Baytalskiy, V.** Triple-Protocol – A New Direction of Elliptic-Curve Cryptography. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 2017, **25**, 4, 1-10, doi: 10.9734/JAMCS/2017/37301.

Сведения об авторах (About authors)

Корчинський Володимир Вікторович – доктор технічних наук, доцент, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, доцент кафедри інформаційної безпеки та передачі даних, м. Одеса, Україна; vladkorchin@ukr.net.

Volodymyr Korchynskiy – Scientific Degree of Doctor of Technical Sciences Scientific, Docent, the Department of Information Security and Data Transmission, O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, 1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine; e-mail: vladkorchin@ukr.net.

Кільдишев Віталій Йосипович – кандидат технічних наук, доцент, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, доцент кафедри інформаційної безпеки та передачі даних, м. Одеса, Україна; kildishev@ukr.net.

Vitaliy Kildishev – Scientific Degree (Ph. D.), Docent, the Department of Information Security and Data Transmission, O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, 1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine; e-mail: kildishev@ukr.net.

Осадчук Катерина Олександрівна – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, старший викладач кафедри інформаційної безпеки та передачі даних, м. Одеса, Україна; osadchuk.katya25@gmail.com.

Catherine Osadchuk – Senior Lecturer, the Department of Information Security and Data Transmission, O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, 1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine; e-mail: osadchuk.katya25@gmail.com.

Бердніков Олександр Михайлович – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, аспірант кафедри інформаційної безпеки та передачі даних, м. Одеса, Україна; berdnikov2000@gmail.com.

Olexander Berdnikov – graduate student, the Department of Information Security and Data Transmission, O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, 1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine; e-mail: berdnikov2000@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Корчинський, В. В. Дослідження енергетичної прихованості шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій / **В. В. Корчинський, В. Й. Кільдишев, К. О. Осадчук, О. М. Бердніков** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 126-130. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.43.

Please cite this article as:

Korchynski, V., Kildishev, V., Osadchuk, K., Berdnikov, O. Investigation of the energy hiddenness of noise-free timer signal structures. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 126-130, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.43.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Корчинский, В. В. Исследование энергетической скрытности шумоподобных таймерных сигнальных конструкций / **В. В. Корчинский, В. Й. Кильдишев, Е. А. Осадчук, А. М. Бердников** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 126-130. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.43.

АННОТАЦІЯ Рассмотрены особенности формирования шумоподобных таймерных сигнальных конструкций. Предложен алгоритм расширения спектра таймерных сигналов. Дана оценка энергетической скрытности функционирования радиотехнических систем на основе прямого расширения спектра. Для оценки энергетической скрытности передачи предложено использовать критерий эффективности, согласно которому достигается максимальный эффект по маскировке энергии сигнала на фоне шума в канале.

Ключевые слова: скрытность; таймерный сигнал; спектр; канал; спектр; эффективность.

Поступила (received) 28.06.2018

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Калюжний В. Л., Потятиник А. М. Варіанти холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини 3

Ткаченко В. І., Казарінов Ю. Г. Компактна вітрова енергетична установка з концентратором для регіонів з низьким вітровим потенціалом 11

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Колеснікова К. В., Становська І. І., Герганов М. Л. Інформаційна технологія дискретизації поняття «ризик» при управлінні проектами та програмами 16

Носов К. В., Беспалов Ю. Г., Висоцька О. В., Страшненко Г. М., Печерська А. І. Процедура визначення системних колориметричних параметрів демаскування щурів при відеореєстрації в міських умовах 22

Носова Я. В., Аврунін О. Г., Жемчужкіна Т. В. Розробка блоку цифрової обробки риннометричного сигналу 31

Піргач Ю. С., Степанець О. В. Метод оптимізації "Grey Wolf" в задачах автоматизації систем вентиляції чистих приміщень 37

Штангей С. В., Терещенко І. В., Терещенко А. І. Ко-кластеризація даних багатовимірних атрибутів якості для оцінки факторів взаємного впливу 45

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

Дашковський Ю. О., Маринін А. І., Прохоренко Ж. І., Українець А. І. Вплив електроіскрових розрядів на властивості та якісні показники сокостружкової суміші 55

Заморська І. Л. Зміни основних компонентів хімічного складу заморожених ягід суниці за попередньої обробки в розчинах зі структуроутримуючими властивостями 61

Івасів В. В., Піх З. Г., Лапичак Н. І. Синтез акрилатів з метилпропіонату та пропіонової кислоти на $\text{V}_2\text{O}_5\text{-P}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2/\text{SiO}_2$ каталізаторі, промотованому основними оксидами 66

Кондратюк Н. В., Пивоваров Є. П., Степанова Т. М., Толошній Д. В., Поливанов Є. А. Квантово-хімічне моделювання структур молекулярних комплексів у системі «Уронатні полісахариди – Ca^{2+} » 71

Масікевич А. Ю., Колодило М. П., Яремчук В. М. Оцінка стану атмосферного повітря в межах функціональних зон національного природного парку «Вижницький» 78

Моїсєєв В. Ф., Манойло Є. В., Ляпошенко О. О., Хухрянський О. М., Пономарьова Н. Г. Структура пінного шару на протитечійних контактних елементах зі стабілізацією 83

Самойленко Н. М., Щукіна Л. П., Баранова А. О. Використання вторинного ресурсного потенціалу фармацевтичних відходів зі скла у виробництві керамічної плитки 93

Удовенко О. О., Куниця К. В., Литвиненко О. А., Гладкий Ф. Ф. Розробка кулінарних жирів підвищеної окисної стабільності 100

Хохотва О. П. Очищення нафтовмісних вод окисленням на композиційному вугільному сорбенті 109

Шпирка І. І., Небесний Р. В., Орбчук О. М., Халамейда С. В. Вплив гідротермальної обробки каталізаторів на їх ефективність у процесі одержання акрилової кислоти та метилакрилату окиснювальною конденсацією метанолу з оцтовою кислотою 115

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Вербицький Є. В., Прибудько Р. М., Зінченко Д. О., Мацюк М. О. Компенсатор реактивної потужності у перехідних режимах 121

Корчинський В. В., Кільдішев В. Й., Осадчук К. О., Бердніков О. М. Дослідження енергетичної прихованості шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій 126

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

- Kaljuzhnyi V., Potjatynyk A.** Options of cold expression of axisymmetric hollow products with the ledge on the ground part from the cavity 3
- Tkachenko V., Kazarinov Yu.** Compact wind turbine with an air flow concentrator for regions of low speed wind 11

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

- Kolesnikova K., Stanovskaya I., Gerganov M.** Information technology of the "risk" concept discretization in the projects and programs management 16
- Nosov K., Bepalov Yu., Vysotska O., Strashnenko H., Pecherska A.** Determination of the systemic colorimetric parameters of unmasking rats at videor registration in urban conditions 22
- Nosova Ya., Avrunin O., Zhemchuzhkina T.** Development of a digital processing unit for a rhinomanometric signal 31
- Pirhach Y., Stepanets O.** Gray Wolf optimization method for automatic ventilation systems of clean accessories 37
- Shtangey S., Tereshchenko I., Tereshchenko A.** Co-clustering the data of multivariate quality attributes for the estimation of mutual influence factors 45

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

- Dashkovskiy Y., Marinin A., Prokhorenko J., Ukrainets A.** Influence of electrical discharges on properties and quality indicators of socorative mixture 55
- Zamorska I.** Change of the main components of a chemical composition of frozen strawberries under previous treatment in solutions with structure-retaining properties 61
- Ivasiv V., Pikh Z., Lapychak N.** Synthesis of acrylates from methyl propionate and propionic acid on B₂O₃-P₂O₅-ZrO₂/SiO₂ catalyst promoted by basic oxides 66
- Kondratjuk N., Pivovarov E., Stepanova T., Toloshnyi D., Polyvanov Y.** Quantum-chemical modeling of molecular complexes structure in "Uronic polyesacharides – Ca²⁺" system 71
- Masikevich A., Kolotilo M., Yaremchuk V.** Estimation of the state of atmospheric air in the functional zones of the national nature park "Vyzhnytsky" 78
- Moiseev V., Manoilo E., Liaposhchenko A., Khukhryansky O., Ponomaryova N.** Foam layer structure on countercurrent contact elements with stabilization 83
- Samoilenko N., Shchukina L., Baranova A.** The use of secondary resource potential of pharmaceutical waste from glass in the pr duction of ceramic tiles 93
- Udoenko O., Kunitsya K., Litvinenko O., Gladky F.** Development of culinary fats with increased oxidative stability 100
- Khokhotva O.** Treatment of oil-containing water by oxidation onto composite carbon sorbent 109
- Shpyrka I., Nebesnyi R., Orobchuk O., Khalameida S.** Influence of hydrothermal treatment of catalysts on their effectiveness in the process of acrylic acid and methyl acrylate synthesis via oxidative condensation of methanol with acetic acid 115

MODERN INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

- Verbytskyi I., Prybudko R., Zinchenko D., Matsyuk M.** Reactive power compensator in transient modes 121
- Korchynski V., Kildishev V., Osadchuk K., Berdnikov O.** Investigation of the energy hiddenness of noise-free timer signal structures 126

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

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 26 (1302), Т. 2, 2018

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. фіз.-мат. наук С. І. Меньшикова

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Обл.-вид. № 21-18

Підп. до друку «31» липня 2018 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,0. Облік.вид.арк. 8,75.
Тираж 300 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
