

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія : Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

2/2017

Головний редактор д.т.н., професор **Лега Ю. Г.**

Редакційна колегія:

Заболотній С. В., д.т.н., доц.
(заступник головного редактора)
Астрелін І. М., д.т.н., проф.
Ващенко В. А., д.т.н., проф.
Волошин М. Д., д.т.н., проф.
Дідковський Р. М., д.т.н., проф.
Кажіс Р., д.т.н., проф. (Литва)
Канашевич Г. В., д.т.н., проф.
Котов В. М., д.т.н., проф. (Білорусь)
Кулик А. Я., д.т.н., проф.
Лужецький В. А., д.т.н., проф.
Лукашенко В. М., д.т.н., проф.
Мальований М. С., д.т.н., проф.
Мінаєв Б. П., д.х.н., проф.
Мусієнко М. П., д.т.н., проф.
Осипенко В. І., д.т.н., проф.
Палагін В. В., д.т.н., проф.
Паламарчук І. П., д.т.н., проф.
Первунінський С. М., д.т.н., проф.
Петрищев О. М., д.т.н., проф.
Положаєнко С. А., д.т.н., проф.
Рибін О. І., д.т.н., проф.
Рудницький В. М., д.т.н., проф.
Сетлак Г., д.ф.н. (Польща)
Слатінеану Л., д.т.н., проф. (Румунія)
Снитюк В. Є., д.т.н., проф.
Столяренко Г. С., д.т.н., проф.
Тесля Ю. М., д.т.н., проф.
Тимченко А. А., д.т.н., проф.
Хоменко О. М., к.х.н., доц.
Мельник І. В. (відповідальний секретар редакції)

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ –

Черкаський державний
технологічний університет

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
КВ № 6061 від 16.04.2002 р.

Виходить 4 рази на рік

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЧДТУ, ІІ корпус, к. 246,
бульвар Шевченка, 460,
м. Черкаси, 18006,
тел. (0472) 73-02-29
chstu@chstu.cherkassy.ua

2 2017

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

За рішенням Вченої ради
Черкаського державного
технологічного університету,
протокол № 13 від 15.05.2017 р.
рекомендовано до друку
та поширення в електронному
вигляді

Затверджено наказом
Міністерства освіти і науки України
№ 1328 від 21.12.2015
як фахове видання з технічних наук

Видання внесено до міжнародної бази індексування
та реферування наукових публікацій
Index Copernicus

Електронна версія: vtn.chdtu.edu.ua
<https://chdtu.edu.ua>

pISSN 2306-4412 / eISSN 2306-4455

Точка зору редколегії не завжди
збігається з позицією авторів.

При повному або частковому
передрукуванні матеріалів
посилання на “Вісник ЧДТУ”
є обов’язковим.

© “Вісник Черкаського
державного технологічного
університету”, № 2, 2017

ЗМІСТ

<i>Гальченко В. Я., Куницька Л. Г., Кісіль Т. Ю.</i> Підвищення ефективності роботи ультразвукового небулайзера за допомогою концентрації акустичної енергії	5
<i>Лукашенко А. Г., Зубко І. А., Лукашенко Д. А., Корнух В. В., Лукашенко В. А., Лукашенко В. М.</i> Знакові моделі структурованих залежностей динамічного розвитку співпроцесорів	11
<i>Бурдукова О. В., Лега Ю. Г., Гавриш О. С., Воробкало Т. В., Іващенко А. О.</i> Апроксимація розподілу експериментальних даних моделями близьких до гауссівських випадкових величин.....	17
<i>Козоріз І. А., Столяренко Г. С., Туницький Б. І.</i> Очищення підземних вод методом електроактивації	25
<i>Петрищев О. Н., Базило К. В.</i> Принципы и методы построения математических моделей дисковых пьезоэлектрических трансформаторов с секторными электродами.....	33
<i>Тесля Ю. М., Хлевна Ю. Л., Єгорченкова Н. Ю., Кошелева Д. І.</i> Впливи на формування конкретизованої методології управління проектами	45
<i>Медведський М. М., Арібжанов М. Т., Гавриш О. С.</i> Дослідження метеорологічного стану атмосфери за допомогою лідару	55
<i>Манько В. М., Зотов В. М.</i> Математична модель оцінки надійності міжвиткової ізоляції електричних машин видавничо-поліграфічних комплексів і методи її розрахунку	61
<i>Лепський В. В.</i> Застосування когнітивної нечіткої моделі проектно-орієнтованого медичного закладу для інтегрованого управління його портфелями	67
<i>Миронець І. В., Радзієвський Н. Є.</i> Аналіз методів та протоколів аутентифікації в комп'ютерних мережах	74
<i>Гринвальд В. А., Пушкарєв Ю. Н., Унрод В. И.</i> Свойства вулканизатов из композиций, наполненных продуктами химической деструкции емкостной тары из полиэтилентерефталата.....	80
<i>Харін О. О.</i> Оцінка властивостей каскадного коду, що поєднує факторіальний та рівноважний код.....	86
<i>Саух В. М., Крайнова Я. В., Андрієнко В. О.</i> Інтеграція електронних і освітніх ресурсів ЧДТУ в світовий інформаційний простір	91
<i>Мирошніченко К. А., Батраченко О. В.</i> Адгезійні властивості основних видів м'ясних фаршів, що найчастіше переробляються в емульсаторі.....	99
<i>Канашевич Г. В., Голуб М. В., Мацена С. М., Антонюк В. С.</i> Методика виявлення мікродефектів і дефектного шару в поверхні пластин з оптичного скла з використанням електронно-променевого методу обробки	105
<i>Осипенко В. І., Коротун С. В.</i> Планетарно-роликова гідромашина багатократної дії	110
<i>Мірненко В. І., Яблонський П. М., Петренко А. М.</i> Техніко-економічна ефективність експлуатації силових трансформаторів типу ТМН, ТМГ і ТМ	115

CONTENTS

Halchenko V. Ya., Kynytska L. G., Kisil T. Yu. The increase of ultrasonic nebulizer's efficiency with the help of acoustic energy concentration.....	5
Lukashenko A. G., Zubko I. A., Lukashenko D. A., Kornuh V. V., Lukashenko V. A., Lukashenko V. M. Sign models of structured dependences of coprocessors dynamic development	11
Burdukova O. V., Lega Yu. G., Havrysh O. S., Vorobkalo T. V., Ivashchenko A. O. Approximation of experimental data distribution by models of close to Gaussian random variables	17
Kozoriz I. A., Stolyarenko G. S., Tupytskyi B. I. Underground water treatment by electroactivation method	25
Petrishchev O. N., Bazilo C. V. Principles and methods of constructing mathematical models of disk piezoelectric transformers with sector electrodes.....	33
Teslia Yu. M., Khlevna Yu. L., Yehorchenkova N. Yu., Koshelieva D. I. Impacts on the formation of customized project management methodology	45
Medvedsky M. M., Aribzhanov M. T., Havrysh O. S. The study of atmosphere meteorological state using a lidar	55
Manko V. M., Zotov V. M. Mathematical model for evaluating the reliability of interturn insulation of electrical machines of publishing and printing complexes and methods for its calculation.....	61
Lepskiy V. V. Application of cognitive fuzzy model of project-oriented medical establishment for integrated management by its portfolio	67
Myronets I. V., Radzyevskiy N. E. The analysis of methods and authentication protocols in computer networks.....	74
Hrinvald V. A., Pushkarev Yu. N., Unrod V. I. Vulcanizates' properties of the compositions filled with products of chemical destruction of polyethyleneterephthalate package	80
Kharin O. O. Estimation of properties of cascade code, which combines factorial and equilibrium codes	86
Saukh V. M., Krainova Ya. V., Andrienko V. A. Integration of electronic and educational CHSTU resources in the global information space.....	91
Myroshnichenko K. A., Batrachenko O. V. Adhesive properties of the main kinds of minced meat, most frequently processed in emulsifier	99
Kanashevych H. V., Holub M. V., Matsepa S. M., Antonyuk V. S. The method for detection of micro-defects and defective layer in the surface of optical glass plates using electron beam processing method	105
Osipenko V. I., Korotun S. V. Planetary roller hydraulic machine of multiple action.....	110
Mirnenko V. I., Yablonskyi P. M., Petrenko A. M. Feasibility operating efficiency of power transformers of TMN, TMG and TM types	115

В. Я. Гальченко, д.т.н., професор,

Л. Г. Куницька, к.т.н., старший викладач,

Т. Ю. Кісіль, к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕБУЛАЙЗЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ АКУСТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Нині ультразвукове розпилення визнано одним із кращих способів приготування високо-дисперсних аерозолів рідин, що не порушують структуру розпорошеної речовини. В ультразвукових небулайзерах використовуються п'єзоелектричні резонансні диспергатори, в більшості випадків з ультразвуковими концентраторами, що працюють на частотах 5-20 кГц, але вони мають ряд недоліків. Основні результати роботи полягають у підвищенні ефективності диспергування рідини в ультразвуковому небулайзері за рахунок застосування ультразвукових концентраторів, акустичних лінз, відбивачів та брейкерів і в атестації аерозолів за допомогою мікроскопічного методу.

Ключові слова: *ультра звуковий небулайзер, п'єзоелектричний диспергатор, концентратор, акустична лінза, відбивач, брейкер, мікроскоп.*

Вступ. Ультразвукові небулайзери призначені для лікування та профілактики захворювань дихальних шляхів і легень аерозолями водних розчинів лікарських засобів. Ці прилади дозволяють розпорошувати лікарські препарати у вигляді дрібнодисперсного аерозолу, який при вдиханні проникає у важкодоступні ділянки легень.

Діаметр бронхів, де розвивається запальний процес, становить всього 1-2 мм, а бронхіол – 0,5 мм. Тому тільки дуже дрібні частинки лікарського препарату (розміром 5-10 мікрон) можуть проникнути в ці відділи дихальних шляхів. Отримати такі мікроскопічні частинки можна за допомогою ультразвукового небулайзера, який за 10-15 хвилин роботи здатний розвинути високу продуктивність і ввести в дихальні шляхи необхідний обсяг лікарського розчину.

При виборі ультразвукового інгалятора необхідно орієнтуватися на три основні моменти:

- конструктивні особливості приладу;
- його продуктивність;
- розмір часток аерозолу, які генеруються.

Рівень ураження дихальних шляхів включає бронхи самого малого калібру – 1-2 мм і менше. Проникнути в них і надати лікувальної дії можуть тільки частинки лікарської речовини діаметром 5-10 мікрон. Тому

найважливішою характеристикою аерозолу є дисперсність – розмір частинок лікарського розчину, який розпорошується. В ідеальному випадку аерозоль, що генерується інгалятором повинен бути монодисперсним, розмір часток якого не має великого розкиду і становить, наприклад, від 5 до 10 мікрон. Якщо дисперсність частинок аерозолу має більший розкид, наприклад від 5 до 30 мікрон, то це, як правило, прилад невисокої якості і надійності.

В даний час для диспергування рідини в ультразвукових небулайзерах використовуються п'єзоелектричні резонансні диспергатори, в більшості випадків з ультразвуковими концентраторами, працюючими на частотах 5-20 кГц. Ці диспергатори мають ряд недоліків. Самі значні із них:

- нестійкий режим роботи, зрив коливань та диспергування;
- порівняно великі розміри частинок розпорошеної рідини завдяки низькій робочій частоті диспергатора, що погіршує лікувальний ефект.

Відомі конструкції диспергаторів (а також небулайзерів на їх основі), що використовують низькочастотні коливання із застосуванням ультразвукових концентраторів, але які працюють дуже ненадійно. Використання сферичного п'єзоелемента, ціна якого перевищує ціну решти частин диспергатора, значно додає вартості небулайзеру.

Мета даної роботи – підвищення ефективності створення аерозолю в диспергаторах за допомогою ультразвукових концентраторів різної конструкції, акустичних лінз, відбивачів та брейкерів, а також дослідження якості аерозолів за допомогою мікроскопічного методу.

Експериментальна частина

1. Вдосконалення конструкції диспергатора. Для усунення вказаних вище недоліків було запропоновано використовувати товщинні моди коливань п'єзoeлементу і оригінальний метод концентрації ультразвукової енергії, що полягає в наступному:

– формуючи в п'єзoelementі неоднорідні електричні поля, можна сформувати ультразвукові поля необхідної форми, тобто за допомогою плоского п'єзoelementу створити ультразвуковий концентратор [1];

– збуджуючи коливання на частотах в діапазоні 1-2 МГц, можна одержати стійку диспергацію рідин з дрібними частками, що дасть змогу підсилити лікувальний ефект [3].

Схема, яка пояснює принцип дії інгалятора, показана на рис. 1.

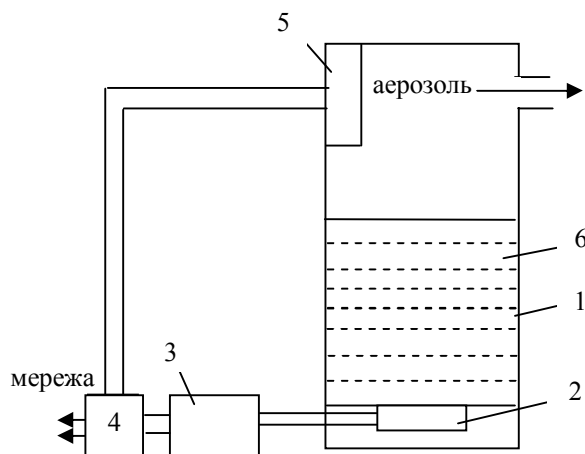


Рис. 1. Схема небулайзера: 1 – корпус; 2 – п'єзoeлектричний перетворювач; 3 – електрична схема; 4 – адаптер; 5 – вентиль; 6 – рідина, яка розпилюється

В корпусі інгалятора розміщується п'єзoeлектричний перетворювач 2, який підключений до електричної схеми 3. Схема підключається до джерела постійної напруги 4 (адаптер AC/DC SDK – 0302 – вхід 100-240В перемінної напруги, вихід 12В DC, 1А або 20 МП-24А – вхід 150-250В, вихід 24В, 0,8А). До цього ж джерела підключено і електровентиль 5. В корпус заливається рідина 6.

Для досліджень був використаний експериментальний зразок диспергатора (рис. 2), в якому збудження ультразвукових коливань відбувається за допомогою п'єзoelementу $\varnothing 2,5$ та товщиною 1 мм, підключеного до схеми автогенератора (частота 1,65 МГц – товщинні коливання) [2].



Рис. 2. Загальний вигляд експериментального зразка диспергатора

Електронна схема в розробленому експериментальному зразку представляє собою автогенератор, зібраний на польовому транзисторі IRF530, в ланцюг позитивного зворотнього зв'язку якого включений п'єзoelement. Параметри автогенератора підбрані таким чином, що в п'єзoelementі збуджуються коливання по товщині.

Для підвищення ефективності створення аерозолю були використані:

1. *Ультразвукові концентратори* різної конструкції (ступінчаті, конічні) (рис. 3).



Рис. 3. Ультразвукові концентратори

Найкращий ефект, який оцінювався по висоті ультразвукового фонтану при інших рівних умовах, дало використання нової конструкції концентратора – ступінчато-конічного.

2. *Ультразвукові (акустичні) лінзи* (рис. 4):

- сферичні;
- у вигляді напівторіа круглої форми;
- лінзи складної форми та ін.

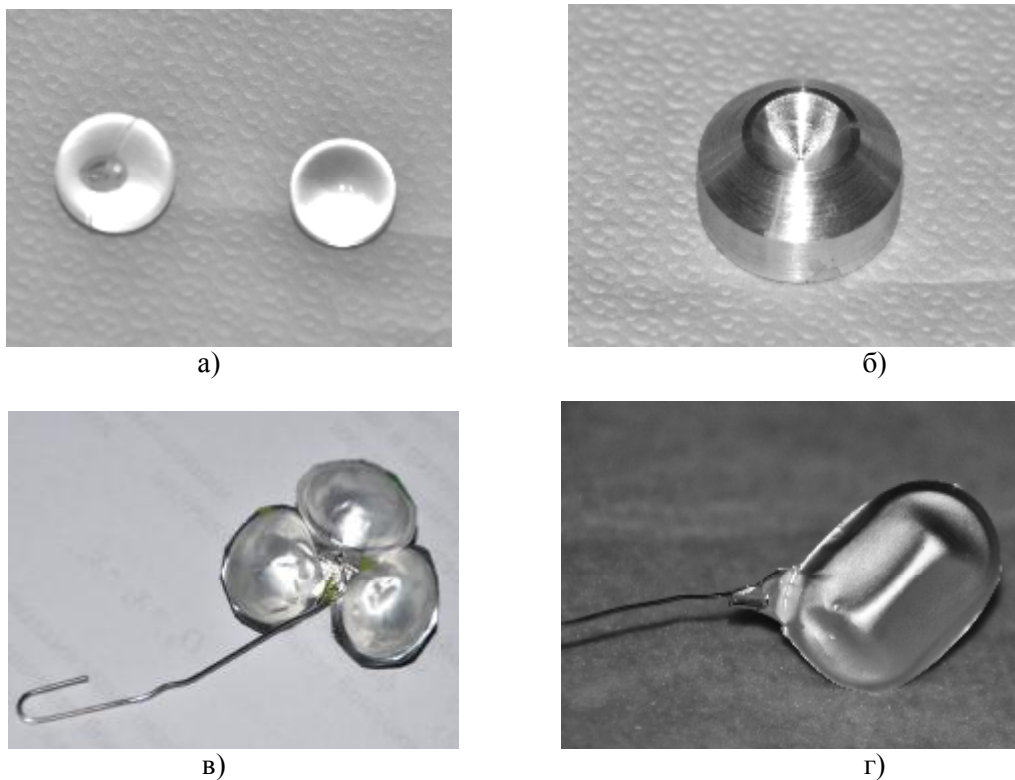


Рис. 4. Акустичні лінзи:

а) сферичні; б) у вигляді напівторіа V-подібної форми; в) багатоеlementна лінза; г) складної форми

Найкращі результати вдалося отримати при застосуванні сферичних лінз, у яких на сферичній поверхні були видавлені додаткові сферичні лінзи меншого діаметра (рис. 5).

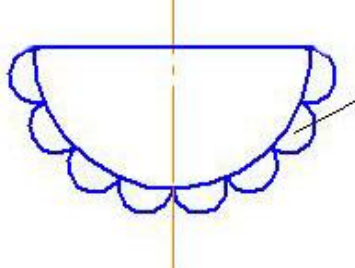


Рис. 5. Сферична акустична лінза з додатковими лінзами меншого діаметра

Як показали експерименти, при роботі диспергатора утворюються: ультразвуковий фонтан, аерозоль, а також краплі рідини (рис. 6).



Рис. 6. Диспергація рідини:

а) з утворенням ультразвукового фонтану; б) з розбиттям ультразвукового фонтану

З проведених експериментів випливає, що в конструкції диспергатора слід передбачити ще два пристрої:

– відбивач, який перешкоджає вильоту крапель рідини і руху ультразвукового фонтану;

– брейкер (розбивач), який розбиває фонтан і крупні краплі.

Більш високу ефективність утворення аерозолів вдалося отримати при застосуванні диспергаторів, схеми конструкцій яких показані на рис. 7 [4, 5].

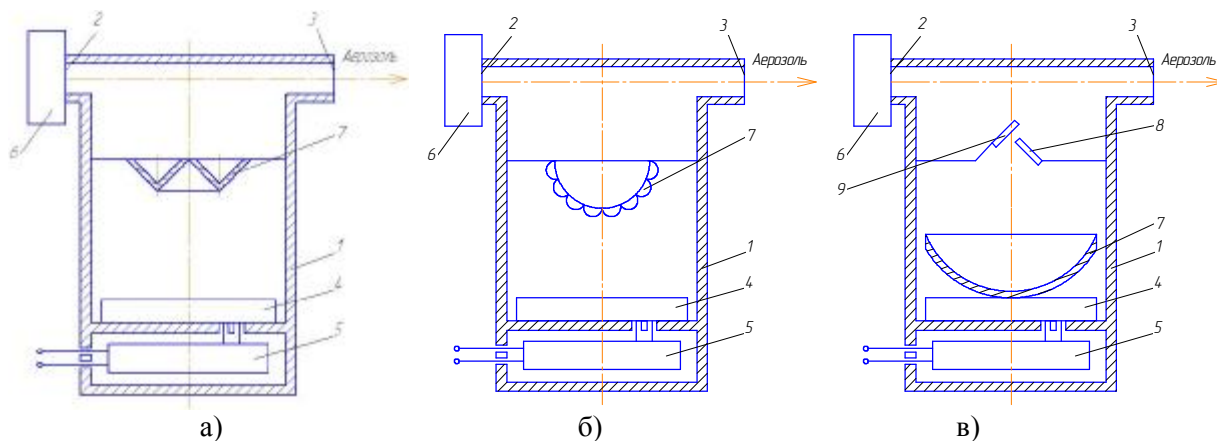


Рис. 7. Схеми конструкцій диспергаторів з акустичною лінзою:

а) у вигляді напівтороїда V-подібного перерізу;

б) зі сферичною акустичною лінзою і додатковими лінзами;

в) з акустичною лінзою та брейкерами

(1 – корпус; 2, 3 – вхідний і вихідний отвори; 4 – п'єзоелемент; 5 – електрична схема;

6 – вентилятор; 7 – лінза; 8, 9 – брейкери)

2. Мікроскопічний метод атестації аерозолів [6]. Дослідження проводились з аерозолями інгаляційних розчинів, які застосовують при лікуванні хронічних захворювань дихальних шляхів, а саме, Berodual, Ventolin, Bricanyl.

Генеровані за допомогою небулайзера частки лікарських аерозолів, осаджувалися на предметне скло (рис. 8). Експеримент проводився за допомогою апаратного комплексу цифрової мікроскопії, до якого входить: мікроскоп Olympus BX-41; цифровий фотоапарат Olympus C5050Z з п'ятимегапиксельною матрицею; персональний комп'ютер.

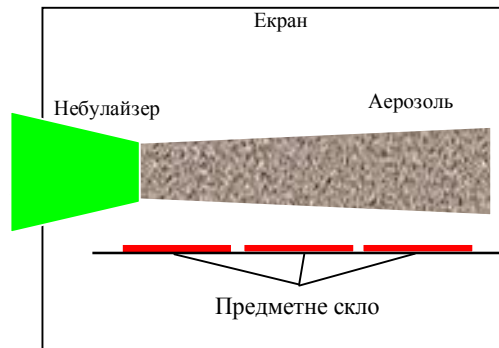


Рис. 8. Схеми експерименту

В результаті досліджень були отримані цифрові зображення осаджених часток аерозолів (рис. 9).

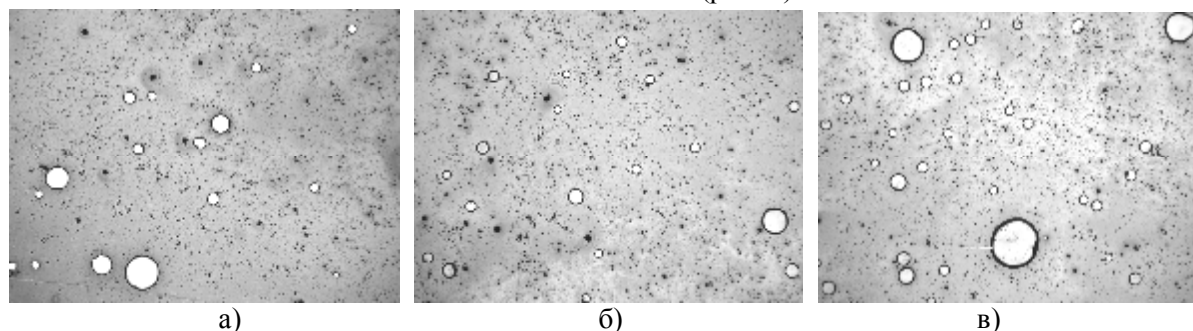


Рис. 9. Цифрові зображення осаджених часток аерозолів: а) Berodual; б) Ventolin; в) Bricanyl

Вимірювання розмірів часток аерозолів було проведено за методикою, яка включає обчислення діаметра Мартіна (d_M), діаметра Ферета (d_F) та діаметра проекції площі часток (d_{PA}) (рис. 10).

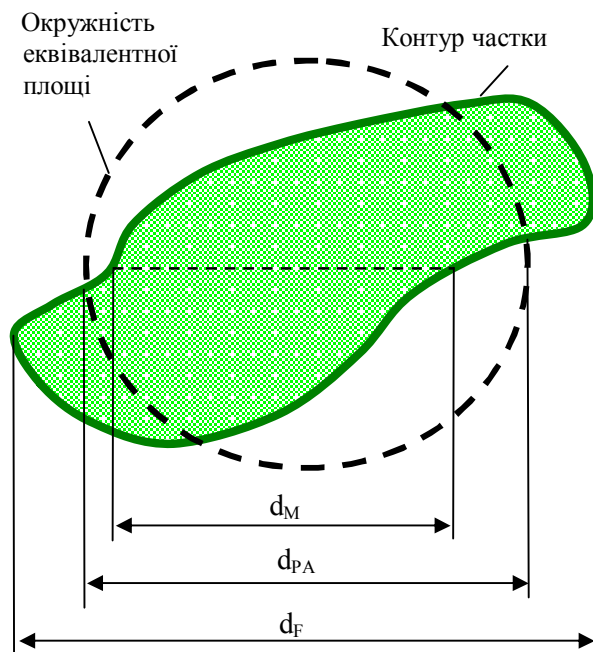


Рис. 10. Еквівалентні розміри нерегулярних часток

Для опису розподілу розміру часток аерозолів найбільш придатні функція розподілу Rosin-Rammler

$$F(D) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{D}{\bar{X}}\right)^N\right)$$

або ASTM standart E795-92.

Статистичну обробку результатів вимірювань показано на прикладі розподілу часток інгаляційного препарату Berodual, які генеруються небулайзером (рис. 11).

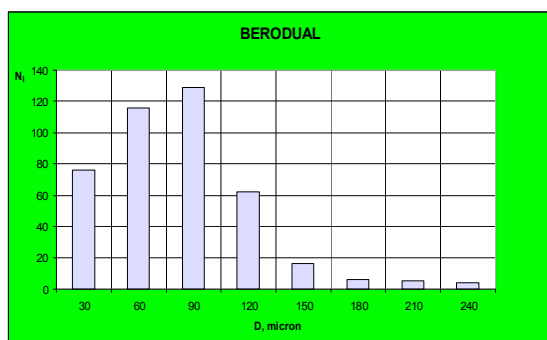


Рис. 11. Діаграма розподілу часток препарату Berodual: (Mean (D) = 38.64 μm ; Stdev (D) = 23.08 μm ; Median (D) = 37.44 μm)

Висновки:

1. Найбільшого підвищення ефективності диспергування рідини в ультразвуковому небулайзері було досягнуто за рахунок засто-

- ультразвукового концентратора ступінчато-конічної форми;
- акустичної сферичної лінзи, у якій на сферичній поверхні були видавлені додаткові сферичні лінзи меншого діаметра;
- відбивача, який перешкоджає вильоту крапель рідини і руху ультразвукового фонтану;
- брейкера (розбивача), який розбиває фонтан і великі краплі.

2. За допомогою мікроскопічного методу проведена атестація часток аерозолів, які генеруються ультразвуковим небулайзером.

Список літератури

1. Sharapov V. M., Minaev I. G., Sotula Zh. V., Kunitskaya L. G. Piezoelectric electroacoustic transducers. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013. 240 p.
2. Шарапов В. М., Сотула Ж. В., Куніцкая Л. Г., Базило К. В. Об одном способе создания низкочастотных акустических колебаний с помощью пьезокерамического излучателя. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2010. № 1.
3. Шарапов В. М. Спосіб створення акустичних коливань за допомогою п'єзоелемента. Патент України № 56930. H04R 17/00. Бюл. 2. 2011.
4. Шарапов В. М. [та ін.]. Ультразвуковий інгалятор. Патент України № 52592 МПК (2009) A61M 15/02 A61M 11/00 A61M 11/06 B05B 1/00 опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
5. Шарапов В. М. [та ін.]. Ультразвуковий інгалятор. Патент України № 52593 МПК (2009) A61M 15/02 A61M 11/00 A61M 11/06 B05B 1/00 опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
6. Плахотник В. Ю., Гальченко В. Я. Исследование аэрозолей лекарственных средств. *Актуальные проблемы биофизической медицины: V междунар. симпозиум*. 17–19 мая. Киев, 2007. С. 135–136.

References

1. Sharapov, V. M., Minaev, I. G., Sotula, Zh. V., Kunitskaya, L. G. (2013) Electroacoustic transducers. Moscow: Technosphaera, 280 p. [in Russian].
2. Sharapov, V. M., Minaev, I. G., Sotula, Zh. V., Bazilo, K. V., Samoilenko, V. V. (2010) About one method of creating low-frequency acoustic oscillations using a piezoceramic radiator. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 1 [in Russian].
3. Sharapov, V. M. (2011) A method of creation of ultrasonic vibrations with the help of piezoelectric transformer. Patent of Ukraine No. 56930. Publication [in Ukrainian].
4. Sharapov, V. M. et al. (2010) Ultrasonic inhaler. Patent of Ukraine No. 52592. Publication [in Ukrainian].
5. Sharapov, V. M. et al. (2010) Ultrasonic inhaler. Patent of Ukraine No.52593. Publication [in Ukrainian].
6. Plahotnik, V. Yu., Halchenko, V. Ya. (2007) Research of medicinal aerosols. *Actual problems of biophysical medicine: the V International symposium*, 17–19 May. Kyiv, pp. 135–136 [in Russian].

V. Ya. Halchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,
 L. G. Kunytska, *Ph.D., senior lecturer*,
 T. Yu. Kisil, *Ph.D., associate professor*
 Cherkasy State Technological University
 Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE INCREASE OF ULTRASONIC NEBULIZER'S EFFICIENCY WITH THE HELP OF ACOUSTIC ENERGY CONCENTRATION

Ultrasonic dispersion is recognized as one of the best ways to prepare highly dispersed aerosols that do not harm structure of pulverable substance. In ultrasonic nebulizers piezoelectric resonant dispersants are used, in most cases with ultrasonic concentrators, working at frequencies of 5-20 kHz. But they have several drawbacks.

The main results of this work consist in the increase of ultrasonic nebulizer's efficiency by applying ultrasonic hubs, acoustic lenses, reflectors and breakers and in the attestation of aerosols with the help of microscopic method.

Keywords: *ultrasonic nebulizer, piezoelectric dispersant, hub, acoustic lens, reflector, breaker, microscope.*

Статтю представляє В. Я. Гальченко, д.т.н., професор.

УДК 681.325

А. Г. Лукашенко², к.т.н.,
І. А. Зубко¹, аспірант,
Д. А. Лукашенко², здобувач,
В. В. Корнух¹, магістр,
В. А. Лукашенко², к.т.н.,

В. М. Лукашенко¹, д.т.н., професор

¹ Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

² Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
вул. Боженка, 11, м. Київ-150, 03680, Україна

ЗНАКОВІ МОДЕЛІ СТРУКТУРОВАНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДИНАМІЧНОГО РОЗВИТКУ СПІВПРОЦЕСОРІВ

У статті представлені знакові моделі, що ґрунтуються на структурованому методі визначення перспектив розвитку співпроцесорів за багатьма параметрами. Цей метод дозволить визначити розробника та виробника, які виготовляють найкращу модель співпроцесора.

Метою дослідження є визначення перспектив розвитку співпроцесорів за параметрами частоти, технології та кількості ядер одночасно за рахунок розробки апроксимуючих моделей сплайн-функцій на основі регресивного аналізу.

В роботі визначено сфери застосування співпроцесорів. Створено структуровані таблиці за параметрами частоти, «техпроцесу» та кількості ядер співпроцесорів для різних фірм виробників. Проведено порівняльний аналіз якісних характеристик сучасних моделей співпроцесорів різних фірм виробників. Побудовано образно-знакові моделі при використанні методу координат. Розроблено моделі сплайн-функцій перспективного розвитку основних параметрів співпроцесорів на базі регресійного аналізу. Виявлено перспективи подальшого розвитку графічних співпроцесорів сучасних моделей різних фірм виробників.

Ключові слова: співпроцесор, порівняльний аналіз, якісні характеристики, моделі сплайн-функцій.

Актуальність теми. Реалізація інноваційних проектів в області виробництва, енергетики, біологічних наук і в інших галузях потребує проведення великої, складної та трудомісткої обчислювальної роботи. Прагнення спростити та прискорити виконання трудомістких обчислень стало причиною появи та розвитку різних спеціалізованих співпроцесорів.

Співпроцесори виконують специфічні операції обробки: математичні; графічні; перетворення кодів та інші, зі швидкістю, яка у 100 разів більша ніж мікропроцесор [1, 2].

Створенню прецизійних обчислювачів трансцендентних функцій та формувачів зображень для комп'ютерно-інтегрованих систем з високопродуктивними компонентами присвячено багато робіт В.Д. Байкова, В.І. Корнейчука, В.Д. Пузанкова, К.Г. Самофалова, В.Б. Смолова, А.П. Стахова, В.П. Тарасенка, І.А. Дичка, А.І. Борзенко, А.В. Борескова, С.А. Полетаєва та інших. Але недостатньо висвітлено принцип визначення

перспективного розвитку типів співпроцесорів відповідного розробника та виробника [3, 4, 5]. Тому дослідження аналітичних залежностей розвитку сучасних співпроцесорів на єдиному методологічному й інформаційному базисі являє собою актуальну задачу.

Метою дослідження є визначення перспектив розвитку співпроцесорів за параметрами частоти, «техпроцесу» та кількості ядер за рахунок розробки апроксимуючих моделей сплайн-функцій на основі регресивного аналізу.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні задачі:

1. Проаналізувати основні види сучасних співпроцесорів та сфери їх застосування.
2. Створити структуровані таблиці за основними параметрами графічних співпроцесорів для різних фірм виробників.
3. Побудувати образно-знакові моделі динамічного розвитку графічних співпроцесорів за параметрами: «техпроцес», кількість ядер, частота при використанні методу координат.

4. Отримати моделі апроксимуючих сплайн-функцій для оцінки перспективного розвитку основних параметрів графічних співпроцесорів на базі регресійного аналізу.

Рішення задачі. Об'єднання процесорів і арифметичних, графічних та спеціалізованих співпроцесорів дозволяє забезпе-

чити виняткову продуктивність комп'ютерно-інтегрованих систем при реалізації інноваційних проектів в області виробництва, енергетики, оборонної техніки, медицини (рис. 1) та в інших галузях завдяки візуалізації та паралельній обробці інформації [6, 7].



Рис. 1. Образно-знакова модель сфер застосування спеціалізованих співпроцесорів

Численність областей застосування співпроцесорів, які визначені на рис. 1, підтверджують актуальність дослідження існуючих сучасних моделей. В результаті досліджень лінії співпроцесорів [8] різних фірм

виробників з 2008 по 2016 роки створена структурована табл. 1 за основними параметрами графічних співпроцесорів для різних фірм виробників.

Таблица 1

Структуровані дані параметрів співпроцесорів за роками відповідних моделей та фірм виробників

N п/п	Рік	Модель	Максимальна кількість ядер (шт)	«Техпроцес» (nm)	Частота (MHz)
фірма Qualcomm					
1	2008	Adreno 200	8	65	133
2	2009	Adreno 203	16	45	245
3	2012	Adreno 320	96	28	400
4	2013	Adreno 330	128	28	578
5	2015	Adreno 430	192	20	650
6	2016	Adreno 530	256	14	650
фірма NVIDIA					
1	2008	ULP GeForce	1	65	133
2	2009	ULP GeForce	8	40	333
3	2012	ULP GeForce	12	40	520
4	2013	Tegra 4	72	28	578
5	2015	NVIDIA Kepler	192	20	950
6	2016	NVIDIA Maxwell	256	20	950
фірма Imagination Technologies					
1	2008	SGX540	1	65	200
2	2009	SGX545	1	32	533
3	2012	G6200	2	28	600
4	2013	GX6650	6	28	650
5	2015	GXA6850	8	20	675
6	2016	GT7900	16	16	800

Продовження табл. 1

фірма ARM					
1	2008	Mali-200	1	65	275
2	2009	Mali-T604	4	32	533
3	2012	Mali-T658	8	28	595
4	2013	Mali-T760	16	28	650
5	2015	Mali-T860	16	28	700
6	2016	Mali-T880	16	16	850

На основі даних табл. 1 та методу координат побудовані знакові моделі (рис. 2) динамічного розвитку графічних співпроцесорів відповідно за основними параметрами: а) «техпроцес» M , nm); б) значення частоти

(f , MHz); в) кількості ядер (N , шт) та отримані моделі апроксимуючих сплайн-функцій з використанням методу найменших квадратів, які зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Сплайн-функції розвитку співпроцесорів

Параметр, що характеризує:	Сплайн-функція розвитку співпроцесорів моделей «Adreno» фірми QUALCOMM	Коефіцієнт кореляції
«Техпроцес»	$y = -0,3371x^3 + 2035,2x^2 - 4E+06x + 3E+09$	$R = 0,9963$
кількість ядер	$y = 0,1424x^3 - 857,44x^2 + 2E+06x - 1E+09$	$R = 0,9955$
частота	$y = -1,3285x^3 + 8015,6x^2 - 2E+07x + 1E+10$	$R = 0,9726$
Параметр, що характеризує:	Сплайн-функція розвитку співпроцесорів моделей фірми NVIDIA	Коефіцієнт кореляції
«Техпроцес»	$y = -0,2631x^3 + 1588,7x^2 - 3E+06x + 2E+09$	$R = 0,8828$
кількість ядер	$y = 0,036x^3 - 210,54x^2 + 410158x - 3E+08$	$R = 0,9887$
частота	$y = 1,0493x^3 - 6330,7x^2 + 1E+07x - 9E+09$	$R = 0,964$
Параметр, що характеризує:	Сплайн-функція розвитку співпроцесорів моделей Mali фірми ARM	Коефіцієнт кореляції
«Техпроцес»	$y = -0,7367x^3 + 4447,7x^2 - 9E+06x + 6E+09$	$R = 0,9732$
кількість ядер	$y = -0,0738x^3 + 445,17x^2 - 895433x + 6E+08$	$R = 0,93$
частота	$y = 5,621x^3 - 33932x^2 + 7E+07x - 5E+10$	$R = 0,9802$
Параметр, що характеризує:	Сплайн-функція розвитку співпроцесорів моделей «PowerVR» фірми Imagination Technologies	Коефіцієнт кореляції
«Техпроцес»	$y = -0,6011x^3 + 3629,3x^2 - 7E+06x + 5E+09$	$R = 0,9364$
кількість ядер	$y = 0,0581x^3 - 350,66x^2 + 704877x - 5E+08$	$R = 0,9468$
частота	$y = 6,6467x^3 - 40128x^2 + 8E+07x - 5E+10$	$R = 0,9705$

Значення коефіцієнтів кореляції R (табл. 2) підтверджують, що отримані сплайн-функції мають високі якісні характеристики рис. 2. Візуалізація відповідних залежностей значень апроксимуючих сплайн-функцій (рис. 2) дозволяє прогнозувати перспективність розвитку визначених параметрів співпроцесорів відповідних фірм розробників та виробників на базі регресійного аналізу [9].

Розвиток співпроцесорів за параметром «техпроцес», рис. 2а, всіх фірм виробників відбувся у 2008-2009 році поліпшився майже у 1,5 рази. Але у 2015-2016 роках найкращий «техпроцес» ($M=14\text{nm}$) при виготовленні співпроцесорів має фірма Qualcomm. Крім того, апроксимуючі сплайн-функції показують тенденцію подальшого розвитку співпроцесорів за цим параметром фірм Qualcomm, ARM, які за період 2015-2016 роки поліпшили «техпроцес» у 1,43 та 1,25 рази відповідно.

Розвиток за параметром частоти співпроцесорів різних фірм розробників та виробників з 2008 по 2016 роки представлено на рис. 2б.

Аналіз залежностей рис. 2б показує, що протягом 2015 та 2016 років фірми ARM і Imagination Technologies підвищили значення частоти співпроцесорів у 1,22 та 1,19 разів відповідно.

Візуалізація розвитку кількості ядер співпроцесорів за період з 2008 по 2016 роки (рис. 2в) показує, що фірми NVIDIA і Qualcomm мають максимальну кількість ядер в 2016 році. Це підвищує продуктивність співпроцесорів [10].

Отже, екстраполяції апроксимуючих сплайн-функцій підтверджують прогресивність зростання досліджених параметрів співпроцесорів для відповідних фірм розробників та виробників.

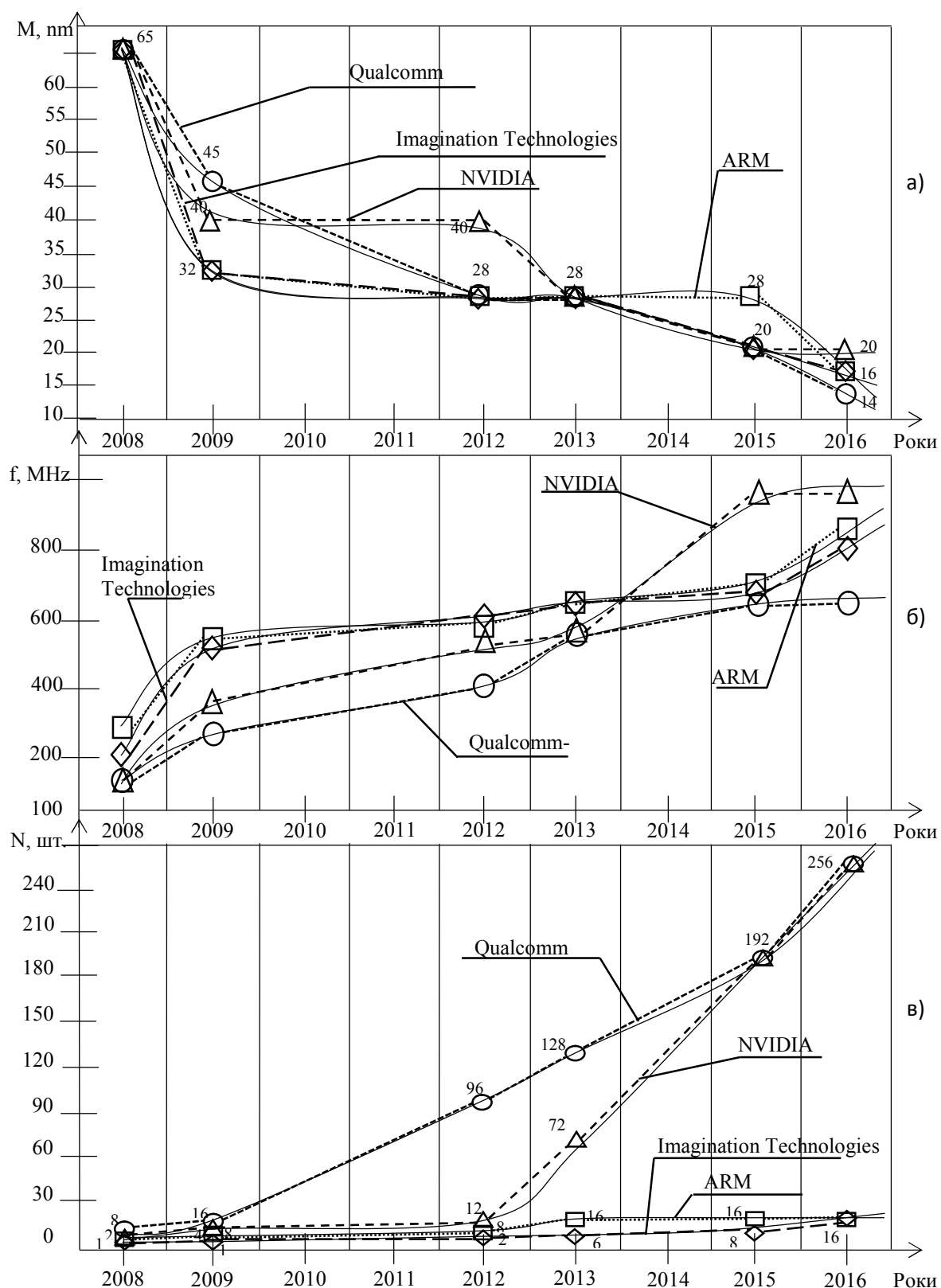


Рис. 2. Знакові моделі залежностей розвитку сучасних співпроцесорів різних фірм виробників за основними параметрами:

а) «технологій»; б) значення частоти; в) кількості ядер за період з 2008-2016 років

Примітка: $\square$ - ARM; $\circ$ - Qualcomm; $\triangle$ - NVIDIA; $\diamond$ - Imagination Technologies

Висновки. В роботі вирішена важлива науково-технічна задача визначення тенденцій перспективного розвитку співпроцесорів відповідних фірм за основними технічними параметрами шляхом розроблених інформаційно-аналітичних моделей та удосконалення методу візуалізації.

Науковою новизною є:

- удосконалений метод візуалізації тренду розвитку співпроцесорів шляхом розробки інформаційно-аналітичних моделей та отримати найбільше значення позитивної регресії моделей апроксимуючих сплайн-функцій. Якість апроксимації функцій підтверджена високим значенням коефіцієнта кореляції для виробників фірм:

- QUALCOMM моделей «Adreno» та ARM моделей Mali за параметром «техпроцес» і складає 0,99 і 0,97, а за параметром значення частоти – 0,97 і 0,98 відповідно;

- знакові моделі, що структуровані, водночас забезпечують сумісність використання отриманих технічних рішень з існуючими сучасними фізичними моделями співпроцесорів і, як наслідок, прискорюють процедуру їх проектування.

Список літератури

1. Корнук В. В., Лукашенко А. Г., Зубко І. А., Лукашенко Д. А., Лукашенко В. М., Лукашенко В. А. Структурований метод якісної оцінки багатопараметричних співпроцесорів. *Science without borders – 2017: materials of the XIII International scientific and practical conference* (30 March – 07 April, 2017, Sheffield, England). Sheffield: Science and Education Ltd, 2017. Vol. 12. С. 3–8.
2. Лукашенко В. А., Лукашенко А. Г., Романович Р. Я., Лукашенко Д. А. Модель якісної оцінки фірм виробників сопроцесорів. *Інформаційні технології та взаємодії–2015: збірник матеріалів II Міжнар. наук.-практ. конф.* (3-5 листопада 2015 року, м. Київ, Україна). Київ: НТУУ «КПІ», 2015. С. 214–216.
3. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. Москва: ДИАЛОГ/МИФИ, 1996. 288 с.
4. Полетаев С. А. Параллельные вычисления на графических процессорах. URL: http://www.iis.nsk.su/files/articles/sbor_kas_16_poletaev.pdf
5. Сергиенко А. М., Корнейчук В. И. Микропроцессорные устройства на программируемых логических ИС. Киев: Корнейчук, 2005. 108 с.
6. Лукашенко В. А., Лукашенко А. Г., Спивак В. М. Систематизація методів, моделей сопроцесорів для високошвидкісних, прецизійних мікропроцесорних проблемно-орієнтованих систем. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2015. № 1. С. 164–169.
7. Utkina T. Yu. Development of the multiple criteria model of qualitative assessment of modern pulse reflectometers *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 2. С. 40–43.
8. Графические ускорители: ARM, Adreno, GeForce ULP, PowerVR. URL: <http://gagadget.com/cellphones/14136-graficheskie-uskoriteli-arm-adreno-geforce-ulp-powervr-i-drugie/>
9. Chychuzhko M. V. Sign model of qualitative assessment of modern basic components of wireless devices for transmission of signals. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 2. С. 16–20.
10. Utkina T. Yu. Sign model of the choice of effective pulse devices of information transmission lines diagnostics based on conditional similarity criteria. *Вісник Сумського державного університету*. 2013. № 3. С. 81–87.

References

1. Kornukh, V. V., Lukashenko, A. H., Zubko, I. A., Lukashenko, V. A., Lukashenko, D. A., Lukashenko, V. M. (2017) Strukturovaniy metod yakisnoi otsinky bahatoparametrychnykh spivprotseoriv. *Science without borders – 2017: materials of the XIII International scientific and practical conference* (30 March – 07 April, 2017, Sheffield, England). Sheffield: Science and Education Ltd, vol. 12, s. 3–8 [in Ukrainian].
2. Lukashenko, V. A., Lukashenko, A. H., Romanovych, R. Ya., Lukashenko, D. A. (2015) Model yakisnoi otsinky firm vyrobnykiv soprotsesoriv. *Informatsiini tekhnolohii ta vzaiemodii – 2015: zbirnyk materialiv II Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (3-5 lystopada 2015 roku, m. Kyiv, Ukraina).

- Kyiv: NTUU «KPI», s. 214–216 [in Ukrainian].
3. Shykyn, E. V., Boreskov, A. V. (1996) *Kompiuternaia grafika. Dinamika, realisticheskiye izobrazheniya*. Moscow: DYALOH/MYFY, 288 p. [in Russian].
 4. Poletaev, S. A. Parallelnye vychisleniya na graficheskikh protsessorakh. URL: http://www.iis.nsk.su/files/articles/sbor_kas_16_poletaev.pdf
 5. Serhiyenko, A. M., Korneichuk, V. I. (2005) Mikroprotsessornye ustroystva na programiruemyykh logicheskikh IS. Kiev: Kornichuk, 108 p. [in Russian].
 6. Lukashenko, V. A., Lukashenko, A. H., Spivak, V. M. (2015) Systematyzatsiia metodiv, modelei soprotsesoriv dlia vysokoshvydkisnykh, pretsyziinykh mikroprotsessornykh problemno-orientovanykh system *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. No. 1, pp. 164–169 [in Ukrainian].
 7. Utkina, T. Yu. (2013) Development of the multiple criteria model of qualitative assessment of modern pulse reflectometers. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 40–43.
 8. Graficheskiye uskoriteli: ARM, Adreno, GeForce ULP, PowerVR. URL: <http://gagadget.com/cellphones/14136-graficheskie-uskoriteli-arm-adreno-geforce-ulp-powervr-i-drugie/>
 9. Chychuzhko, M. V. (2015) Sign model of qualitative assessment of modern basic components of wireless devices for transmission of signals. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 16–20.
 10. Utkina, T. Yu. (2013) Sign model of the choice of effective pulse devices of information transmission lines diagnostics based on conditional similarity criteria. *Visnyk Sumskoho derzhavnogo universytetu*, No. 3, pp. 81–87.

A. G. Lukashenko², Ph.D.,

I. A. Zubko¹, P.G.,

D. A. Lukashenko², P.G.,

V. V. Kornuh¹, MA

V. A. Lukashenko², Ph.D.,

V. M. Lukashenko¹, Dr.Tech.Sc., professor

¹ Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

² Institute of Electric Welding named after E. O. Paton

Bozhenko str., 11, Kyiv-150, 03680, Ukraine

SIGN MODELS OF STRUCTURED DEPENDENCES OF COPROCESSORS DYNAMIC DEVELOPMENT

The article presents sign models, based on a structured method of determining the prospects of coprocessors in many ways. This method allows to determine the developer and manufacturer, producing the best coprocessor model.

The purpose of research is to determine the prospects of coprocessors development according to the parameters of frequency, technology and the number of cores simultaneously through the development of approximating spline functions models based on regression analysis.

The scope of coprocessors use is determined. Structured tables after the basic coprocessors parameters for different manufacturers are created. A comparative analysis of qualitative characteristics of modern coprocessors models of various manufacturers is made. Graphic and symbolic models when using coordinates method are built. The models of spline functions of prospective development of the basic coprocessors parameters based on regression analysis are developed. The prospects for further development of graphic coprocessors of modern models of various manufacturers are considered.

Keywords: coprocessor, comparative analysis, quality specifications, models of spline functions.

Статтю представляє В. М. Лукашенко, д.т.н., професор.

О. В. Бурдукова, аспірант,
Ю. Г. Лега, д.т.н., професор,
О. С. Гавриш, к.ф.-м.н., доцент,
Т. В. Воробкало, к.т.н., доцент,
А. О. Івашенко, аспірант

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

АПРОКСИМАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ МОДЕЛЯМИ БЛИЗЬКИХ ДО ГАУССІВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

В роботі отримано аналітичні вирази апроксимуючих функцій, отриманих на основі моделей з перфорованим кумулянтним описом. Побудовано щільності розподілу різних моделей близьких до гауссівських випадкових величин, проведено порівняння з емпіричною щільністю розподілу і знайдено значення похибок апроксимації для кожного класу моделі. Показано, що моделі на основі перфорованого кумулянтного опису є ефективним інструментом для апроксимації реальних статистичних даних різної природи.

Ключові слова: апроксимація, ряд Еджворта, кумулянтні коефіцієнти, близькі до гауссівських випадкові величини, перфорація кумулянтного опису.

Вступ. При обробці статистичних даних часто зручно використовувати гауссівську модель випадкового процесу [1, 2]. Проте таке припущення інколи може приводити до помітного погіршення результатів опрацювання випадкового процесу, оскільки підібрана модель не є оптимальною. Використання стандартних негауссівських законів розподілу також не завжди повно і адекватно описують реальний процес або ж натикається на математичні труднощі подальшого опрацювання. Як компромісний варіант в роботі [3] вводяться так звані близькі до гауссівських випадкові величини (БГВВ), які описуються певним набором кумулянтних коефіцієнтів до 6-го порядку. Очевидно, що обмеження числа кумулянтів накладає обмеження на закон розподілу, тому для розв'язку практичних задач необхідно підібрати певний клас моделі БГВВ [4]. Існують різні підходи для знаходження аналітичного представлення щільності розподілу, серед яких розрізняють топографічні та апроксимативні [5]. Топографічні методи засновані на використанні розподілів Пірсона або Джонсона і враховують лише перші 4 кумулянти, що накладає обмеження на представлення деяких класів БГВВ. Для апроксимації щільності розподілу використовуються комбінації простих і достатньо добре досліджених функцій. Поширення набули полігауссівські суміші розподілів [6], які дозволяють

ефективно описувати довільні розподіли, проте можуть виникати складнощі, пов'язані з отриманням оцінок параметрів суміші і аналізом їх властивостей [5]. Щільність апроксимуючого розподілу може бути задана у вигляді усіченого ряду Еджворта [4, 7], вагові коефіцієнти якого залежать від заданого набору кумулянтних коефіцієнтів у відповідності з вибраним класом БГВВ.

Постановка задачі. Для дослідження можливості використання моделей з перфорованим кумулянтним описом для апроксимації закону розподілу використовуються статистичні дані різної природи, закон розподілу яких відрізняється від нормального. Для знаходження апроксимуючої функції і визначення оптимального класу БГВВ розглянуто два масиви вибірових значень:

- середня тривалість життя (років) в країнах світу, згідно даних ООН з 1980 року по наш час [8];
- показники контролю якості на кондитерському виробництві (індекс жирності) [9].

Для знаходження похибки апроксимації щільності розподілу випадкової послідовності моделями БГВВ необхідно отримати дві апроксимації функції щільності ймовірності:

- графічну на основі гістограм, з врахуванням реальних вибірових даних;
- у вигляді аналітичної функції (усіченого ряду Еджворта) з певним (обмеженим) на-

бором кумулянтних коефіцієнтів відповідно до заданого класу БГВВ.

$$p_{\theta}(x) = p_n(x) + \sum_{k=3}^{\infty} (-1)^k \frac{\beta_k}{k!} p_n^{(k)}(x) \quad (1)$$

де $p_n(x)$ – щільність ймовірності нормально-го розподілу; $p_n^{(k)}(x)$ – похідні k -го порядку нормального розподілу; β_k – квазімоменти розподілу $p_{\theta}(x)$, які пов'язані з кумулянтами κ_k співвідношеннями [7]

$$\begin{aligned} \beta_3 &= \kappa_3, & \beta_4 &= \kappa_4, & \beta_5 &= \kappa_5, \\ \beta_6 &= \kappa_6 + 10\kappa_3^2, & \beta_7 &= \kappa_7 + 35\kappa_3\kappa_4, & (2) \\ \beta_8 &= \kappa_8 + 56\kappa_3\kappa_5 + 35\kappa_4^2, \end{aligned}$$

У виразі (2) відмінними від нуля будуть лише інформативні кумулянти, які відповідають заданому класу БГВВ.

Похибка апроксимації щільності розподілу моделями БГВВ може бути представлена як квадратичне відхилення центрованих нормованих щільності ймовірностей [4, 5] виду:

$$\varepsilon_{\theta} = \int_{-\infty}^{\infty} [p(x) - p_{\theta}(x)]^2 dx. \quad (3)$$

Якість підбору відповідного класу моделі БГВВ визначається найменшою розбіжністю між значеннями точності (3) апроксимації щільності реальної випадкової послідовності $p(x)$ різними моделями $p_{\theta}(x)$, в тому числі і гауссівською. Для уніфікації і зручності порівняння точності апроксимації різними моделями БГВВ їх порівнюють не між собою, а з точністю апроксимації вихідного розподілу гауссівською моделлю з щільністю розподілу $p_n(x)$

$$\varepsilon_n = \int_{-\infty}^{\infty} [p(x) - p_n(x)]^2 dx. \quad (4)$$

В цьому випадку, величина:

$$\varepsilon_a = |\varepsilon_{\theta}| / |\varepsilon_n| \quad (5)$$

характеризує наскільки ефективно (при $\varepsilon_a \rightarrow 0$) перфорована модель описує вихідний розподіл в порівнянні з гауссівською моделлю.

Метою роботи є підбір оптимальних моделей БГВВ для апроксимації експериментальних даних різної природи і знаходження кількісних показників якості апроксимації.

Результати. Розглянемо результати апроксимації вибірових даних тривалості життя у світі. Використовуючи статистичні дані

[8] побудуємо гістограму розподілу вибірових значень, а наступним кроком отримаємо емпіричну щільність розподілу шляхом апроксимації гістограми (рис. 1).

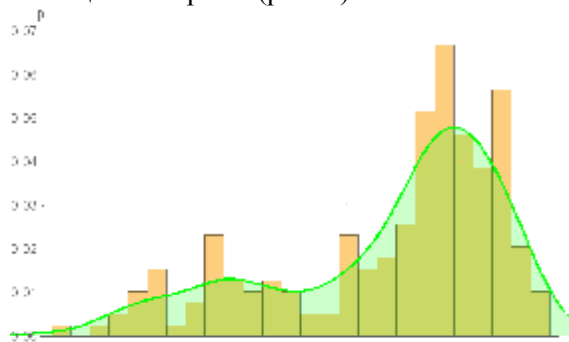


Рис. 1. Графічне представлення емпіричної щільності розподілу тривалості життя

Опишемо вихідну щільність гауссівською моделлю. Для цього необхідно отримати значення математичного сподівання та середньоквадратичне відхилення вибірових значень

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 67,25, \\ \sigma &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} = 11,86. \end{aligned}$$

Використовуючи розраховані дані отримаємо нормальну щільність розподілу для вихідної щільності (рис. 2).

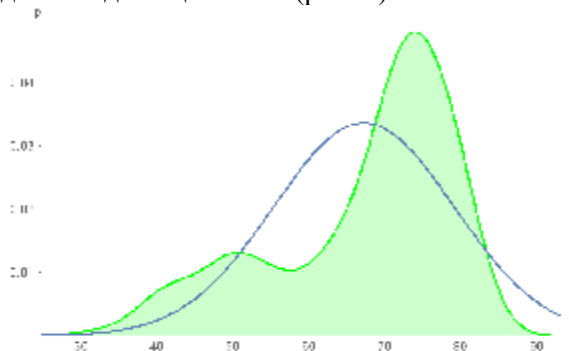


Рис. 2. Гауссівська щільність розподілу на фоні вихідної

З рис. 2 очевидно, що гауссівська модель вкрай незадовільно апроксимує досліджувані статистичні дані.

Перейдемо безпосередньо до апроксимації щільності розподілу моделями БГВВ. Для початку розглянемо представлення розподілу статистичних даних моделлю асиметричної випадкової величини при $s=2$. Застосувавши усічений ряд Еджворта, модель перфо-

рованої випадкової величини матиме щільність розподілу:

$$p_{\gamma_3(2)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x). \quad (6)$$

В позначенні щільності розподілу використовується подвійний індекс, перший вказує на клас перфорованої випадкової величини, а другий вказує на степінь поліному.

Для розрахунку кумулянтних коефіцієнтів застосуємо наступну формулу:

$$\kappa_3 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3 = -1644,56,$$

$$\kappa_4 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4 = 57654,3.$$

Не дивлячись на те, що розраховане значення κ_4 істотно відрізняється від нуля, в аналітичному представленні щільності розподілу цим значенням нехтують у відповідності з вимогами опису вибраної моделі. Після підстановки значень отримаємо щільність розподілу, зображену на рис. 3.

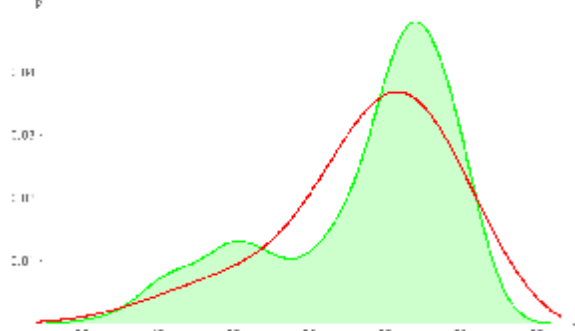


Рис. 3. Щільність розподілу асиметричної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Далі, для побудови апроксимаційної моделі щільності розподілу емпіричних даних застосуємо клас ексцесної випадкової величини при $s=2$, щільність розподілу якої можна представити у вигляді

$$p_{\gamma_4(2)}(x) = p_n(x) + \frac{\kappa_4}{4!} p_n^{(4)}(x). \quad (7)$$

Щільність розподілу ексцесної випадкової величини при $s=2$ виду (7), якою апроксимуються емпіричні дані, представлена на рис. 4. Розглянемо випадок, коли вхідна послідовність апроксимується асиметрично-ексцесною моделлю при $s=2$ (рис. 5) з щільстю розподілу

$$p_{\gamma_3\gamma_4(2)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x) + \frac{\kappa_4}{4!} p_n^{(4)}(x). \quad (8)$$

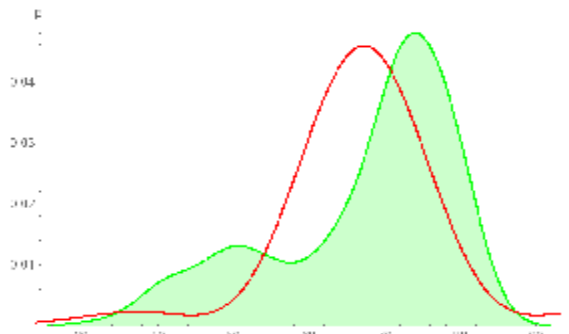


Рис. 4. Щільність розподілу ексцесної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Візуально жоден з розглянутих класів перфорованих величин, не підходить для якісної апроксимації вибірових даних.

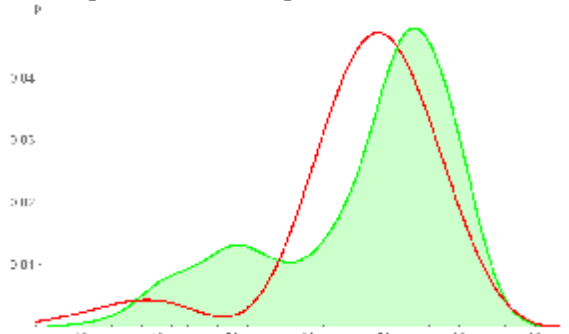


Рис. 5. Щільність розподілу асиметрично-ексцесної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Наступним застосуємо клас асиметричних випадкових величин при $s=3$ для побудови апроксимаційної моделі щільності розподілу:

$$p_{\gamma_3(3)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x) + \frac{10\kappa_3^2}{6!} p_n^{(6)}(x) \quad (9)$$

Порівняно з виразом виду (6) в даному виразі з'явився додатковий доданок, який уточнює модель. Графічне представлення щільності розподілу експериментальних даних і асиметричної випадкової величини при $s=3$ наведено на рис. 6.

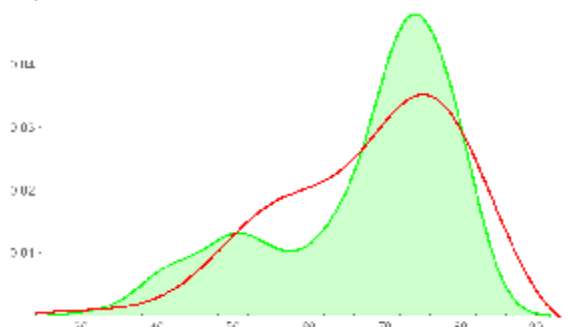


Рис. 6. Щільність розподілу асиметричної моделі при $s=3$ на фоні вихідної

Застосування класу ексцесних випадкових величин при $s=3$ для апроксимації щільності розподілу нічим не відрізняється від випадку $s=2$ і описується функцією (7), яка представлена на рис.4.

Перейдемо до побудови моделі в класі асиметрично-ексцесної випадкової величини при $s=3$

$$p_{\gamma_3\gamma_4(3)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x) + \frac{\kappa_4}{4!} p_n^{(4)}(x) + \frac{10\kappa_3^2}{6!} p_n^{(6)}(x). \quad (10)$$

Графік апроксимації щільності розподілу експериментальних даних асиметрично-ексцесною випадковою величиною має вигляд, представлений на рис. 7.

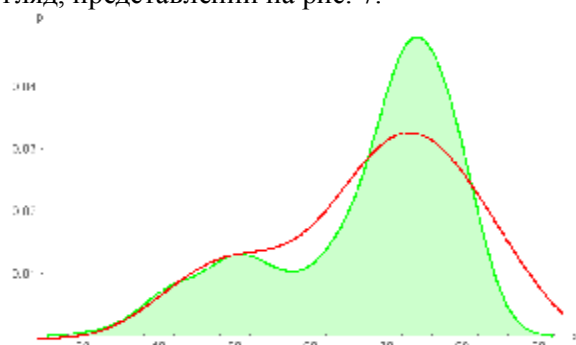


Рис. 7. Щільність розподілу асиметрично-ексцесної моделі при $s=3$ на фоні вихідної

Наступні апроксимації щільності розподілу будуть додатково містити кумулянт п'ятого порядку. Отже, модель асиметричної випадкової величини 2-го типу при $s=3$ описується щільністю розподілу

$$p_{\gamma_3\gamma_5(3)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x) - \frac{\kappa_5}{5!} p_n^{(5)}(x) + \frac{10\kappa_3^2}{6!} p_n^{(6)}(x). \quad (11)$$

Графік щільності розподілу (11) представлений на рис. 8.

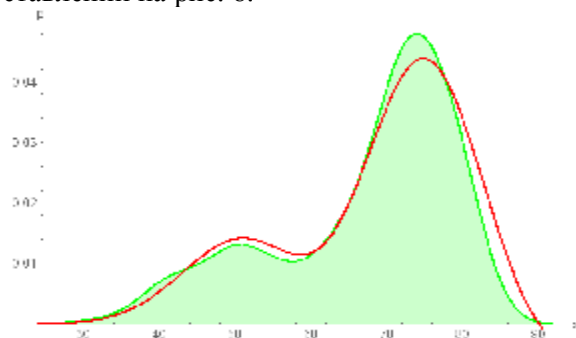


Рис. 8. Щільність розподілу асиметричної моделі 2-го типу при $s=3$ на фоні вихідної

Щільність розподілу асиметрично-ексцесної випадкової величини 3-го типу при $s=3$ представлена на рис. 9 і описується функцією

$$p_{\gamma_3\gamma_4\gamma_5(3)}(x) = p_n(x) - \frac{\kappa_3}{3!} p_n^{(3)}(x) - \frac{\kappa_5}{5!} p_n^{(5)}(x) + \frac{\kappa_4}{4!} p_n^{(4)}(x) + \frac{10\kappa_3^2}{6!} p_n^{(6)}(x) \quad (12)$$

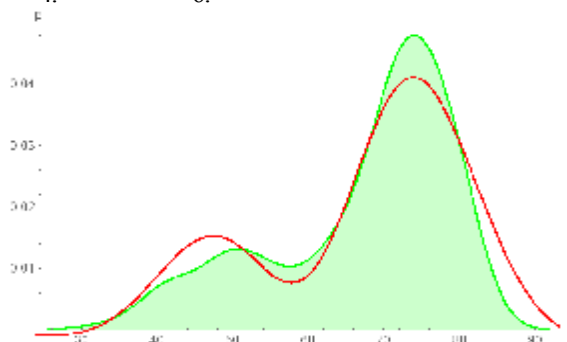


Рис. 9. Щільність розподілу асиметрично-ексцесної 3-го типу моделі при $s=3$ на фоні вихідної

При апроксимації експериментальних даних моделями БГВВ при $s=4$ функції розподілу, отримані на основі усечених рядів Еджворта, мають ділянки, на яких набувають від'ємних значень, тому не можуть розглядатися як функції щільності ймовірності.

Отже для досліджуваної задачі, з аналізу графіків можна зробити висновок, що для опису щільності розподілу вибірових даних тривалості життя у світі моделями БГВВ з різною глибиною перфорації, найкращі результати апроксимації досягаються при використанні асиметричної моделі 2-го типу при $s=3$, представленій функцією (11) на рис. 8, втім для неупередженого прийняття моделі необхідно розрахувати числові характеристики відхилення модельованої щільності від реальної за виразом (3). Маємо, при $s=2$

$$\varepsilon_{\gamma_3(2)} = 9,837 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_{\gamma_4(2,3)} = 12,243 \cdot 10^{-3},$$

$$\varepsilon_{\gamma_3\gamma_4(2)} = 11,632 \cdot 10^{-3},$$

при $s=3$

$$\varepsilon_{\gamma_3(3)} = 8,826 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_{\gamma_3\gamma_4(3)} = 7,947 \cdot 10^{-3},$$

$$\varepsilon_{\gamma_3\gamma_5(3)} = 5,165 \cdot 10^{-3}, \quad \varepsilon_{\gamma_3\gamma_4\gamma_5(3)} = 6,563 \cdot 10^{-3}.$$

Числові дані про похибки апроксимації різними моделями БГВВ підтверджують правильність візуального сприйняття про найкращий варіант підбору перфорованої моделі, а саме моделі, заданої в класі асиметричної

моделі 2-го типу з набором кумулянтних коефіцієнтів γ_3, γ_5 .

Розрахуємо, як перфоровані моделі описують вихідний розподіл в порівнянні з гауссівською моделлю у відсотках:

$$\varepsilon_{a(\gamma)} = \frac{|\varepsilon_n - \varepsilon_\gamma|}{|\varepsilon_n|} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Маємо, при $s=2$

$$\varepsilon_{a(\gamma_3(2))} \approx 33\%, \quad \varepsilon_{a(\gamma_4(2,3))} \approx 17\%,$$

$$\varepsilon_{a(\gamma_3\gamma_4(2))} \approx 21\%,$$

при $s=3$

$$\varepsilon_{a(\gamma_3(3))} \approx 40\%, \quad \varepsilon_{a(\gamma_3\gamma_4(3))} \approx 46\%,$$

$$\varepsilon_{a(\gamma_3\gamma_5(3))} \approx 65\%, \quad \varepsilon_{a(\gamma_3\gamma_4\gamma_5(3))} \approx 56\%.$$

Загалом при $s=3$ точність апроксимації щільності розподілу різними моделями з перфорованим кумулянтним описом зростає порівняно з випадком $s=2$ за рахунок додатково врахування впливу відповідних інформативних кумулянтів. Слід також враховувати, що при збільшенні степені s перфорована модель може призводити до значних спотворень щільності розподілу і як наслідок не може бути використана.

Очевидно що перфорована модель не завжди гарно описує вихідний розподіл, проте можна підібрати оптимальний клас моделей

БГВВ, які забезпечують найменшу похибку апроксимації щільності розподілу.

Для зручності сприйняття оцінки значень похибки і порівняння їх між собою побудуємо табл. 1, дані якої характеризують точність апроксимуючих моделей.

Розглянемо результати апроксимації вибірових даних якості на кондитерському виробництві [9]. По аналогії з розв'язком попередньої задачі побудуємо гістограму розподілу вибірових значень і апроксимуємо її засобами Wolfram Mathematica для отримання емпіричної щільності розподілу (рис. 10).

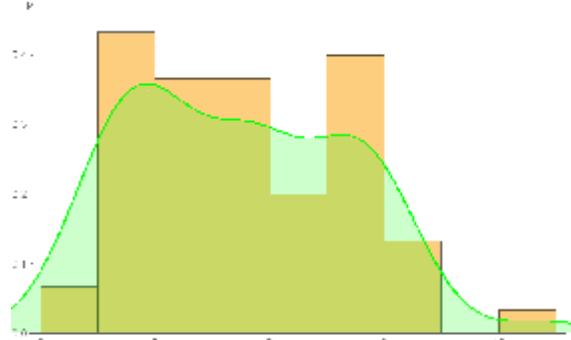


Рис. 10. Графічне представлення емпіричної щільності розподілу якості індексу жирності

Апроксимуємо вихідні дані гауссівською моделлю.

Таблиця 1

Похибки апроксимації статистичних даних моделями БГВВ

Статистичні дані про середню тривалість життя (років) в країнах світу				
	точність апроксимуючих моделей			
Гауссівська апроксимація	14,743·10 ⁻³			
Степінь поліному	s=2		s=3	
Моделі перфорованих випадкових величин	ε _θ	ε _{a(γ)} , %	ε _θ	ε _{a(γ)} , %
Асиметрична 1 типу {γ ₃ }	9,837·10 ⁻³	33	8,826·10 ⁻³	40
Ексцесна 1 типу {γ ₄ }	12,243·10 ⁻³	17	12,243·10 ⁻³	17
Асиметрично-ексцесна 2 типу {γ ₃ , γ ₄ }	11,632·10 ⁻³	21	7,947·10 ⁻³	46
Асиметрична 2 типу {γ ₃ , γ ₅ }			5,165·10 ⁻³	65
Асиметрично-ексцесна 3 типу {γ ₃ , γ ₄ , γ ₅ }			6,563·10 ⁻³	56
Статистичні дані про показники контролю якості на кондитерському виробництві				
	точність апроксимуючих моделей			
Гауссівська апроксимація	3,224·10 ⁻³			
Степінь поліному	s=2			
Моделі перфорованих випадкових величин	ε _θ	ε _{a(γ)} , %		
Асиметрична 1 типу {γ ₃ }	2,963·10 ⁻³	8		
Ексцесна 1 типу {γ ₄ }	0,356·10 ⁻³	89		
Асиметрично-ексцесна 2 типу {γ ₃ , γ ₄ }	0,237·10 ⁻³	93		

Для цього розраховуємо значення математичного сподівання та середньоквадратичне відхилення вибірових даних:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 7,738,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} = 0,96.$$

Використовуючи розраховані значення, будемо апроксимувати гауссівську щільність розподілу (рис. 11).

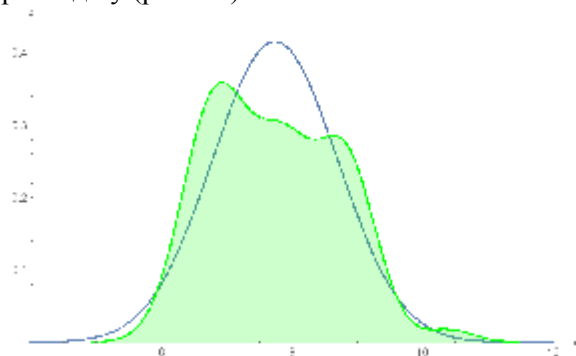


Рис. 11. Гауссівська щільність розподілу на фоні вихідної

Перейдемо до апроксимації статистичних даних про показник контролю якості моделями перфорованих випадкових величин. Використаємо модель асиметричної випадкової величини при $s=2$. Спочатку розраховуємо кумулянтні коефіцієнти:

$$\kappa_3 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3 = 0,302,$$

$$\kappa_4 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4 = 2,017.$$

Використовуючи ряд Еджворта для переходу від кумулянтного опису до опису у вигляді щільності розподілу, отримаємо функцію виду (6), графік якої наведено на рис. 12.

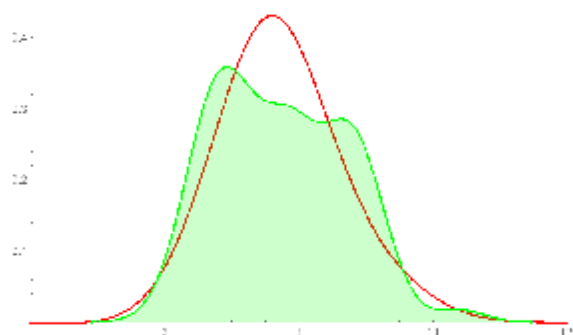


Рис. 12. Щільність розподілу асиметричної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Наступним застосуємо клас ексцесних випадкових величин для апроксимації щільності розподілу, який описується щільністю розподілу виду (7) з кумулянтном 4-го порядку, розрахованим для досліджуваної вибірки (рис. 13).

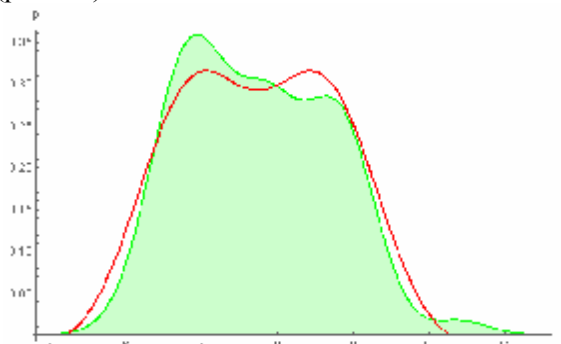


Рис. 13. Щільність розподілу ексцесної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Далі розглянемо апроксимацію асиметрично-ексцесною моделлю при $s=2$, що описується виразом (8), а графік щільності розподілу представлений на рис. 14.

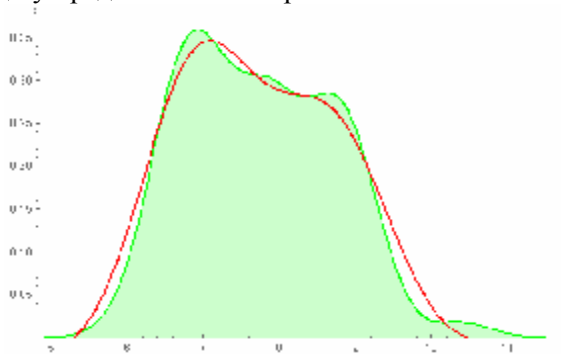


Рис. 14. Щільність розподілу асиметрично-ексцесної моделі при $s=2$ на фоні вихідної

Для кількісної оцінки неузгодженості реального і апроксимуючого розподілів знайдемо числові характеристики відхилення за виразом (3) і зведемо в табл. 1. Також для полегшення інтерпретації результатів в таблиці наведені дані порівняння якості апроксимації моделями БГВВ порівняно з гауссівською моделлю, розраховані по формулі (13).

З графіків, зображених на рис. 12-14, і з даних, наведених у табл. 1, видно, що для статистичних даних показника контролю якості на кондитерському виробництві оптимальною є апроксимація моделлю асиметрично-ексцесної величини при $s=2$. Також непогані результати отримані для ексцесної моделі при $s=2$. Оскільки ексцесна модель має меншу кількість параметрів ніж асиметрично-

ексцесна, а результати апроксимації дуже близькі між собою, то для спрощення подальшої обробки статистичних даних можна використовувати більш просту модель.

Висновки. При використанні різних моделей перфорованих випадкових величин для апроксимації статистичних даних необхідно враховувати емпіричні значення кумулянтів. Врахування великої кількості кумулянтів, як правило, уточнює модель і покращує точність апроксимації, проте одночасно з цим приводить до її ускладнення. При збільшенні глибини перфорації моделі (штучному зануленні кумулянтів вищих порядків до 2s-го порядку) апроксимаційна функція може приймати від'ємні значення і не задовольняє вимогам до щільності ймовірності і як наслідок не може застосовуватися.

При виборі апроксимаційної моделі доцільно керуватися трьома факторами:

- близькістю графічного представлення апроксимаційної функції до емпіричної щільності розподілу;
- найменшою похибкою апроксимації ε_0 або найбільшим виграшем порівняно з гауссівською апроксимацією $\varepsilon_a(\gamma)$;
- при майже однакових результатах точності рекомендується використовувати більш просту модель з меншою кількістю параметрів.

Список літератури

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 3. Обработка сигналов в радио- и гидролокации и прием случайных гауссовских сигналов на фоне помех: пер. с англ., под ред. В. Т. Горяинова. М.: Сов. радио, 1977. 664 с.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 1. М.: Сов. радио, 1969. 752 с.
3. Кунченко Ю. П. Полиномиальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Ч. 1. Стохастические полиномы, их свойства и применение для нахождения оценок параметров. Черкассы: ЧИТИ, 2001. 133 с.
4. Гавриш О. С., Заболотний С. В., Бурдукова Е. В., Иващенко А. А. Критерий аппроксимации статистических данных моделями на основе перфорированного кумулянтного описания. *Обробка сигналів і не-*

гауссівських процесів: тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси: ЧДТУ, 2015. С. 14–17.

5. Берегун В. С., Берегун В. С., Красильников О. І. Апроксимативні методи знаходження щільності імовірностей. *Електроніка і зв'язь*. 2010. № 4 (57). С. 51–55.
6. Заболотний С. В., Чепинога А. В. Апроксимація емпіричних розподілів поліноміальних статистик полігаусовими моделями. *Новітні технології в телекомунікаціях*: тези V Міжнар. наук.-техн. симпозіуму. К.: ДУІКТ, 2012. С. 86–88.
7. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ негауссовских случайных процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
8. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_life_expectancy – List of countries by life expectancy
9. <http://www.statistica.ru/local-portals/industry-analytics/example/1558/> – Контроль качества на кондитерском производстве.

References

1. Van Tris, G. (1977) The theory of detection, estimates and modulation, in Goryainov, V. T. (ed.). Vol. 3. Signal processing in radar and sonar and the reception of random Gaussian signals against interference. Moscow: Sov. radio, 664 p. [in Russian].
2. Levin, B. R. (1969) Theoretical foundations of statistical radio engineering. Book 1. Moscow: Sov. radio, 752 p. [in Russian].
3. Kunchenko, Yu. P. (2001) Polynomial estimates of parameters of close to Gaussian random variables. Part 1. Stochastic polynomials, their properties and applications to find parameters estimates. Cherkassy: ChITI, 133 p. [in Russian].
4. Havrysh, O. S., Zabolotnii, S. V., Burduкова, O. V., Ivashchenko, A. A. (2015) The criterion of approximation of statistical data by models based on perforated cumulant description. *Obrobka syhnaliv i nehaus-sivskyh procesiv*: theses of the V international scientific-practical conference. Cherkassy: ChDTU, pp. 14–17 [in Russian].
5. Berehun, V. S., Berehun, V. S., Krasyl-nikov, O. I. (2010) Approximation methods of finding probability density. *E'lektronika i svyaz'*, 4 (57), pp. 51–55 [in Ukrainian].

6. Zabolotnii, S. V., Chepynoha, A. V. (2012) Approximation of empirical distributions of polynomial statistics polygaussian models. *Novitni tehnologiyi v telekomunikatsiyah: theses of the V international scientific and technical symposium*. Kiev, pp. 86–88 [in Ukrainian].
7. Malahov, A. N. (1978) Non-Gaussian cumulant analysis of random processes and their transformations. Moscow: Sov. radio, 376 p. [in Russian].
8. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_life_expectancy – The list of countries by life expectancy.
9. <http://www.statistica.ru/local-portals/industry-analytics/example/1558/> – Quality control at confectionery.

O. V. Burdukova, Ph.D.,
Yu. G. Lega, Dr.Tech.Sc., professor,
O. S. Havrysh, Ph.D., associate professor,
T. V. Vorobkalo, Ph.D., associate professor,
A. O. Ivashchenko, Ph.D.
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL DATA DISTRIBUTION BY CLOSE TO GAUSSIAN RANDOM VARIABLE MODELS

In the paper analytic expressions of approximating functions on the basis of models with perforated cumulant description are obtained.

Densities of the distribution of various models, close to the Gaussian random variables, are built, the comparison with empirical distribution density is made and the value of approximation errors for each model class is found. It is shown that the models based on perforated cumulant description are an effective tool for approximating real statistical data of different nature.

Keywords: *approximation, number of Edgeworth, cumulant coefficients, close to the Gaussian random variables, perforation of cumulant description.*

Статтю представляє Ю. Г. Лега, д.т.н., професор

УДК 66.067

І. А. Козоріз, аспірант,
e-mail: Irochka1991@ukr.net

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,
завідувач кафедри хімічних технологій та водоочищення,
e-mail: radikal@ukr.net

Б. І. Тупицький, спеціаліст кафедри хімічних технологій та водоочищення
e-mail: bogdan.tupitskiy@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ОЧИЩЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ

Якість водних ресурсів з кожним роком все більше погіршується, тому очищення водних ресурсів є актуальним питанням та пріоритетним напрямком практично всіх європейських країн. Для своїх потреб людина використовує не тільки поверхневі, але й підземні води. Раніше підземні води вважалися найбільш чистими, але нині, в результаті господарської діяльності, вони також піддаються забрудненню і потребують очищення.

В статті розглянуто методи очищення підземних вод, їх переваги і недоліки.

Проведено дослідження ефективності очищення підземних вод методом електроактивації, а також визначено залежності параметрів електрохімічного впливу на склад підземних вод. Отримано графічні залежності ступеня очищення підземних вод від різних параметрів (сили струму, напруги, відстані між електродами, часу проведення електроактивації, об'єму відбору проб аноліту в процесі електроактивації), проведено їх аналіз та зроблено висновки щодо використання процесу електрохімічної активації для очищення підземних вод у промисловості.

Ключові слова: підземні води, електроактивація, ступінь очищення, очищення води, електроактиватор.

Постановка проблеми. «Чистая вода – больший дефицит, чем энергия. У нас есть альтернативные источники энергии, но альтернативы воды нет» – Ю. Одум. І хоча вода – найбільш поширена неорганічна сполука і відноситься до невичерпних ресурсів, однак вона піддається значним змінам в процесі техногенезу, а при значному забрудненні можливе вичерпання цього життєво необхідного ресурсу. Уже сьогодні 700 млн людей, які живуть в 43 країнах світу, страждають від постійного дефіциту води, а понад 900 млн осіб не мають доступу до джерел чистої, питної води [1]. Тому очистка води є однією з найактуальніших проблем сьогодення.

Для своїх потреб людина широко використовує не тільки поверхневі, але й підземні води. Підземні води є дуже важливим джерелом прісної води, що складає 97 % доступних запасів прісної води в світі. Близько двох мільярдів людей у світі залежать від підземних вод для побутових потреб. Раніше ці води вважалися найбільш чистими, але в даний час в результаті господарської діяльності багато

джерел підземної води також піддаються забрудненню. Основними джерелами забруднення є недостатньо очищені чи взагалі неочищені стічні води промислових і комунальних підприємств, відходи виробництва при розробці рудних копалин, гідроенергетичному будівництві, води шахт, рудників, пестициди, токсичні хімічні речовини з підземних резервуарів-сховищ і дірявих звалищ і т.д. [2]. Нерідко це забруднення настільки велике, що вода у них стала непридатною для пиття. Тому підземні води не менше поверхневих чи стічних потребують попередньої очистки перед їх споживанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До теперішнього часу більшість наукових і експериментальних робіт в сфері очищення підземних вод були направлені на первинне їх очищення – освітлення, знезараження, демінералізацію і нейтралізацію. Очищення підземних вод звичайно проводиться механічними, хімічними, фізичними, електрохімічними і біологічними методами [3, 4].

Оскільки основними забруднювачами більшості підземних вод є їх висока мінералізація та наднормова твердість води [5], то надалі розглянемо методи, що застосовуються для де мінералізації води.

У публікаціях [6, 7, 8] розглядаються реагентні методи очищення високомінералізованих вод, що мають хороші результати, однак необхідно враховувати такі значні недоліки, як необхідність детального підбирання реагентів для різного ступеня забруднення вод, значна вартість хімічних реагентів та можливість вторинного забруднення катіонами та аніонами солей внаслідок використання хімічних реагентів.

Пропонується також очищення високомінералізованих підземних вод мембранними методами, зокрема, зворотнім осмосом [9]. Результати показують, що даний метод очищення забезпечує необхідну якість очищеної води незалежно від перепадів складу вихідної підземної води. Застосування мембран гарантує високу якість очищеної води, крім того, мембранні установки відрізняються компактністю, простотою конструкції і експлуатації [10]. Однак, досвід використання мембранної установки для очищення підземної води показав, що використання зворотного осмосу потребує проведення ретельного і ефективного попереднього очищення для запобігання небезпеки утворення осаду на мембранах і швидкого їх зносу [9]. Крім того, було встановлено, що зворотньоосмотичні мембрани погано затримують сульфат-іони, тому не є цілком придатним для підземних вод із високим вмістом сульфатів.

Впродовж останніх років набувають поширення електрохімічні методи очищення високомінералізованих вод. Зокрема, пропонується метод очищення високомінералізованих вод електродіалізом [11, 12]. З даних досліджень видно, що метод електродіалізу забезпечує ефективне очищення води від хлоридів та сульфатів при ефективному її пом'якшенні, що даний метод можна застосовувати для демінералізації вод із солевмістом до 12000 мг/л, при чому ступінь очищення води становить до 94 %, після чого для кінцевого доочищення воду можна направляти на установку зворотного осмосу. Однак, основним недоліком електродіалізного методу є концентраційна поляризація, що призводить до осадження солей на поверхні мембран і зниженню показників очищення, крім того,

забезпечення невеликої продуктивності по воді, що очищається (до 50 м³/год), вимагає значних капітальних затрат на будівництво електродіалізової установки [13, 14].

Оскільки електродіаліз відноситься до мембранних методів знесолення, він, так само як і зворотний осмос, потребує надійної попередньої підготовки води. Для збереження основної переваги електродіалізу і зворотного осмосу, як безреагентних методів, попередня підготовка в принципі також має здійснюватись без зовнішніх хімічних реагентів. В цьому сенсі перспективні електрохімічні (електроокиснення, електрохімічне пом'якшення, електрокоагуляція) методи [10].

Особливо активно привертає до себе увагу метод електроактивації, що заснований на використанні електродіалізу і електролізу на початковій його стадії, і реалізується в апаратах діафрагмового електролізу. Його головною відмінністю є те, що пом'якшена вода утворюється в катодній і анодній камерах, що дозволяє збільшити продуктивність установок [14].

Вже відомо багато побутових електроактиваторів, які широко застосовуються для побутового доочищення питної води [13].

У [15] розглядається застосування мембранного електролізу для очищення мінералізованих стічних вод, що містять сульфати, з якого видно, що позитивним моментом даного методу є те, що окрім демінералізації можливе також отримання лугів та кислот.

З [16] можна зробити висновок, що проведені дослідження зміни хімічного складу в процесі електроактивації дозволяють вважати доцільним застосування даного методу для часткового знесолення води в схемах попереднього очищення перед іонним обміном, перед фільтрами пом'якшення в схемах підготовки води котлів середнього тиску, паро перетворювачів установок підживлення тепломереж.

З проаналізованих даних можна зробити висновок, що цілком можливе застосування методу електроактивації, в якості попередньої очистки, для очищення високо мінералізованих підземних вод.

Метою даної роботи є – дослідження ефективності очищення підземних вод методом електроактивації, а також визначення залежності параметрів електрохімічного впливу на склад підземних вод.

В даній роботі розглядаються варіанти первинної підготовки технічної води для оборотного водопостачання підприємств, а також підготовка води для подальшої демінералізації мембранними методами.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження було взяту підземну воду та визначено початковий склад цієї води, потім проведено її первинне очищення методом хімічної електроактивації. Після проведення дослідів було повторно визначено склад води. Під час проведення дослідів аналіз води здійс-

нювали наступними методами: загальну твердість води визначали комплексометричним методом згідно ГОСТ 4151-72; для визначення хлоридів у досліджуваній воді був застосований аргентометричний метод визначення по Мору відповідно до ДСТУ ISO 9297:2007; сухий залишок визначали гравіметричним методом згідно ГОСТ 18164-72; вміст сульфатів визначали турбідиметричним методом згідно ГОСТ 4389-72, та визначення pH проводилося потенціометричним методом. Отримані дані були зведені у табл. 1.

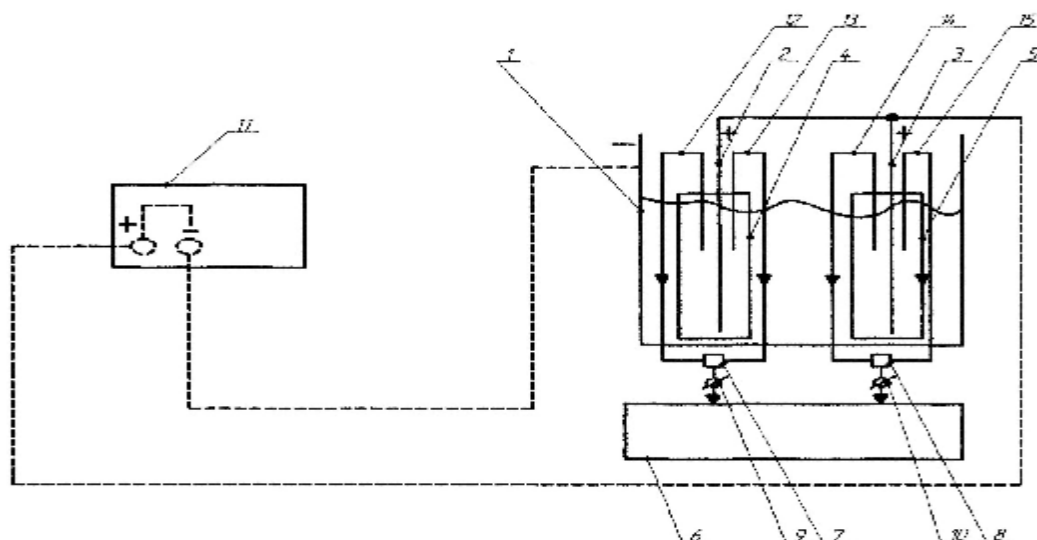
Таблиця 1

Результати первинної очистки підземної води методом електроактивації

Найменування показника якості води	Результати дослідження		
	Вихідна вода	Після очищення методом електроактивації	Ступінь очищення, %
Сухий залишок, мг/дм ³	9806	4665	52,4
Сульфати, мг/дм ³	450	270	40
Хлориди, мг/дм ³	2958	700	76,3
Загальна твердість, мг/дм ³	43,8	20,5	53,2

На рис. 1 зображена лабораторна електроактиваторна установка для очистки підземної води. Перед подачею досліджуваної води на установку, її було попередньо профільтровано через паперовий фільтр для очищення від грубодисперсних завислих речовин.

В процесі хімічної електроактивації змінювали різні параметри: силу струму (I, А), напругу (U, В), час (t, с), об'єм відбору аноліту (V, дм³), а також відстань між електродами (L, мм).

**Рис. 1. Схема лабораторної установки для очистки води методом електроактивації.**

- 1 – корпус електроактиватора (катод); 2, 3 – електроди (аноди); 4, 5 – брезентові мішки для електродів;
6 – ємність для аноліту; 7, 8 – насоси; 9, 10 – крани для відбору аноліту; 11 – блок живлення;
12, 13, 14, 15 – патрубки для відбору аноліту

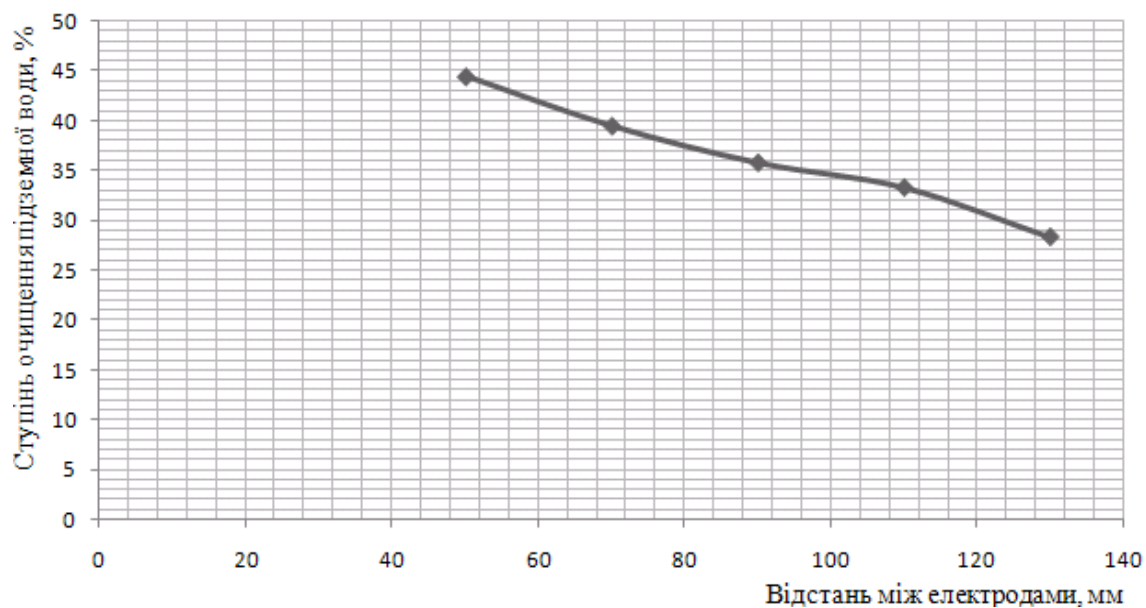


Рис. 2. Графік залежності ступеня очищення підземних вод від відстані між електродами в процесі електроактивації

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

$$y = 30.859375 + 1.2952083x - 0.033x^2 + 0.00029791667x^3 + \dots$$

$$e = -9.375e^{-007}$$



Рис. 3. Графік залежності ступеня очищення підземних вод від напруги в процесі електроактивації.

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

$$y = -1246.7 + 370.04617x - 39.927083x^2 + 1.9083333x^3 + \dots$$

$$e = -0.033854167$$

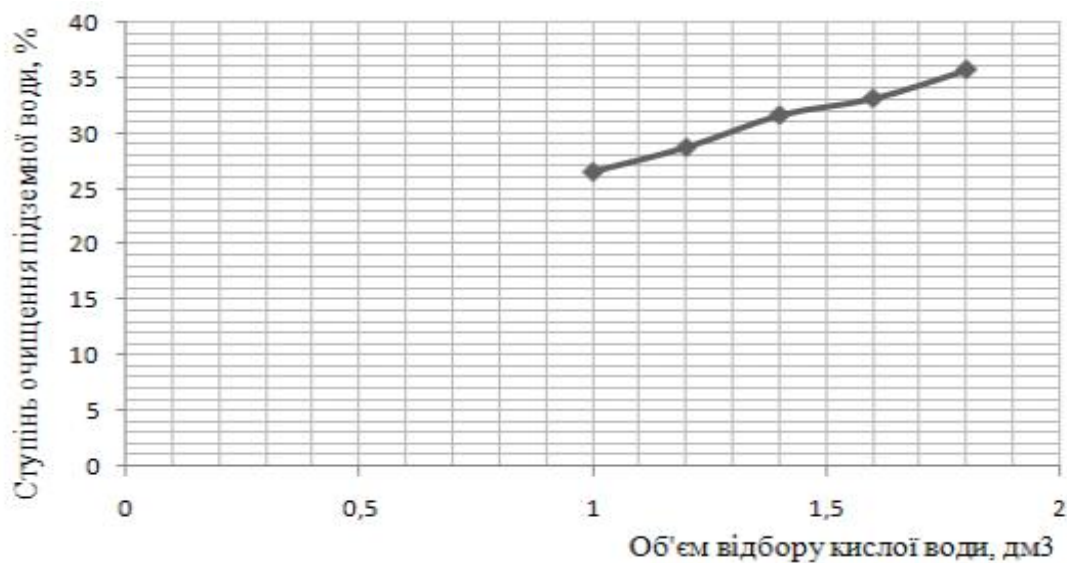


Рис. 4. Графік залежності ступеня очищення підземних вод від об'єму відбору проби аноліту в процесі електроактивації

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

$$y = 421.6 + -1217.0833x + 1368.9583x^2 + -666.66667x^3 + \dots$$

$$e = 119.79167$$

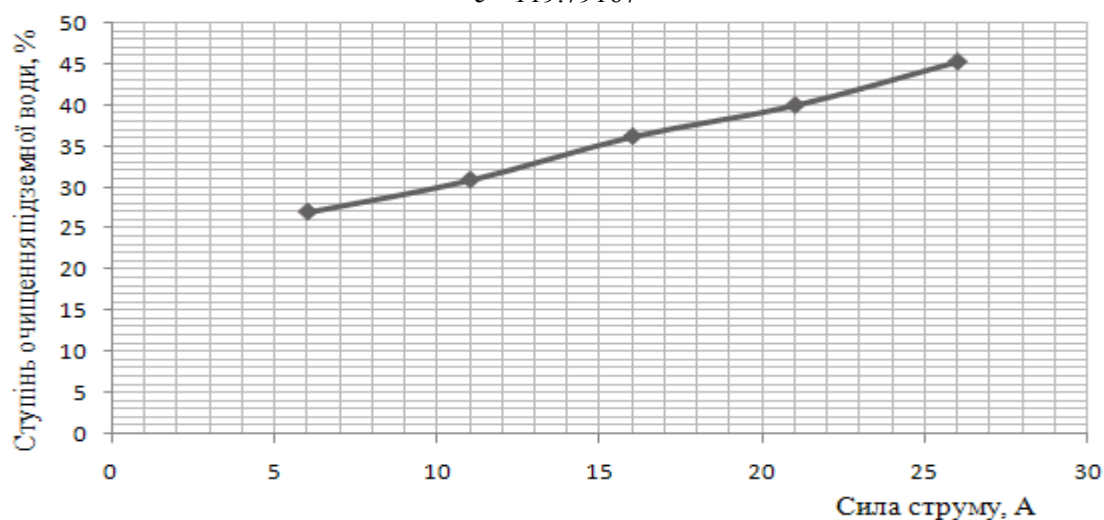


Рис. 5. Графік залежності ступеня очищення підземних вод від сили струму в процесі електроактивації

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

$$y = 36.97376 + -4.2101733x + 0.56112667x^2 + -0.025106667x^3 + \dots$$

$$e = 0.00039333333$$

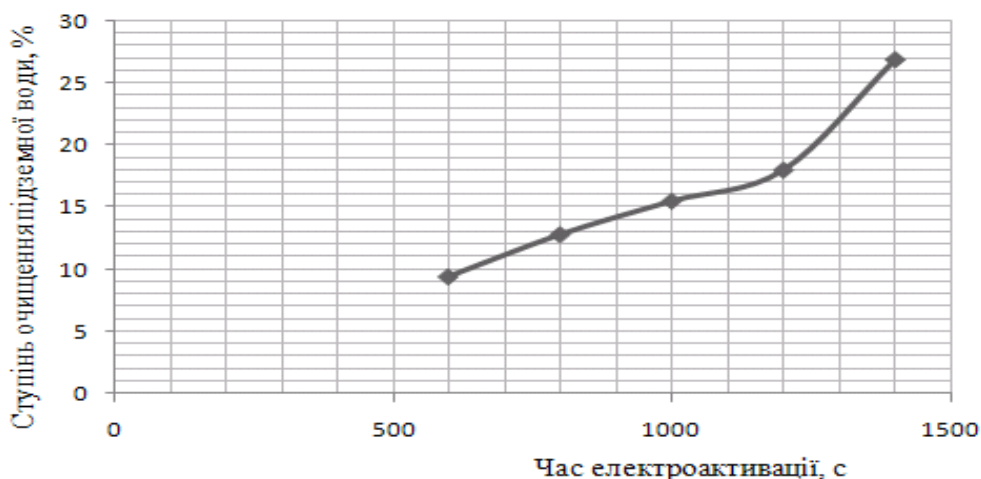


Рис. 6. Графік залежності ступеня очищення підземних вод від часу проведення електроактивації

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

$$y = 81.5 + -0.38579167x + 0.0072239583x^2 + -5.6145833e^{-007}x^3 + \dots$$

$$e = 1.5885417e^{-010}$$

Висновки. Проведення аналізу одержаних графічних залежностей показало, що найбільший вплив на показник ступеня очищення чинить підвищення значення параметру напруги, – оскільки при найменшій застосованій нами напрузі 10 В - ступінь очищення становить 30,8%, а при максимально застосованій нами напрузі 18 В – 53,2%. Найменший вплив чинить показник часу проведення електроактивації. Оскільки при напрузі в 12 В та тривалості процесу ступінь очищення становив лише 26,9%, що майже в два рази менше, ніж ступінь очищення води, отриманий при застосованій напрузі 18 В та часу 600 с, а саме – 53,2%. Таким чином, використання електрохімічної активації для очищення підземних вод є досить ефективним і впровадження її в технологічну схему очистки підземних вод є цілком можливим. Використання стадії електроактивації, як методу підготовки технічної води, або стадії первинної демінералізації і знезаражування перед установкою зворотного осмосу, технологічно вигідно, оскільки він: не потребує великих виробничих площ і є простим в експлуатації; не потребує використання реагентів і не збільшує сольовий склад води, як це відбувається при їх використанні. Як показали дослідження, при використанні даного методу можна досягти ступеня очищення води близько 50%, що дозволить зменшити біообростання та утворення осаду на мембра-

нах, завдяки чому збільшується їх продуктивність та тривалість використання.

Список літератури

1. Пашков А. П. Екологічна безпека України. *Безпека життєдіяльності*. 2011. № 4. С. 10–16.
2. Зекцер И. С. Подземные воды как компонент окружающей среды. Москва, 2001. 328 с.
3. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ. 2005. 671 с.
4. Evan K. Nyer. Groundwater treatment technology. New York, United States, 2009. 432 p.
5. Стан підземних вод України: щорічник. Київ: Державна служба геології та надр України, Державний інформаційний геологічний фонд України, 2014. 125 с.
6. Мясников И. Н., Потанина В. А. Очистка минерализованных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2003. № 2. С. 25–26, 40.
7. Трус И. Н., Гомеля Н. Д., Грабитченко В. Н., Воробьева В. И. Использование реагентных методов для очистки высокоминерализованных шахтных вод. *Грани науки – 2015: сборник 4-й Всеросс. интернет-конф.* С. 259.

8. Шаблій Т. А., Макаренко И. Н., Голтвяницкая Е. В. Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. № 1. С. 53–58.
9. Олейник Т. П., Маковецкая Е. А. Современные технологии очистки подземных вод Одесской области. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 64. С. 191–197.
10. Дорофеева Л. И. Разделение и очистка веществ мембранными, обменными и электрохимическими методами. Томск, 2008. 111 с.
11. Кофанов А. Е., Царалунга А. С. Очистка минерализованных шахтных вод. *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов молодых ученых и студентов 9-й Междунар. конф., 29-31 октября 2013 г. Минск: БНТУ, 2013. С. 91–93.*
12. Гомеля М. Д., Трус І. М., Шаблій Т. О. Електродіалізне опріснення розчинів з високим вмістом іонів жорсткості. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2014. № 1 (71). С. 51–56.
13. Лепеш Г. В., Грицай Е. И., Хотулев В. А. Исследование сущности электрохимического процесса, как технологической составляющей очистки воды. *НИИТТС, Технично-технологические проблемы сервиса*. 2013. № 2 (24). С. 42–49.
14. Лаптев А. Г. Энерго- и ресурсосберегающие технологии и аппараты очистки жидкостей в нефтехимии и энергетике. Казань. 2012. 410 с.
15. Муратова Е. Н. Применение мембранного электролиза для очистки минерализованных сточных вод. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Харьков: НТУ "ХПИ". 2011. № 59. С. 39–42.
16. Шинкевич Е. О., Демидова Ю. М., Лаптев А. Г. Исследование интенсификации процесса умягчения воды в электрохимических ячейках диафрагменного электролизера в системах водоподготовки на малых объектах теплоэнергетики. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2009. № 5–6. С. 97–101.

References

1. Pashkov, A. P. (2011) Ecological safety of Ukraine. *Bezpeka zhyttyediyalnosti*, No. 4, pp. 10–16 [in Ukrainian].
2. Zektser, I. S. (2001) Underground waters as an environment component. Moscow, 328 p. [in Russian].
3. Zapolskyi, A. K. (2005) Water-supply, water disposal and water quality. Kyiv, 671 p. [in Ukrainian].
4. Evan, K. Nyer (2009) Groundwater treatment technology. New York, United States, 432 p.
5. State of groundwater of Ukraine: yearbook (2014). Kyiv: Derzhavna sluzhba heolohiyi ta nadr Ukrayiny, Derzhavnyy informaciy-nyy heolohichnyy fond Ukrayiny, 125 p. [in Ukrainian].
6. Miasnikov, I. N., Potanina, V. A. (2003) Purification of mineralized water for domestic and drinking water supply. *Vodos-nabzheniye i sanitarnaya tehnika*, No. 2, pp. 25–26, 40 [in Russian].
7. Trus, I. N., Gomelia, N. D., Grabitchenko, V. N., Vorobyeva, V. I. (2015) The use of reagent methods for the purification of highly mineralized mine water. *Grani nauki – 2015: Proceedings of the 4th All-Russian Internet Conf.* Kazan, p. 259 [in Russian].
8. Shablyi, T. A., Makarenko, I. N., Goltvianyskaia, E. V. (2010) Development of effective water softening technology for industrial water consumption. *Energotehnologiyi i resursosberezheniye*, No. 1, pp. 53–58 [in Russian].
9. Oleinyk, T. P., Makovetskaia, E. A. (2016) Modern technologies of groundwater cleaning in the Odessa region. *Visnyk Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arhitektury*, No. 64, pp. 191–197 [in Russian].
10. Dorofeeva, L. Y. (2008) Separation and purification of substances by membrane, exchange and electrochemical methods. Tomsk. 111 p. [in Russian].
11. Kofanov, A. E., Tsaralunha, A. S. (2013) The purification of mineralized mine water. *Sotsialno-ekonomicheskiye i ekologicheskkiye problemy gornoy promyshlennosti, stroyitelstva i energetiki: Proceedings of the 9th International Conf., 29-31 October*. Minsk: BNTU, pp. 91–93 [in Russian].

12. Homelia, M. D., Trus, I. M., Shablii, T. O. (2014) Desalination solutions with a high content of hardness ions by the electrodialysis method. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu*, No. 1 (71), pp. 51–56 [in Ukrainian].
13. Lepesh, G. V., Gritsai, E. I., Khotulev, V. A. (2013) Investigation of the essence of electrochemical process as a technological component of water purification. *NIITTS, Tehniko-tehnologicheskiye problemy servisa*, No. 2 (24), pp. 42–49 [in Russian].
14. Laptev, A. G. (2012) Energy and resource-saving technologies and devices for cleaning liquids in petrochemical and power engineering. Kazan, 410 p. [in Russian].
15. Muratova, E. N. (2011) Application of membrane electrolysis for the purification of mineralized wastewater. *Vestnik NTU "KhPI"*, No. 59, pp. 39–42 [in Russian].
16. Shynkevich, E. O., Demidova, Yu. M., Laptev, A. G. (2009) Investigation of the intensification of water softening in electrochemical cells of the diaphragm electrolyzer in water treatment systems at small heat power facilities. *Izvestiya vysshyh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*, No. 5–6, pp. 97–101 [in Russian].

I. A. Kozoriz, postgraduate student,
e-mail: Irochka1991@ukr.net

G. S. Stolyarenko, D. Sc., professor, the head of the department
of chemical technologies and water purification,
e-mail: radikal@ukr.net

B. I. Tupytskyi, master of the department
of chemical technologies and water purification,
e-mail: bogdan.tupitskiy@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine

UNDERGROUND WATER TREATMENT BY ELECTROACTIVATION METHOD

The quality of water resources gets worse every year, that's why the water resources treatment is an actual issue and a priority direction almost of all European countries. Humans use widely both surface and underground water for their needs. Previously, underground water was considered to be the purest one, but now, as a result of economic activities, it is also the subject of contamination and needs pre-treatment before consumption.

The article discusses methods of underground water treatment, their advantages and disadvantages.

The research of the efficiency of underground water treatment by electroactivation method has been performed as well as determination of dependence of electrochemical effect parameters on the groundwater. Graphic dependencies of the groundwater treatment rate of various options (the distance between electrodes, voltage, current, time, volume of anolyte during the process of electroactivation) were received/ The analysis of these dependencies was performed and conclusions about using electrochemical activation process for groundwater treatment in the industry were made.

Keywords: groundwater, electroactivation, purification rate, water treatment, electroactivator.

Статтю представляє Г. С. Столяренко, д.т.н., професор.

О. Н. Петрищев¹, д.т.н., профессор,
К. В. Базило², к.т.н., доцент

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина

²Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, Черкасы, 18006, Украина

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИСКОВЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕКТОРНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Пьезоэлектрические диски с секторным электродированием поверхности являются практически основным элементом многих микроэлектромеханических систем. Однако в настоящее время отсутствуют надежные и достоверные методики построения математических моделей пьезоэлектрических устройств, которые могли бы использоваться в качестве теоретических основ расчета характеристик и параметров этого класса функциональных элементов современной пьезоэлектроники. В результате исследования математической модели реального устройства можно определить тот набор геометрических, физико-механических и электрических параметров реального объекта, который обеспечивает реализацию технических показателей функционального элемента пьезоэлектроники оговоренных в техническом задании. Это существенно сокращает время и стоимость разработки новых функциональных элементов пьезоэлектроники.

Основной результат настоящей статьи можно зафиксировать следующим образом: предложена совокупность вычислительных процедур, опирающихся на фундаментальные принципы механики и электродинамики, последовательное выполнение которых позволяет построить математическую модель дискового пьезоэлектрического трансформатора с секторными электродами в первичной и вторичной электрических цепях. Впервые предложена схема построения математической модели, которая позволяет естественным образом учесть весь набор геометрических, физико-механических и электрических параметров реальной конструкции пьезоэлектрического трансформатора.

Ключевые слова: пьезоэлектрический трансформатор, физические процессы, математическая модель, секторные электроды.

Введение. Пьезоэлектрические диски с частичным электродированием одной или двух поверхностей достаточно часто используются для создания различных функциональных устройств пьезоэлектроники [1]. Диски с секторным электродированием поверхности являются практически основным элементом многих микроэлектромеханических систем [2]. Множественность и многообразие практического применения дисков с секторным электродированием естественным образом стимулирует теоретические исследования, целью которых является прогнозирование характеристик и технических параметров устройств пьезоэлектроники, которые создаются на их основе. Прогноз осуществляется на основании математической модели, которая является основным результатом теоретического описания реального устройства.

Практическая значимость адекватной реальному объекту математической модели очевидна. В результате исследования математической модели реального устройства можно определить тот набор геометрических, физико-механических и электрических параметров реального объекта, который обеспечивает реализацию технических показателей функционального элемента пьезоэлектроники оговоренных в техническом задании. Это существенно сокращает время и стоимость разработки новых функциональных элементов пьезоэлектроники. Стоимость сэкономленных ресурсов составляет коммерческую цену математической модели.

В тонких пьезоэлектрических дисках с разрезными электродами возникают неосе-

симметричные упругие колебания. Теоретические и экспериментальные исследования кинематических характеристик неосесимметричных планарных колебаний в пьезоэлектрических тонких дисках вообще и в дисках с частичным электродированием одной или двух поверхностей в частности начались во второй половине двадцатого века. Результаты этих работ в известной мере обобщены в монографии [3]. В настоящее время продолжают публиковаться работы [4-6], в которых рассматриваются различные аспекты теории неосесимметричных планарных колебаний в тонких пьезоэлектрических дисках. Упомянутые выше работы объединяет, если так можно сказать, кинематический подход к описанию неосесимметричных колебаний, т. е. подход который учитывает сам факт отсутствия осевой симметрии (ряд по тригонометрическим $\cos m\varphi$ или $\sin m\varphi$, где $m=1,2,3,\dots$; φ – окружная координата цилиндрической системы координат), но не принимаются во внимание реальные условия возбуждения и существования этих колебаний. Так, в монографии [3] при построении теории планарных неосесимметричных колебаний в тонком пьезокерамическом диске было неправомерно использовано представление Гельмгольца вектора смещения материальных частиц колеблющегося пьезокерамического диска через скалярный и векторный потенциалы. Неправомерность заключается в том, что в анизотропных упругих средах представление Гельмгольца не приводит к распаду уравнения движения на два уравнения Гельмгольца относительно скалярного и векторного потенциалов. Скалярный и векторный потенциалы в монографии [3] записаны как решения соответствующих уравнений Гельмгольца. Последнее приводит к выражениям для расчета компонентов вектора смещения материальных частиц пьезокерамического диска, в которых присутствуют цилиндрические функции целочисленных порядков, что не соответствует реальному положению вещей. Следует также отметить, что во всех работах не рассматривается и не учитывается реальное электрическое состояние элементов объема пьезокерамического диска под различными электродами, что исключает саму возможность использования публикуемых теоретических построений в качестве методики расчета передаточных характеристик функциональных элементов пьезоэлектроники на основе дисков с разрезными электродами.

Сказанного выше вполне достаточно для вывода о том, что в настоящее время отсутствуют математические модели дисковых пьезокерамических элементов с частичным электродированием одной или двух поверхностей, которые в достаточной мере адекватны реальным объектам.

Целью настоящей статьи является изложение принципов и методов построения математических моделей дисковых пьезокерамических трансформаторов с разрезными электродами.

1. Схема построения математической модели дискового пьезоэлектрического трансформатора с секторными электродами

Рассмотрим диск из поляризованной по толщине пьезокерамики типа ЦТС. Материал диска имеет плотность ρ_0 , модули упругости $c_{\beta\lambda}^E$ (β и λ – индексы Фойгта [7]), пьезоэлектрические модули $e_{k\beta}$ ($k=1,2,3$) и диэлектрические проницаемости χ_{ij}^e ($i,j=1,2,3$). Матрицы материальных констант пьезокерамики записываются в следующем виде:

$$\|c_{\beta\lambda}^E\| = \begin{vmatrix} c_{11}^E & c_{12}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ & c_{22}^E & c_{23}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & c_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & & c_{44}^E & 0 & 0 \\ & & & & c_{55}^E & 0 \\ & & & & & c_{66}^E \end{vmatrix}, \quad (1)$$

$$\|e_{k\beta}\| = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & e_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{24} & 0 & 0 \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

$$\|\chi_{ij}^e\| = \begin{vmatrix} \chi_{11}^e & 0 & 0 \\ & \chi_{22}^e & 0 \\ & & \chi_{33}^e \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Элементы матрицы (1) соотносятся между собой следующим образом: $c_{11}^E = c_{22}^E \neq c_{33}^E$; $c_{12}^E = c_{13}^E = c_{23}^E$; $c_{44}^E = c_{55}^E$; $c_{66}^E = (c_{11}^E - c_{12}^E)/2$. Между элементами матрицы пьезоэлектрических модулей имеются следующие количественные соотношения: $e_{15} = e_{24}$; $e_{31} = e_{32} \neq e_{33}$, причем, как показано в монографии [7], $e_{15} = (e_{33} - e_{31})/2$. Для поляризованной по толщине диска пьезокерамики диэлектрические проницаемости χ_{ij}^e соотносятся между собой следующим образом: $\chi_{11}^e = \chi_{22}^e \neq \chi_{33}^e$.

Будем полагать, что пьезоэлектрический диск не имеет механических контактов с другими материальными объектами, т. е. удерживается в пространстве гибкими и невесомыми нитями. Это позволяет говорить, что диск не испытывает реакции со стороны окружающей среды, т. е. фактически находится в вакууме.

Нижняя поверхность диска $z = 0$ (z – координатная линия цилиндрической системы координат (ρ, φ, z) , сопряженная с осью x_3 правой декартовой системы координат (x_1, x_2, x_3) (рис. 1)) покрыта тонким слоем металла и заземлена, т. е. в любой момент времени её электрический потенциал равен нулю. Верхняя поверхность $z = \alpha$ диска покрывается двумя секторными электродами (позиции 1 и 2 на рис. 1). Секторные электроды 1 и 2 разделяет неэлектропроводящий зазор, ширина которого существенно меньше толщины α пьезоэлектрического диска.

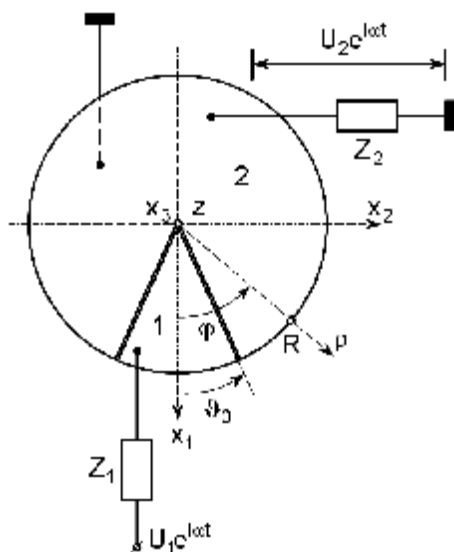


Рис. 1. Расчетная схема объекта

На секторный электрод 1 подается гармонически изменяющаяся во времени разность электрических потенциалов $U_0 e^{i\omega t}$ (U_0 – амплитуда разности электрических потенциалов на электроде 1; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; ω – круговая частота смены знака электрического потенциала; t – время). Символом Z_1 обозначено комплексное выходное сопротивление источника электрического сигнала. Очевидно, что $U_0 = U_1 Z_{\text{эл}}^{(1)}(\omega) / [Z_1 + Z_{\text{эл}}^{(1)}(\omega)]$, где

U_1 – амплитудное значение разности потенциалов на выходе источника электрических сигналов; $Z_{\text{эл}}^{(1)}(\omega)$ – электрический импеданс элемента пьезоэлектрического диска под секторным электродом 1. Электрический потенциал формирует под электродом 1 переменное электрическое поле, которое порождает в объеме пьезоэлектрического диска гармонически изменяющиеся во времени упругие деформации. Вследствие прямого пьезоэлектрического эффекта гармонические колебания материальных частиц диска генерируют на секторном электроде 2 поляризационный заряд $q_2(t) = Q_2 e^{i\omega t}$, где Q_2 – амплитудное значение поляризационного заряда. Поляризационный заряд $q_2(t)$ своим электрическим полем перемещает свободные носители электричества (электроны) в проводнике электрического тока, который соединяет электрическую нагрузку Z_2 с секторным электродом 2. При протекании электрического тока через комплексное сопротивление Z_2 на нем выделяется разность потенциалов $U_2 e^{i\omega t}$, где U_2 – амплитудное значение разности потенциалов во вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора.

Математической моделью пьезоэлектрического трансформатора будем называть аналитическую конструкцию $K(\omega, \Pi)$ (символ Π обозначает набор геометрических, физико-механических и электрических параметров трансформатора), которая определяется следующим образом:

$$K(\omega, \Pi) = \frac{U_2 e^{i\omega t}}{U_1 e^{i\omega t}} = \frac{U_2}{U_1}. \quad (4)$$

Функция $K(\omega, \Pi)$ по своему физическому содержанию имеет смысл коэффициента трансформации дискового пьезоэлектрического трансформатора.

Рассмотрим вычислительные процедуры, последовательная реализация которых позволит построить физически содержательную математическую модель пьезоэлектрического трансформатора.

Из показанной на рис. 1 расчетной схемы следует, что электрический потенциал на поверхности диска $z = \alpha$ зависит от окружной координаты φ так, как это показано на рис. 2.

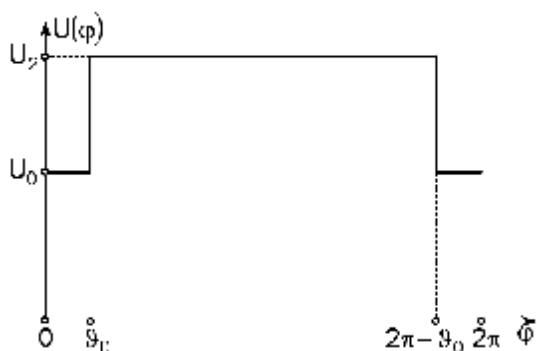


Рис. 2. Угловое распределение электрического потенциала на поверхности $z = \alpha$

По оси ординат на рис. 2 отложено амплитудное значение $U(\varphi)$ электрического потенциала. Амплитудное значение потенциала U_2 может быть больше, как это показано на рис. 2, потенциала U_0 , а может быть и меньше амплитудного значения U_0 . Это не принципиально. Принципиальным является то, что величины U_0 и U_2 являются постоянными в своих угловых секторах. Показанную на рис. 2 функцию $U(\varphi)$ можно представить следующим рядом

$$U(\varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} \Phi^{(m)} \cos m\varphi, \quad (5)$$

где коэффициенты разложения $\Phi^{(m)}$

$$\begin{aligned} \Phi^{(0)} &= U_0 \frac{\vartheta_0}{\pi} + U_2 \frac{\pi - \vartheta_0}{\pi}; \\ \Phi^{(m)} &= \frac{2 \sin m\vartheta_0}{m\pi} (U_0 - U_2) \forall m \geq 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Присутствие в разложении (5) нулевой, т. е. осесимметричной составляющей $\Phi^{(0)}$ позволяет предположить, что компоненты вектора $\vec{u}(\rho, \varphi, z, t)$ смещения материальных частиц колеблющегося пьезокерамического диска, т. е. величины $u_\rho(\rho, \varphi, z, t)$, $u_\varphi(\rho, \varphi, z, t)$ и $u_z(\rho, \varphi, z, t)$, можно записать в следующем виде

$$\begin{aligned} u_{\left(\begin{smallmatrix} \rho \\ z \end{smallmatrix}\right)}(\rho, \varphi, z, t) &= e^{i\omega t} \sum_{m=0}^{\infty} U_{\left(\begin{smallmatrix} \rho \\ z \end{smallmatrix}\right)}^{(m)}(\rho, z) \cos m\varphi, \\ u_\varphi(\rho, \varphi, z, t) &= -e^{i\omega t} \sum_{m=0}^{\infty} U_\varphi^{(m)}(\rho, z) \sin m\varphi, \end{aligned} \quad (7)$$

где $U_\beta^{(m)}(\rho, z)$ ($\beta = \rho, \varphi, z$) – амплитудное значение m -ой окружной гармоники β -го компонента вектора смещения материальных

частиц пьезокерамического диска. При этом, очевидно, $U_\varphi^{(0)}(\rho, z) \equiv 0$. Следует подчеркнуть, что вследствие малости зазора между секторными электродами 1 и 2, выражения (7) определяют единое поле смещений материальных частиц диска, которое существует в круге $0 \leq \varphi \leq 2\pi$.

Смещения материальных частиц пьезокерамического диска ограничиваются упругими напряжениями

$\sigma_{ij}(\rho, \varphi, z, t) = \sigma_{ij}(\rho, \varphi, z) e^{i\omega t}$, амплитудные значения $\sigma_{ij}(\rho, \varphi, z)$ которых определяются обобщенным законом Гука для упругих сред с пьезоэлектрическими эффектами [7]

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl}^E \varepsilon_{kl} - e_{kij} E_k, \quad i, j, k, \ell = 1, 2, 3, \quad (8)$$

где $\sigma_{ij} \equiv \sigma_{ij}(\rho, \varphi, z)$; во всех дальнейших записях список аргументов (ρ, φ, z) в описании амплитудных значений физических величин для краткости записей будет опущен; $\varepsilon_{k\ell}$ – компонент тензора бесконечно малых деформаций; E_k – k -й компонент амплитудного значения вектора напряженности электрического поля в объеме деформируемого пьезоэлектрика.

Принимая во внимание соответствие между индексами 1,2,3 координатных осей правовинтовой декартовой системы координат и символами ρ, φ, z координатных линий цилиндрической системы координат ($1 \Leftrightarrow \rho$; $2 \Leftrightarrow \varphi$; $3 \Leftrightarrow z$), и учитывая структуру матриц (1) и (2) материальных констант, из общей формулировки (8) можно получить следующие выражения для расчета амплитудных значений упругих напряжений:

$$\sigma_{\rho\rho} = c_{11}^E \varepsilon_{\rho\rho} + c_{12}^E \varepsilon_{\varphi\varphi} + c_{12}^E \varepsilon_{zz} - e_{31} E_z, \quad (9)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = c_{12}^E \varepsilon_{\rho\rho} + c_{11}^E \varepsilon_{\varphi\varphi} + c_{12}^E \varepsilon_{zz} - e_{31} E_z, \quad (10)$$

$$\sigma_{zz} = c_{12}^E \varepsilon_{\rho\rho} + c_{12}^E \varepsilon_{\varphi\varphi} + c_{33}^E \varepsilon_{zz} - e_{33} E_z, \quad (11)$$

$$\sigma_{\varphi z} = 2c_{44}^E \varepsilon_{\varphi z} - e_{24} E_\varphi, \quad (12)$$

$$\sigma_{\rho z} = 2c_{44}^E \varepsilon_{\rho z} - e_{15} E_\rho, \quad (13)$$

$$\sigma_{\rho\varphi} = 2c_{66}^E \varepsilon_{\rho\varphi}, \quad (14)$$

где $\varepsilon_{\rho\rho}$, $\varepsilon_{\varphi\varphi}$ и ε_{zz} – деформации сжатия-растяжения вдоль координатных линий ρ , φ и z цилиндрической системы координат; $\varepsilon_{\varphi z}$, $\varepsilon_{\rho z}$ и $\varepsilon_{\rho\varphi}$ – сдвиговые деформации в плоско-

стях, построенных на единичных векторах (ортах) соответствующих координатных линий. При записи выражений (9) – (14) было использовано общепринятое в механике правило – одинаковые по величине материальные константы обозначаются одинаковыми символами. Формулы для расчета деформаций сжатия-растяжения и деформаций сдвига имеют вид [7]:

$$\varepsilon_{\rho\rho} = \frac{\partial u_{\rho}}{\partial \rho}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{u_{\rho}}{\rho}; \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z};$$

$$\frac{\partial \sigma_{\rho\rho}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\rho\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{\rho z}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} (\sigma_{\rho\rho} - \sigma_{\varphi\varphi}) + \rho_0 \omega^2 u_{\rho} = 0, \quad (16)$$

$$\frac{\partial \sigma_{\varphi\rho}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2}{\rho} \sigma_{\varphi\rho} + \rho_0 \omega^2 u_{\varphi} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial \sigma_{z\rho}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{z\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \sigma_{z\rho} + \rho_0 \omega^2 u_z = 0. \quad (18)$$

На поверхностях колеблющегося в вакууме пьезокерамического диска должны, как того требует третий закон Ньютона, выполняться следующие условия:

$$\sigma_{zz}(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad \sigma_{zz}(\rho, \varphi, \alpha) = 0, \quad (19)$$

$$\sigma_{z\rho}(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad \sigma_{z\rho}(\rho, \varphi, \alpha) = 0, \quad (20)$$

$$\sigma_{z\varphi}(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad \sigma_{z\varphi}(\rho, \varphi, \alpha) = 0, \quad (21)$$

$$\sigma_{\rho\rho}(R, \varphi, z) = 0, \quad (22)$$

$$\sigma_{\rho\varphi}(R, \varphi, z) = 0. \quad (23)$$

Электрическая составляющая физического состояния колеблющегося пьезокерамического диска определяется вектором электрической индукции $\vec{D}(\rho, \varphi, z, t) = \vec{D}(\rho, \varphi, z) e^{i\omega t}$, амплитудные значения компонентов которого в общем случае определяются следующим образом [7]

$$D_k = e_{knm} \varepsilon_{nm} + \chi_{k\ell}^e E_{\ell}. \quad (24)$$

Применительно к рассматриваемой ситуации из общего определения (24) следует, что

$$D_{\rho} = 2e_{15} \varepsilon_{\rho z} + \chi_{11}^e E_{\rho}, \quad D_{\varphi} = 2e_{24} \varepsilon_{\varphi z} + \chi_{11}^e E_{\varphi}, \quad (25)$$

$$D_z = e_{31} (\varepsilon_{\rho\rho} + \varepsilon_{\varphi\varphi}) + e_{33} \varepsilon_{zz} + \chi_{33}^e E_z. \quad (26)$$

Из первого уравнения Максвелла $\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \partial \vec{D} / \partial t$ ($\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля; $\vec{J}$ – вектор плотности тока электрической проводимости) в случае идеального диэлектрика ($\vec{J} = 0$) следует, что

$$\text{div} \vec{D} = 0. \quad (27)$$

$$\varepsilon_{\varphi z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_{\varphi}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right); \quad \varepsilon_{\rho z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_{\rho}}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial \rho} \right);$$

$$\varepsilon_{\rho\varphi} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial u_{\rho}}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \rho} - \frac{u_{\varphi}}{\rho} \right). \quad (15)$$

Амплитудные значения компонентов тензора упругих напряжений удовлетворяют уравнениям установившихся колебаний (второму закону Ньютона в дифференциальной форме), которые в цилиндрической системе координат записываются в следующем виде:

Условие (27) имеет смысл условия отсутствия свободных носителей электричества и с хорошей степенью точности реальной электрической проводимости (меньше 10^{-4} См/м) пьезоэлектрической керамики.

В работе [8] показано, что в области частот до 10 МГц магнитная составляющая электромагнитного поля в деформируемой пьезокерамике настолько мала, что второе уравнение Максвелла $\text{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$ можно записать в виде $\text{rot} \vec{E} \approx 0$. Из последней записи следует, что вектор напряженности переменного электрического поля в объеме деформируемой пьезокерамики является безвихревым. По этой причине он может быть определен через скалярный электрический потенциал $\Phi(\rho, \varphi, z, t) = \Phi(\rho, \varphi, z) e^{i\omega t}$ стандартным образом, т. е.

$$\vec{E} = -\text{grad} \Phi. \quad (28)$$

Подставляя компоненты вектора напряженности электрического поля, определенные векторным соотношением (28), в формулы (25) и (26), а полученные результаты – в условие (27), получаем дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка относительно искомого амплитудного значения $\Phi(\rho, \varphi, z)$ скалярного электрического потенциала. Общее решение этого уравнения должно удовлетворять следующим условиям:

$$\Phi(\rho, \varphi, 0) = 0, \quad \Phi(\rho, \varphi, \alpha) = U(\varphi), \quad (29)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi(\rho, \varphi, z)}{\partial \rho} \right|_{\rho=R} \approx 0. \quad (30)$$

Приближенное граничное условие (30) выполняется тем точнее, чем больше значение диэлектрической проницаемости χ_{11}^{ε} превосходит диэлектрическую постоянную $\chi_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м [8].

Совместное решение дифференциальных уравнений (16) – (18) и (27) с последующим удовлетворением граничным условиям (19) – (23) и (29), (30) сопряжено с практически непреодолимыми математическими проблемами. Ситуация существенно облегчается и упрощается в том случае, когда размеры диска (толщина α и радиус R) удовлетворяют сильному неравенству $\alpha/R \ll 1$, т. е. когда рассматривается тонкий пьезокерамический диск.

В диапазоне частот, в котором длина волны упругих колебаний тонкого пьезокера-

$$\varepsilon_{zz}(\rho, \varphi) = -\frac{c_{12}^E}{c_{33}^E} [\varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)] + \frac{e_{33}}{c_{33}^E} E_z(\rho, \varphi). \quad (31)$$

Список аргументов, в котором указаны только лишь переменные ρ и φ , подчеркивает то обстоятельство, что напряженно-деформированное состояние колеблющегося тонкого пьезокерамического диска не зависит от аксиальной координаты z .

Так как на поверхностях $z = 0$ и $z = \alpha$, где существует электродное покрытие, компоненты вектора электрической индукции $D_\rho = D_\varphi = 0$, то в области низких частот, когда длина волны упругих колебаний соизмерима с радиусом тонкого диска, последнее равенство должно выполняться в любой точке объема тонкого диска. Из этого факта следует, что

$$E_\rho = -2 \frac{e_{15}}{\chi_{11}^{\varepsilon}} \varepsilon_{\rho z}, \quad E_\varphi = -2 \frac{e_{24}}{\chi_{11}^{\varepsilon}} \varepsilon_{\varphi z}.$$

$$D_z(\rho, \varphi) = e_{31}^* [\varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)] + \chi_{33}^* E_z(\rho, \varphi), \quad (34)$$

где $e_{31}^* = e_{31} - e_{33} c_{12}^E / c_{33}^E$ и $\chi_{33}^* = \chi_{33}^{\varepsilon} + e_{33}^2 / c_{33}^E$ – пьезоэлектрический модуль и диэлектрическая проницаемость тонкого пьезокерамического диска, в котором реализован режим планарных колебаний.

$$\alpha D_z(\rho, \varphi) = \alpha e_{31}^* [\varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)] - \chi_{33}^* [\Phi(\rho, \varphi, \alpha) - \Phi(\rho, \varphi, 0)].$$

Принимая во внимание граничное условие (29), последнее выражение можно переписать следующим образом

$$D_z(\rho, \varphi) = e_{31}^* [\varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)] - \chi_{33}^* \frac{U(\varphi)}{\alpha}. \quad (35)$$

мического диска соизмерима с его радиусом, можно утверждать, что напряженно-деформированное состояние практически не меняется по толщине диска. При этом из граничных условий (19) – (21) следует, что нормальное напряжение σ_{zz} и касательные напряжения $\sigma_{z\rho}$ и $\sigma_{z\varphi}$ равны нулю в любой точке на поверхности и в объеме колеблющегося пьезокерамического диска. При этом необходимо понимать, что деформация сжатия-растяжения $\varepsilon_{zz} \neq 0$, поскольку существуют деформации сжатия-растяжения $\varepsilon_{\rho\rho}$ и $\varepsilon_{\varphi\varphi}$. Приравняв нулю правую часть выражения (11), получаем определение деформации сжатия-растяжения ε_{zz} через деформации $\varepsilon_{\rho\rho}$ и $\varepsilon_{\varphi\varphi}$:

Подставляя последние равенства в определение (12) и (13), получаем

$$\sigma_{\varphi z} = 2c_{44}^D \varepsilon_{\varphi z}, \quad \sigma_{\rho z} = 2c_{44}^D \varepsilon_{\rho z}, \quad (32).$$

где $c_{44}^D = c_{44}^E + e_{15}^2 / \chi_{11}^{\varepsilon} = c_{44}^E + e_{24}^2 / \chi_{11}^{\varepsilon}$ – модули упругости для режима постоянства (равенства нулю) радиального и окружного компонентов вектора электрической индукции.

В ситуации, когда $D_\rho = D_\varphi = 0$, условие (27) принимает простой вид, а именно

$$\frac{\partial D_z}{\partial z} = 0, \quad (33)$$

откуда следует, что аксиальный компонент вектора электрической индукции не зависит от значений аксиальной координаты z . Учитывая все сказанное выше, выражение (26) можно записать в следующем виде:

Так как $E_z = -\partial \Phi / \partial z$, то интегрируя левую и правую части выражения (34) по переменной z в пределах от нуля до α , и учитывая при этом условие (33), приходим к следующему результату

Сравнивая между собой два физически эквивалентных определения (34) и (35) аксиального компонента $D_z(\rho, \varphi)$, приходим к выводу, что

$$E_z(\rho, \varphi) = E_z(\varphi) = -U(\varphi) / \alpha. \quad (36)$$

Подставляя выражения (31) и (36) в определения (9) и (10) нормальных напряжений $\sigma_{\rho\rho}$ и $\sigma_{\varphi\varphi}$, получаем следующие результаты:

$$\sigma_{\rho\rho}(\rho, \varphi) = c_{11}^* \varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + c_{12}^* \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi) + e_{31}^* U(\varphi)/\alpha, \quad (37)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi) = c_{12}^* \varepsilon_{\rho\rho}(\rho, \varphi) + c_{11}^* \varepsilon_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi) + e_{31}^* U(\varphi)/\alpha, \quad (38)$$

где $c_{11}^* = c_{11}^E - (c_{12}^E)^2 / c_{33}^E$ и $c_{12}^* = c_{12}^E (1 - c_{12}^E / c_{33}^E)$ – модули упругости тонкого пьезокерамического диска для режима планарных колебаний.

Уравнения (16) и (17) установившихся гармонических колебаний принимают следующий вид:

$$\frac{\partial \sigma_{\rho\rho}(\rho, \varphi)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\rho\varphi}(\rho, \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho} [\sigma_{\rho\rho}(\rho, \varphi) - \sigma_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)] + \rho_0 \omega^2 u_\rho(\rho, \varphi) = 0, \quad (39)$$

$$\frac{\partial \sigma_{\varphi\rho}(\rho, \varphi)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{2}{\rho} \sigma_{\varphi\rho}(\rho, \varphi) + \rho_0 \omega^2 u_\varphi(\rho, \varphi) = 0, \quad (40)$$

где напряжения $\sigma_{\rho\rho}(\rho, \varphi)$, $\sigma_{\rho\varphi}(\rho, \varphi) = \sigma_{\varphi\rho}(\rho, \varphi)$ и $\sigma_{\varphi\varphi}(\rho, \varphi)$ определены выражениями (37), (14) и (38) соответственно. Уравнение (18) с точностью до бесконечно малых второго порядка превращается в тождество $0 = 0$. Решения системы уравнений (39), (40), т. е. амплитудные значения компонентов вектора смещения материальных частиц $u_\rho(\rho, \varphi)$ и $u_\varphi(\rho, \varphi)$ должны обеспечивать выполнение граничных условий (22) и (23). Кроме того, функции $u_\rho(\rho, \varphi)$ и $u_\varphi(\rho, \varphi)$ должны обеспечивать нулевые значения сдвиговых напряжений $\sigma_{\varphi z}$ и $\sigma_{\rho z}$ в любой точке объема тонкого пьезокерамического диска. Из определений (32) следует, что $\sigma_{\varphi z} = \sigma_{\rho z} = 0$ тогда, когда выполняются условия

$$\varepsilon_{\varphi z} = \varepsilon_{\rho z} = 0. \quad (41)$$

Условия (41) фактически запрещают поперечный изгиб, и могут быть названы условиями планарности напряженно-деформированного состояния тонкого пьезокерамического диска.

Ниже будет показано, что решения системы уравнений (39), (40), которые удовлетворяют граничному условию (23) и условиям (41), с прогнозируемой точностью можно записать в следующем виде

$$u_\rho(\rho, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n F_\rho^{(n)}(\rho, \Pi) \cos n\varphi, \quad (42)$$

$$u_\varphi(\rho, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n F_\varphi^{(n)}(\rho, \Pi) \sin n\varphi, \quad (43)$$

где A_n – подлежащие определению константы; $F_\rho^{(n)}(\rho, \Pi)$ и $F_\varphi^{(n)}(\rho, \Pi)$, причем $F_\varphi^{(0)}(\rho, \Pi) = 0$, вполне определенные функции радиальной координаты ρ и набора Π геометрических, физико-механических и электрических параметров пьезоэлектрического трансформатора.

Определим амплитудное значение U_2 электрического потенциала на секторном электроде 2 (рис. 1).

Очевидно, что $U_2 = Z_2 I_2$, где I_2 – амплитудное значение электрического тока в проводнике, который соединяет электрическую нагрузку Z_2 и секторный электрод 2 вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. Амплитуда I_2 переменного электрического тока определяется через амплитудное значение электрического заряда Q_2 на электроде 2 следующим образом [7]:

$$I_2 = -i\omega Q_2. \quad (44)$$

Электрический заряд Q_2 определяется аксиальным компонентом вектора электрической индукции. Подставляя в общее определение (35) формальное разложение (5) и соотношения (42) и (43), можем записать, что

$$D_z(\rho, \varphi) = e_{31}^* \sum_{n=0}^{\infty} A_n W_n(\rho, \Pi) \cos n\varphi - \frac{\chi_{33}^*}{\alpha} \sum_{m=0}^{\infty} \Phi^{(m)} \cos m\varphi, \quad (45)$$

где

$$W_n(\rho, \Pi) = \frac{\partial F_\rho^{(n)}(\rho, \Pi)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} [n F_\phi^{(n)}(\rho, \Pi) + F_\rho^{(n)}(\rho, \Pi)]$$

– функция с размерностью единица, деленная на метр, пропорциональная объемной деформации в режиме планарных колебаний тонкого пьезокерамического диска. Необходимо помнить, что формальное разложение электрического потенциала на поверхности $z = \alpha$ удовлетворяет следующему равенству:

$$D_z^{(2)}(\rho, \varphi) = e_{31}^* \sum_{n=0}^{\infty} A_n W_n(\rho, \Pi) \cos n\varphi - \frac{\chi_{33}^*}{\alpha} U_2. \quad (47)$$

Амплитуда электрического заряда на электроде вторичной электрической цепи трансформатора

$$Q_2 = \int_{\vartheta_0}^{2\pi-\vartheta_0} \int_0^R \rho D_z^{(2)}(\rho, \varphi) d\rho d\varphi = -2e_{31}^* \sum_{n=0}^{\infty} A_n \frac{\sin n\vartheta_0}{n} \int_0^R \rho W_n(\rho, \Pi) d\rho - C_2^* U_2, \quad (48)$$

где $C_2^* = (\pi - \vartheta_0) R^2 \chi_{33}^* / \alpha$ – электрическая емкость секторного электрода 2.

$$U_2 = 2i\omega Z_2 e_{31}^* \sum_{n=0}^{\infty} A_n \frac{\sin n\vartheta_0}{n} \int_0^R \rho W_n(\rho, \Pi) d\rho + i\omega Z_2 C_2^* U_2,$$

откуда следует, что

$$U_2 = f_2(\omega) \frac{2e_{31}^* \alpha}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n B_n(\omega, \Pi), \quad (49)$$

где $f_2(\omega) = \frac{i\omega Z_2 C_2^*}{1 - i\omega Z_2 C_2^*}$ – функция включения

секторного электрода 2 во вторичную электрическую цепь пьезоэлектрического трансформатора;

$$B_n(\omega, \Pi) = \frac{\sin n\vartheta_0}{n} \int_0^R \rho W_n(\rho, \Pi) d\rho.$$

График модуля функции включения $f_2(\omega)$ показан на рис. 3. По оси абсцисс на рис. 3 отложены значения безразмерной частоты $\Omega = \omega \tau_2$, где $\tau_2 = Z_2 C_2^*$ – постоянная времени вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. Отчетливо видно, что при $\omega = 0$ функция $f_2(\omega) = 0$. Это означает, что статические поляризационные

$$\sum_{m=0}^{\infty} \Phi^{(m)} \cos m\varphi = \begin{cases} U_0 & \forall \varphi \in [2\pi - \vartheta_0, \vartheta_0], \\ U_2 & \forall \varphi \in [\vartheta_0, 2\pi - \vartheta_0]. \end{cases} \quad (46)$$

Принимая во внимание соотношение (46), можно записать выражение для расчета амплитудного значения аксиального компонента вектора электрической индукции $D_z^{(2)}(\rho, \varphi)$ под секторным электродом 2 в следующем виде:

Так как $U_2 = -i\omega Z_2 Q_2$, то, принимая во внимание выражение (48), получаем следующее уравнение:

нельзя зарегистрировать электронными приборами с заземленной общей шиной.

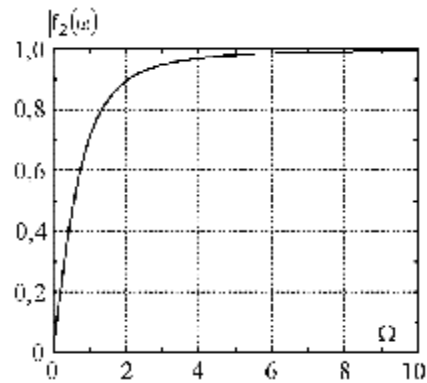


Рис. 3. Изменение модуля функции включения электрода во вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора

Константы A_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) определяются из граничного условия (22), которое с учетом всего сказанного выше может быть записано в следующем виде:

$$\sigma_{\rho\rho}(R, \varphi) = c_{11}^* \sum_{m=0}^{\infty} \left[A_m \Xi_m(R, \Pi) + \frac{e_{31}^*}{\alpha c_{11}^*} \Phi^{(m)} \right] \cos m\varphi = 0, \quad (50)$$

$$\text{где } \Xi_m(R, \Pi) = \left. \frac{\partial F_\rho^{(m)}(\rho, \Pi)}{\partial \rho} \right|_{\rho=R} + \frac{k}{R} [m F_\phi^{(m)}(R, \Pi) + F_\rho^{(m)}(R, \Pi)];$$

параметр $k = c_{12}^*/c_{11}^*$; $\Phi^{(m)}$ – весовой множитель формального разложения (5) электрического потенциала.

Сумма знакопеременного ряда (50) будет равна нулю только лишь в том случае, когда все коэффициенты при функциях $\cos m\varphi$ будут равны нулю, т. е.

$$\begin{aligned} A_0\beta_{00} + A_1\beta_{01} + A_2\beta_{02} + \dots + A_n\beta_{0n} + \dots &= -\frac{e_{31}^*}{\alpha c_{11}^*} U_0 \eta_0, \\ A_0\beta_{10} + A_1\beta_{11} + A_2\beta_{12} + \dots + A_n\beta_{1n} + \dots &= -\frac{e_{31}^*}{\alpha c_{11}^*} U_0 \eta_1, \\ A_0\beta_{m0} + A_1\beta_{m1} + A_2\beta_{m2} + \dots + A_n\beta_{mn} + \dots &= -\frac{e_{31}^*}{\alpha c_{11}^*} U_0 \eta_m, \end{aligned} \quad (52)$$

где $\beta_{00} = \Xi_0(R, \Pi) + \frac{2K_{31}^2 f_2(\omega)}{\pi R^2} B_0(\omega, \Pi)$;

$K_{31}^2 = \frac{(e_{31}^*)^2}{\chi_{33}^* c_{11}^*}$ – квадрат коэффициента электромеханической связи пьезокерамики тонкого диска в режиме планарных колебаний;

$$\begin{aligned} \beta_{01} &= \frac{2K_{31}^2 f_2(\omega)}{\pi R^2} B_1(\omega, \Pi); \\ \beta_{0n} &= \frac{2K_{31}^2 f_2(\omega)}{\pi R^2} B_n(\omega, \Pi); \quad \eta_0 = \frac{\vartheta_0}{\pi}; \\ \beta_{10} &= -\frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin \vartheta_0}{\pi} B_0(\omega, \Pi); \\ \beta_{11} &= \Xi_1(R, \Pi) - \frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin \vartheta_0}{\pi} B_1(\omega, \Pi); \\ \beta_{1n} &= -\frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin \vartheta_0}{\pi} B_n(\omega, \Pi); \quad \eta_1 = \frac{2 \sin \vartheta_0}{\pi}; \\ \beta_{m0} &= -\frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin m \vartheta_0}{m \pi} B_0(\omega, \Pi); \\ \beta_{m1} &= -\frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin m \vartheta_0}{m \pi} B_1(\omega, \Pi); \end{aligned}$$

$$A_m \Xi_m(R, \Pi) + \frac{e_{31}^*}{\alpha c_{11}^*} \Phi^{(m)} = 0. \quad (51)$$

Из равенства (51) следует, что коэффициенты A_m определяются в результате решения бесконечной системы алгебраических уравнений. Эта система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \beta_{mn} &= -\frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin m \vartheta_0}{m \pi} B_n(\omega, \Pi); \\ \beta_{mm} &= \Xi_m(R, \Pi) - \frac{4K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) R^2} \frac{\sin m \vartheta_0}{m \pi} B_m(\omega, \Pi); \\ \eta_m &= \frac{2 \sin m \vartheta_0}{m \pi}. \end{aligned}$$

Ограничиваясь первыми m коэффициентами A_n ($n = 0, 1, 2, \dots, m$), получаем систему из $M = 1 + m$ алгебраических уравнений, в которых содержатся $M = 1 + m$ искомых коэффициентов $A_0, A_1, A_2, \dots, A_m$. Эта система уравнений разрешается относительно искомых констант единственным образом. Результаты решения системы уравнений (52) имеют вид

$$A_n = -\frac{e_{31}^* U_0}{\alpha c_{11}^*} \frac{D_n(\omega, \Pi)}{DM(\omega, \Pi)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, m, \quad (53)$$

где $D_n(\omega, \Pi)$ – алгебраическое дополнение при коэффициенте A_n ; $DM(\omega, \Pi)$ – определитель системы уравнений (52). Частотно зависимые функции $D_n(\omega, \Pi)$ и $DM(\omega, \Pi)$ определяются следующим образом:

$$D_n(\omega, \Pi) = \det \begin{vmatrix} \beta_{00} & \beta_{01} & \dots & \beta_{0(n-1)} & \eta_0 & \beta_{0(n+1)} & \dots & \beta_{0m} \\ \beta_{10} & \beta_{11} & \dots & \beta_{1(n-1)} & \eta_1 & \beta_{1(n+1)} & \dots & \beta_{1m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{m0} & \beta_{m1} & \dots & \beta_{m(n-1)} & \eta_m & \beta_{m(n+1)} & \dots & \beta_{mm} \end{vmatrix},$$

$$DM(\omega, \Pi) = \det \begin{vmatrix} \beta_{00} & \beta_{01} & \dots & \beta_{0(n-1)} & \beta_{0n} & \beta_{0(n+1)} & \dots & \beta_{0m} \\ \beta_{10} & \beta_{11} & \dots & \beta_{1(n-1)} & \beta_{1n} & \beta_{1(n+1)} & \dots & \beta_{1m} \\ & & & \cdot & & & & \\ & & & \cdot & & & & \\ & & & \cdot & & & & \\ \beta_{m0} & \beta_{m1} & \dots & \beta_{m(n-1)} & \beta_{mn} & \beta_{m(n+1)} & \dots & \beta_{mm} \end{vmatrix},$$

где символ $\det$ означает определитель матрицы.

После определения коэффициентов A_n можно переписать определения (42), (43) и (49) в следующем виде

$$u_p(\rho, \varphi) = -\frac{e_{31}^* U_0}{\alpha C_{11}^* DM(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) F_p^{(n)}(\rho, \Pi) \cos n\varphi, \quad (54)$$

$$u_\varphi(\rho, \varphi) = -\frac{e_{31}^* U_0}{\alpha C_{11}^* DM(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) F_\varphi^{(n)}(\rho, \Pi) \sin n\varphi, \quad (55)$$

$$U_2 = -f_2(\omega) \frac{2K_{31}^2 U_0}{(\pi - \vartheta_0) R^2 DM(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) B_n(\omega, \Pi). \quad (56)$$

Для того, чтобы определить потенциал U_0 на секторном электроде 1 (рис. 1), необходимо рассчитать электрический импеданс $Z_{эл}^{(1)}(\omega)$ части пьезокерамического диска под этим электродом.

В соответствии с законом Ома для участка электрической цепи

$$Z_{эл}^{(1)}(\omega) = U_0 / I_1, \quad (57)$$

где $I_1 = -i\omega Q_1$ – амплитудное значение электрического тока в проводнике, который соединяет источник электрического потенциала $U_1 e^{i\omega t}$ с секторным электродом 1; Q_1 – амплитудное значение электрического заряда на

электроде 1. Электрический заряд Q_1 определяется как обычно, т. е.

$$Q_1 = 2 \int_0^{\vartheta_0} \int_0^R \rho D_z^{(1)}(\rho, \varphi) d\rho d\varphi, \quad (58)$$

где $D_z^{(1)}(\rho, \varphi)$ – амплитудное значение аксиального компонента вектора электрической индукции под секторным электродом 1. Учитывая соотношение (46) и выражения (54) и (55), электрическую индукцию $D_z^{(1)}(\rho, \varphi)$ можно определить следующим образом:

$$D_z^{(1)}(\rho, \varphi) = -\frac{(e_{31}^*)^2 U_0}{\alpha C_{11}^* DM(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) W_n(\rho, \Pi) \cos n\varphi - \frac{\chi_{33}^*}{\alpha} U_0, \quad (59)$$

Подставляя соотношение (59) в определение (58), получаем выражение для расчета электрического заряда Q_1 :

$$Q_1 = -\frac{C_1^* U_0}{R^2 DM(\omega, \Pi)} \left[\frac{2K_{31}^2}{\vartheta_0} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) B_n(\omega, \Pi) + R^2 DM(\omega, \Pi) \right],$$

где $C_1^* = \vartheta_0 R^2 \chi_{33}^* / \alpha$ – электрическая емкость секторного электрода 1.

Так как $I_1 = -i\omega Q_1$, то электрический импеданс $Z_{эл}^{(1)}(\omega)$ можно определить следующим образом:

где

$$Z_{эл}^{(1)}(\omega) = \frac{R^2 DM(\omega, \Pi)}{i\omega C_1^* \Psi_1(\omega, \Pi)}, \quad (60)$$

$$\Psi_1(\omega, \Pi) = \frac{2K_{31}^2}{\vartheta_0} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) B_n(\omega, \Pi) + R^2 DM(\omega, \Pi).$$

Электрический потенциал U_0 рассчитывается по формуле

$$U_0 = \frac{U_1 Z_{\text{эл}}^{(1)}(\omega)}{Z_1 + Z_{\text{эл}}^{(1)}(\omega)} = U_1 R^2 \frac{DM(\omega, \Pi)}{S(\omega, \Pi)}, \quad (61)$$

где $S(\omega, \Pi) = R^2 DM(\omega, \Pi) + i\omega Z_1 C_1^* \Psi_1(\omega, \Pi)$.

Подставляя выражение (61) в определение (56) потенциала U_2 , получаем следующий результат:

$$U_2 = -f_2(\omega) \frac{2K_{31}^2 U_1}{(\pi - \vartheta_0) S(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) B_n(\omega, \Pi).$$

$$K(\omega, \Pi) = -\frac{2K_{31}^2 f_2(\omega)}{(\pi - \vartheta_0) S(\omega, \Pi)} \sum_{n=0}^{\infty} D_n(\omega, \Pi) B_n(\omega, \Pi). \quad (62)$$

При построении выражения (62) были использованы фундаментальные положения механики (законы Ньютона) и электродинамики (уравнения Максвелла), что является существенным аргументом в пользу достоверности математической модели пьезоэлектрического трансформатора с секторными электродами в первичной и вторичной электрических цепях.

Выводы. Основным результатом настоящей статьи можно зафиксировать следующим образом: предложена совокупность вычислительных процедур, опирающихся на фундаментальные принципы механики и электродинамики, последовательное выполнение которых позволяет построить математическую модель дискового пьезоэлектрического трансформатора с секторными электродами в первичной и вторичной электрических цепях. Впервые предложена схема построения математической модели, которая позволяет естественным образом учесть весь набор геометрических, физико-механических и электрических параметров реальной конструкции пьезоэлектрического трансформатора.

Из последнего выражения следует, что математическая модель дискового пьезоэлектрического трансформатора с секторными электродами определяется аналитическим выражением следующего вида:

ричных пластин. К.: Наукова думка, 2008. 272 с.

4. Naciri I., Elmaimouni L., Lefebvre J.-E., Rguiti M., Ratolojanahary F.E., Gryba T. Modeling of MEMS resonator piezoelectric disc partially covered with electrodes. *American Journal of Mechanics and Applications*. 2016. Vol. 4, No. 1. P. 1–9.
5. Staworko M., Uhl T. Modeling and simulation of piezoelectric elements – comparison of available methods. *Mechanics*. 2008. Vol. 27, No. 4. P. 161–171.
6. Leinonen M., Palosaari J., Juuti J., Jantunen H. Combined electrical and electromechanical simulations of a piezoelectric Cymbal harvester for energy harvesting from walking. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2014, 25 (4). P. 391–400.
7. Петрищев О. Н. Гармонические колебания пьезокерамических элементов. Часть 1. Гармонические колебания пьезокерамических элементов в вакууме и метод резонанса – антирезонанса. К.: Аверс, 2012. 300 с.
8. Гринченко В. Т., Улитко А. Ф., Шульга Н. А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 5. Электроупругость. К.: Наукова думка, 1989. 280 с.

Список литературы

1. Джагупов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. СПб.: Политехника, 1994. 608 с.
2. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. М.: Техносфера, 2004. 528 с.
3. Шульга М. О., Карлаш В. Л. Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелект-

References

1. Dzhagupov, R. G., Erofeev, A. A. (1994) Piezoelectronic devices of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politehnika, 608 p. [in Russian].
2. Varadan, V., Vinoy, K., Jose, K. (2004) RF MEMS and their applications. Moscow: Technosfera, 528 p. [in Russian].
3. Shulga, M. O., Karlash, V. L. (2008) Resonant electromechanical oscillations of piezo-

- electric plates. Kyiv: Naukova dumka, 272 p. [in Ukrainian].
4. Naciri, I., Elmaimouni, L., Lefebvre, J.-E., Rguiti, M., Ratolojanahary, F. E., Gryba, T. (2016) Modeling of MEMS resonator piezoelectric disc partially covered with electrodes. *American Journal of Mechanics and Applications*, vol. 4, No. 1, pp. 1–9.
 5. Staworko, M., Uhl, T. (2008) Modeling and simulation of piezoelectric elements – comparison of available methods. *Mechanics*, vol. 27, No. 4, pp. 161–171.
 6. Leinonen, M., Palosaari, J., Juuti, J., Jantunen, H. (2014) Combined electrical and electromechanical simulations of a piezoelectric Cymbal harvester for energy harvesting from walking. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 25 (4), pp. 391–400.
 7. Petrishchev, O. N. (2012) Harmonic oscillations of piezoceramic elements. Part 1. Harmonic oscillations of piezoceramic elements in vacuum and resonance-antiresonance method. Kyiv: Avers, 300 p. [in Russian].
 8. Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F., Shul'ga, N. A. (1989) Mechanics of bound fields in structural elements. Vol. 5. Electroelasticity. Kyiv: Naukova dumka, 280 p. [in Russian].

O. N. Petrishchev¹, *Dr.Tech.Sc., professor,*

C. V. Bazilo², *Ph.D. (Eng.), associate professor*

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

²Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PRINCIPLES AND METHODS OF CONSTRUCTING MATHEMATICAL MODELS OF DISK PIEZOELECTRIC TRANSFORMERS WITH SECTOR ELECTRODES

Piezoelectric disks with partial covering by electrodes of one or two surfaces are often used to create various functional piezoelectronic devices. Disks with sector covering by electrodes are almost the main element of many microelectromechanical systems. Currently, there are no reliable and valid methods of constructing of mathematical models of piezoelectric transformers, which could be used as a theoretical basis for characteristics and parameters calculating of this class of functional elements of modern piezoelectronics. As a result of research of mathematical model of a real device, a set of geometrical, physical, mechanical and electrical parameters of a real object that provides implementation of technical indicators of functional element of piezoelectronics specified in the technical task can be determined. This significantly reduces time and cost of new functional elements of piezoelectronics developing. The cost of the saved resources is the commercial price of the mathematical model.

The purpose of this article is to develop principles and methods of mathematical models of disk piezoceramic transformers with cut electrodes constructing.

The main result of this article can be fixed as follows: a set of computational procedures based on fundamental principles of mechanics and electrodynamics is proposed, sequential implementation of which makes it possible to construct a mathematical model of disk piezoelectric transformer with sector electrodes in primary and secondary electric circuits. For the first time, a scheme for mathematical model's constructing is proposed, which allows in a natural way to take into account the entire set of geometrical, physical, mechanical and electrical parameters of areal design of piezoelectric transformer.

Key words: *piezoelectric transformer, physical processes, mathematical model, sector electrodes.*

Статью представляет О. Н. Петрищев, д.т.н., профессор.

Ю. М. Тесля¹, д.т.н., професор,
e-mail: teslya1958@ukr.net

Ю. Л. Хлевна¹, к.т.н., асистент,
e-mail: yuliya-khlevna@yandex.ua

Н. Ю. Єгорченкова¹, к.т.н., доцент,
e-mail: realnata@ukr.net

Д. І. Кошелева², студентка
e-mail: diana.koshelieva@nure.ua

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033

²Харківський національний університет радіоелектроніки
проспект Науки, 14, Харків, 61000

ВПЛИВИ НА ФОРМУВАННЯ КОНКРЕТИЗОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Встановлено, що аналіз, систематизація і прогнозування результату впливів є одним із основних факторів успішного формування конкретизованої методології управління проектами (КМУП) та її використання на проектно-орієнтованих підприємствах. Виокремлено впливи, які діють на формування КМУП, а саме: впливи знань з мета-методології управління проектами, зовнішні впливи, внутрішні впливи та додаткові впливи на формування КМУП.

Описано результати дії впливів без використання мета-методології управління проектами (ММУП) і охарактеризовано їх позитивні та негативні риси.

Для зменшення наслідків негативних впливів пропонується визначати позитивні впливи на формування КМУП та сформувати «оболонку» їх позитивної дії. Така «оболонка» представлена набором принципів ММУП, які формують основу позитивних впливів та забезпечують протидію негативним впливам на формування КМУП. Ці принципи дозволять спрямувати основні управлінські зусилля на нейтралізацію дії небажаних впливів.

Ключові слова: конкретизована методологія управління проектами, вплив, класифікація впливів, мета-методологія управління проектами, принципи забезпечення позитивних впливів.

Постановка проблеми. Незважаючи на те, що, по суті, вивчення впливів на проект займається вся наука управління проектами, і давно відомо, як треба реагувати на виникнення ризикових подій, відхилення в плані, появу дезорганізаторів в командах проекту тощо, цілісного наукового підґрунтя управління впливами на процес впровадження методологій управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах як окремої категорії немає. Тим більше в сучасних умовах, коли в багатьох випадках мова вже йде про електронний проектний менеджмент. Оскільки, впровадження методологій не можна відокремити від умов роботи та функціонування підприємства в цілому, то існує нагальна потреба в дослідженні впливів на ці впровадження. Впровадження методології управління проектами – це особливий проект, від якого залежить наявність та розвиток проектного управління на підприємстві. При цьому, ключо-

вою є роль впливів на це впровадження. Аналіз, систематизація і прогнозування результату впливів є одним із основних факторів успішного формування конкретизованої методології управління проектами (КМУП) та її використання на проектно-орієнтованих підприємствах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню використання методологій управління проектами присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. У працях [1–3] відзначається проблематика впровадження методологій управління проектами в Україні. У роботі [4] локалізовані дані по створенню спеціальної методології. Рекомендації по впровадженню методології управління проектами представлено у роботі [5]. У роботах [6–8] виокремлено особливості застосування положень теорії несилової взаємодії для системного вирішення задач управління проектами. В роботах [9–10] встановле-

на роль впливів в управлінні, виявлено, що в мета-методології управління проектами ключовим є вплив. В роботі [11] мова йде про електронний проектний менеджмент та особливості його впровадження.

Разом з тим, немає досліджень, присвячених вивчення впливу на процес впровадження методології управління проектами проектно-орієнтованими підприємствами, як об'єктивної категорії зміни його реальності, що є актуальною науковою задачею.

Мета статті – визначити негативні та позитивні впливи на процес впровадження методології управління проектами та сформулювати принципи мета-методології управління проектами, які підсилять позитивні, та усунуть негативні впливи на формування КМУП як в традиційному, так і в електронному вигляді.

Виклад основного матеріалу.

Задачею команди впровадження методології управління проектами (МУП) є вибір таких впливів, які істотні для формування оптимальної КМУП.

В такому розумінні впливи можуть бути позитивними та негативними, незалежними та залежними від команд проекту та задіяних у проекті впровадження МУП. В свою чергу можна виділити такі впливи, які не плануються керівництвом і найчастіше виникають як небажані і шкідливі для проекту, а також такі, що формуються задіяними у проекті та командою впровадження МУП для того, щоб досягти цілей проекту формування оптимальної КМУП. Всі ці впливи утворюють систему впливів і визначають функціональність системи управління проектами.

Крім того, спільна дія впливів за своїми наслідками (позитивним чи негативним) може істотно перевищувати реакцію від дії кожного окремого впливу. Тобто виникає синергетичний ефект, який команда проекту може використовувати для протидії негативним впливам при формуванні оптимальної КМУП за обмежених ресурсів. Але з іншого боку, можлива і ситуація виникнення негативної синергетики, коли посилюється негативний вплив окремих факторів на проект впровадження. Щоб зменшити наслідки таких впливів, необхідно визначати позитивні впливи на формування КМУП та сформулювати «оболонку» їх позитивної дії в не залежності, традиційна це методологія, чи методологія електронного проектного менеджменту. Різниця лише в тому, що в електронному проектному менеджменті менш

важливі соціальні та психологічні аспекти ММУП, але більш важливі технічні і технологічні. Але в цілому їх необхідно реалізовувати в обох випадках.

«Оболонку» впливів пропонується реалізовувати через принципи ММУП, які будуть в основі забезпечення позитивних впливів та протидії негативним при формуванні КМУП. Ці принципи дозволять спрямовувати основні управлінські зусилля на нейтралізацію дії небажаних впливів та їх комбінацій.

Розглянемо детально впливи на формування КМУП, сформовані у роботах [9, 10], виділимо результати впливів, та охарактеризуємо компоненти проектів формування КМУП, які будуть змінюватись під дією цих впливів.

1. Впливи знань з ММУП на формування КМУП (Z^m) – база спеціально підібраних знань, які ґрунтуються на інструментах ММУП, зорієнтовані на формування КМУП через прогнозовані впливи. Виокремлені в [9] знання з ММУП, сприяють впровадженню МУП та реалізації ітераційного методу формування КМУП. Це тільки позитивні впливи, які не вимагають протидії. Ці впливи визначають позитивні зміни у всіх компонентах проекту впровадження МУП. Особливо важливий цей компонент для електронного проектного менеджменту. Оскільки вимагає технічних та технологічних знань способів побудови систем електронного проектного менеджменту [11].

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив можна реалізувати тільки в рамках ММУП.

2. Внутрішні впливи на процес формування КМУП (V^n) – взаємодії, які виникають між безпосередньо задіяними у проекті впровадження МУП та командою проекту.

Основними внутрішніми впливами є: вплив задіяних у проекті, вплив команди проекту, вплив різних «професійних мов» між задіяними в проекті та командою впровадження МУП, вплив методів і засобів комунікації, вплив бюджетних та соціально-економічних умов впровадження МУП. Представимо ці впливи більш детально.

2.1. Вплив задіяних у проекті полягає у тому, що вони реалізують різні цілі, формують різні вимоги до КМУП, впливають на проект впровадження МУП у відповідності зі своїми інтересами, компетенцією і ступенем «залученості» в процес формування КМУП.

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив може породити безліч конфліктів між задіяними в проекті, навіть призвести до його зупинки. Адже від впливу команди проекту багато в чому залежить прогрес і успіх формування КМУП. Якщо мова про електронний проектний менеджмент, то ці впливи не мають великого значення із-за відсутності постійних взаємодій між членами команди.

Для забезпечення позитивного впливу задіяних в проекті на формування КМУП пропонується реалізовувати наступні принципи:

- підбір кваліфікованого керівника проекту формування КМУП;
- чіткий розподіл функцій, відповідальності та задач, які потрібно розв'язати;
- проведення тренінгів, семінарів, навчань задіяних у проекті формування КМУП;
- мотивація за результати спільної діяльності.

2.2. Вплив різних «професійних мов». Використання єдиної мови сприяє оптимальному формуванню мети та основних вимоги до методології управління проектом та використання методологій управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах. А відсутність такої «єдиної мови» створює безліч проблем як в управлінні таким проектом, так і в його реалізації:

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив може призвести до неправильного розуміння завдань, розпоряджень і т.п. Що в свою чергу знизить рівень виконавської дисципліни і збільшить кількість невчасно виконаних завдань.

Для усунення цього негативного впливу через використання єдиної професійної мови менеджерів і спеціалістів, задіяних в проекті впровадження МУП пропонується реалізовувати наступні принципи:

- вчитись, вчитись і ще раз вчитись професійному проектному менеджменту;
- контроль за рівнем професійних знань задіяних в проекті;
- регулярне проведення корпоративних зустрічей команди проекту з задіяними в проекті;
- взаємопроникнення сфер діяльності задіяних в проекті та команди проекту;
- введення ролі тренера по професійному проектному менеджменту для задіяних в проекті.

2.3. Вплив методів і засобів комунікації полягає у визначенні повноти, достовірності та оперативності обміну інформацією між задіяними у проекті, щодо формування КМУП. Особливо це важливо для електронного проектного менеджменту.

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив дасть можливість задіяним в проекті отримувати своєчасну, достовірну, повну інформацію про проект. Цей вплив явно є позитивним.

Для реалізації цього позитивного впливу пропонується використовувати наступні принципи:

- доступності, простоти, системності;
- здатності швидкого пошуку необхідної інформації та надання її в потрібний час.

2.4. Бюджетні впливи пов'язані з кошторисом і бюджетом проекту впровадження МУП, стимулами і пільгами та іншими економічними факторами, що діють всередині проекту формування КМУП і визначають вартісні характеристики цих документів. Рационалізація економічних впливів має забезпечити досягнення максимального результату проектів за обмежених ресурсів.

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив є позитивним і дає можливість чітко спланувати проект впровадження МУП. Тому він дуже потрібен.

Для реалізації цього позитивного впливу пропонується використовувати наступні принципи:

- чотирьох рівностей:
план = бюджет = виконання = оплата;
- в основі проектів модель витрат-вигод;
- обов'язково передбачати статтю непередбачуваних витрат;
- формувати бюджет знизу-вгору;
- розпоряджатись бюджетом повинен керівник проекту.

2.5. Вплив соціально-економічної ситуації в проекті формування КМУП полягає у забезпеченні достойних умов життя для задіяних у проекті. Баченні того, що після формування КМУП, їх умовами праці та техніки безпеки покращиться.

Якщо соціально-економічна ситуація незадовільна – то і вплив буде негативним.

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив призводить до небажання працівників виконувати роботу в проекті.

Якщо, в проєкті позитивна соціально-економічна ситуація – то і вплив буде позитивним.

Результат впливу без використання ММУП: цей вплив є позитивним і гуртує команду навколо спільних цінностей, створених позитивною соціально-економічною ситуацією в проєкті.

Принципи ММУП забезпечення позитивних (і усунення негативних) впливів соціально-економічної ситуації в проєкті на формування КМУП:

- проєкт – частина життя задіяних в проєкті. Жоден проєкт не повинен погіршувати їх соціальних стандартів;

- ні слова про політику. На роботі непотрібно ініціювати розгляд питань, які розділяють колектив на різні соціальні групи;

- дотримання зобов'язань.

3. Зовнішні впливи на процес формування КМУП (V^c) – породжуються взаємодіями, які знаходяться за межами проєкту впровадження методології управління проєктами та впливають безпосередньо чи опосередковано на процес формування КМУП.

Команда проєкту, яка впроваджує методологію стежить за зовнішніми впливами, з метою використання прямих та опосередкованих позитивних впливів, та виявлення і створення умов для протидії негативним впливам, а також складає прогноз формування КМУП при дії цих впливів.

Зовнішні впливи розділимо на впливи: впливи постійної організації та впливи, які існують поза межами підприємства.

3.1. Вплив постійної організації визначає продуктову структуру КМУП та конфігурацію всього проєкту впровадження МУП. Крім того вплив постійної організації визначає взаємовідносини між задіяними у проєкті, розподіл прав, відповідальності та обов'язків між ними і впливає на формування КМУП. Вплив постійної організації залежить від організаційної структури самої організації та ваги в цій структурі різних підрозділів. Формування КМУП – не моноструктура, а мультиструктура, в якій деякі компоненти КМУП будуть унікальними для кожного відокремленого підрозділу.

Впливи постійної організації, за результатами, можуть бути як позитивними, так і негативними. Позитивними результатами впливу постійної організації є:

- повні вимоги до формування КМУП з точки зору підприємства;

- забезпечення інформацією про МУП всіх задіяних у проєкті формування КМУП;

- визначення можливості і ступеня задоволення вимог з боку підприємства до КМУП;

- визначення форми і масштабів збору інформації про вимоги до КМУП і їх змінах;

- формування критеріїв оцінки пріоритетів та ієрархії вимог до формування КМУП: від обов'язкових для виконання до «дрібних побажань».

Негативними результатами впливу постійної організації є:

- кадрова політика, в основі якої уподобання керівництва, а не професіоналізм;

- інтереси сьогодення, а не розвитку в майбутнє. Відповідно зацікавленість в КМУП, яка відображає поточні потреби, а не орієнтована на майбутнє;

- впровадження КМУП тільки «на папері»;

- постійні зміни в баченні КМУП;

- відсутність об'єктивних оцінок результатів впровадження МУП.

Розглянемо позитивні і негативні впливи постійної організації більш детально.

3.1.1. Вплив стилю керівництва визначає взаємовідносини та розподіл прав, відповідальності та обов'язків між задіяними у проєкті, формує як психологічний клімат так і загальну атмосферу роботи в цілому між задіяними у проєкті, має значення на вияв творчої активності та працездатності задіяних у проєкті.

Можна виділити три стилі керівництва – демократичний, авторитарний і ліберальний. Розглянемо їх позитивні і негативні сторони.

Якщо формування КМУП буде реалізовано за демократичного стилю керівництва, з точки зору керівника-лідера, який зацікавлений у впровадженні МУП, то команда проєкту має так організувати свою роботу щоб повністю підтримати даний стиль керівництва, враховуючи думки та побажання підлеглих.

Результат впливу без використання ММУП: вплив цього стилю, в основному, є позитивним і гуртує команду навколо «розумного» стилю керівника.

Принципи ММУП забезпечення позитивного впливу на формування КМУП для демократичного стилю керівництва:

- добровільне сприйняття команди проєкту задіяними у проєкті та навпаки,

- вільне спілкуванні між командою проекту та задіяними у проекті;
- добровільність підпорядкування;
- формування КМУП виконується через психологічний вплив, на основі сприйняття, наслідування, навіювання, розуміння, ведучи за собою задіяних у проекті.

За авторитарного стилю керівництва команда проекту зустрінеється з такими труднощами, як недовіра, втручання та постійний контроль її дій. Разом з тим, якщо такий керівник зацікавлений у впровадженні МУП, то команда проекту має менше супротиву, щодо формування КМУП, зі сторони усіх інших хто задіяний у проекті.

Результат впливу без використання ММУП: вплив цього стилю є позитивним в тому випадку, коли команда розуміє, що цей стиль потрібен для підвищення дисципліни, відповідальності і т.п.

До принципів ММУП забезпечення позитивного впливу на формування КМУП для авторитарного стилю керівництва можна віднести:

- «прийняття» пропозицій керівника, щодо впровадження МУП;
- розробка плану впровадження МУП командою проекту та його затвердження після погодження керівником;
- призначення відповідальних за впровадження МУП у відділах підприємства;
- принципові рішення приймаються тільки з подачі керівника підприємства;
- формування КМУП виконується через вказівки керівника, залишаючи для працівників тільки невелику можливість для прояву ініціативи.

За ліберального стилю керівництва команда проекту працюватиме із усіма, окрім керівника, оскільки роль керівника за такого стилю керівництва - роль посередника при здійсненні контактів між командою проекту та працівниками.

Результат впливу без використання ММУП: вплив цього стилю, в цілому, є позитивним для команди, але може розхолоджувати колектив.

До принципів ММУП забезпечення позитивного впливу на формування КМУП для ліберального стилю керівництва відносяться:

- встановлення на самому початку проекту у взаємодії з керівником вимог та правил роботи по проекту;

- чітке визначення зон відповідальності керівництва проекту;

- призначення відповідальних у відділах за впровадження МУП;

- збір пропозицій у відділах щодо впровадження МУП;

- формування КМУП виконується у спільній співпраці з працівниками відділів.

3.1.2. Вплив керівництва підприємства визначає мету та основні вимоги до методології управління проектами, узагальнює окремі вимоги експертів та команди, яка впроваджує методологію до результатів впровадження, використання методологій управління проектами, методики і порядку коригування мети та вимог до процесу впровадження МУП та функціонування з боку відділів та фахівців проектно-орієнтованого підприємства, виходячи зі стратегії розвитку організації.

Результат впливу без використання ММУП: якщо керівник зацікавлений в проекті – позитивний. Вирішує проблеми, допомагає, захищає. Якщо керівник не приділяє проекту значної уваги – то його вплив перетворюється в недовіру і контроль. Що негативно впливає на проект впровадження МКП.

Принципи ММУП забезпечення позитивного впливу керівництва підприємства на формування КМУП:

- зацікавленість керівника підприємства у впровадженні МУП;
- погодження плану впровадження МУП керівником підприємства та командою впровадження;
- абсолютна довіра керівника підприємства до керівника проекту та надання йому повноважень прийняття рішення та відповідальності за нього;
- надання прав доступу команді впровадження до документації підприємства, на умовах її не розголошення;
- звітування керівника проекту перед керівником підприємства у встановлені терміни завершення етапів впровадження МУП;
- встановлення керівником підприємства штрафних санкцій перед керівником проекту, щодо не дотримання термінів впровадження МУП.

3.1.3. Впливи відділів та фахівців проектно-орієнтованого підприємства, які висувають свої вимоги до методології управління проектами та впливають на формування КМУП. Зазвичай це негативні впливи.

Результат впливу без використання ММУП: виникнення конфліктів з командою проекту. Це пояснюється тим, що працівників підприємства «в основному» влаштовує, те що є, і їм не потрібно впровадження нових методологій. А для команди проекту, це основне завдання. Тому команда буде негативно впливати на проект, на працівників, що задіяні в проекті.

Принципи ММУП забезпечення позитивного впливу відділів та фахівців проектно-орієнтованого підприємства на формування КМУП:

- всі задіяні в проекті є частиною постійної організації і поділяють її цілі і задачі діяльності;
- всі працівники постійної організації повинні бути інформовані про те, що відбувається в проекті;
- працівники підприємства повинні знати і приймати вигоди від впровадження МУП;
- всі взаємодії працівників підприємства з задіяними в проекті повинні бути спрямовані на позитив, розуміння один одного, допомога один одному;
- розвиток постійної організації можливий лише через проекти. Тому формування КМУП є життєво необхідним для постійної організації.

3.1.4. Технологічні впливи полягають у використанні інформаційних систем управління проектами.

Без використання ММУП технологічні впливи не реалізуються. Адже це частина системи управління проектом.

Принципи ММУП забезпечення позитивного результату від технологічних впливів на формування КМУП є:

- аналіз можливостей та загроз для інформаційних систем;
- використання лише захищених каналів зв'язку;
- використання CAD/CAM/CAE, CAPP та PDM систем;
- підбір, або розробка інформаційних технологій, які б задовольняли використання шаблонів методологічної документації;
- розробка інформаційної технології автоматизованого управління процесами формування КМУП.

3.2. Зовнішні впливи, які існують поза межами підприємства, можуть впливати на

формування КМУП та впровадження методології управління проектами, як через підприємство, так і безпосередньо. Класифікувати такі впливи можна на: політичні та правові, економічні, соціальні та культурні. Ці впливи, в основному, негативні. Крім того може виникнути синергетичний ефект між цими впливами, що значно підсилить їх негативний результат.

3.2.1. Політичні та правові впливи. Прийняті на законодавчому рівні рішення можуть бути вирішальними для успіху чи провалу формування КМУП. Різні чинники законодавчого та державного характеру можуть обмежувати формування КМУП і впливати на використання методологій управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах.

Результат впливу без використання ММУП: загроза всьому проекту. Зазвичай це вплив на власників та керівництво підприємства. В результаті вони самі змінюють умови виконання проекту. Як показує досвід найчастіше в небажаному для формування КМУП напрямку. З цієї причини, команда, яка впроваджує МУП повинна ретельно аналізувати політику і філософію держави щодо діяльності підприємства на якому впроваджується МУП.

Принципи ММУП забезпечення позитивного політичних та правових впливів на формування КМУП є:

- ні слова про політику в робочий час;
- деталізація та консолідація політичних і правових факторів, що впливають на підприємство;
- моніторинг бухгалтерських, податкових, правових змін у законодавстві;
- надання юридичних консультацій задіяним у проекті;
- затвердження плану роботи у разі політичних змін (наприклад, зміна відносин уряду з іноземними державами).

3.2.2. Економічні впливи забезпечують макроекономічний клімат, який формує рівень можливостей проектно-орієнтованого підприємства. По суті цей вплив визначає, як буде функціонувати підприємство. Чи матиме прибуток. Чи матиме кошти на розвиток взагалі, і на формування КМУП зокрема. Як показує досвід, ці впливи негативні.

Результат впливу без використання ММУП: дуже значна загроза реалізуємості,

прибутковості проектної діяльності підприємства взагалі.

Принципи ММУП забезпечення позитивного економічних впливів на формування КМУП є:

- прогнозування рівня та темпів інфляції;
- коливання курсу національної валюти відносно валют інших країн;
- прогнозування одержання кредиту та процентна банківської ставки;
- прогнозування співвідношення попиту і пропозиції;
- прогнозування платоспроможності підприємства;
- розробка шаблону дій підприємства у різних економічних ситуаціях.

3.2.3. Соціальні та культурні впливи пов'язані з різними соціальними відносинами і культурними цінностями суспільства. Впливають на настрій задіяних в проекті, їх дружні відношення, їх зайнятість в неробочий час.

Результат впливу без використання ММУП: загроза самореалізації і вплив на взаємовідносини серед задіяних в проекті. Такі впливи можуть як об'єднати команду, так і розділити її.

Принципи ММУП забезпечення позитивного соціальних та культурних впливів на формування КМУП є:

- всі люди рівні – соціальні відмінності між ними надумані.
- дослідження та ранжування трендових соціально-культурних тенденцій у суспільстві;
- запровадження важливих соціально-культурних тенденцій на підприємстві.

4. Додаткові впливи на управління проектами (V^d). Під додатковими впливами будемо розуміти впливи, які пов'язані з непростійними факторами (можуть бути, а можуть і не бути). Вони в більшості випадків негативно впливатимуть на проект впровадження МУП.

Додаткові впливи виникають у зв'язку з: критичністю процесу, недосвідченістю команди проекту та задіяних у проекті впровадження МУП, великою кількістю одночасних завдань та нераціональним графіком виконання робіт у проекті, тривалим часом впровадження МУП.

4.1. Вплив критичності процесу полягає у зв'язності процесів впровадження МУП, що безпосередньо впливає на дату завершення формування КМУП.

Результат впливу без використання ММУП: порушується план і бюджет проекту. Виникають незаплановані роботи.

Принципи ММУП забезпечення позитивного впливу критичності процесу на формування КМУП є:

- розповсюдження графіку виконання залежних робіт із штрафними стягненнями за невиконання завдання між задіяними у проекті;
- розробка системи моніторингу графіку виконання залежних робіт та нагадування про кінцеві дати їх виконання;
- залучення кваліфікованих спеціалістів із сторони для виконання певних робіт;
- контроль процесів проекту;
- жорсткий контроль дотримання графіку виконання робіт.

4.2. Вплив недосвідченості команди проекту та задіяних у проекті ставить під загрозу реалізованість проекту впровадження МУП. Адже недостатні знання та вміння задіяних у проекті призводять до не адекватних впливів на оточення. Що з одного боку створює видимість, що все в порядку (рішення ж приймаються, і немає професіоналів, щоб їх критично оцінити), з іншого боку до негативних наслідків цих впливів на проект.

Результат впливу без використання ММУП: якщо команда недосвідчена, то всі рішення що приймаються її членами з великою імовірністю не є кращими і призводять до того, що в кращому випадку проект не буде оптимальним, а в гіршому випадку взагалі не буде реалізованим. По суті не оптимальні рішення і є впливом на проект. Впливом, який призводить до негативних результатів. порушується план і бюджет проекту.

Принципи ММУП протидії негативно-му впливу недосвідченості команди проекту та задіяних у проекті на формування КМУП є:

- підбором команди проекту повинен займатися керівник проекту;
- прийняття рішень командою в цілому з залученням керівництва компанії і проекту;
- проведення спільних навчань;
- керівник підприємства встановлює відповідальних у відділах, з якими буде безпосередньо працювати команда проекту. Команда проекту відповідає за навчання відповідального, відповідальний – інших працівників, які задіяні у проекті;
- системне проведення перевірки знань.

4.3. Вплив нераціонального графіка впровадження МУП проявляється нереальними термінами виконання робіт, великою кількістю завдань для виконавців проекту, які треба виконати в один і той же час. Такі впливи сприяють поганому відношенню у працівників підприємства до задіяних в проекті, а задіяних в проекті до керівництва. Це призводить до розвитку супротиву до задіяних у проекті, наслідком чого будуть постійні конфлікти і неможливість формування не оптимальної КМУП.

Результат впливу без використання ММУП: порушується план і бюджет проекту. Постійно коригується план.

Можна запропонувати наступні принципи ММУП, які забезпечують протидію негативному впливу нераціонального графіку впровадження МУП:

- розробка графіку у відповідності з функціональними обов'язками задіяних у проекті, з врахуванням їх завантаженості та представлення його у візуальній формі;
- завчасне погодження графіку роботи та на його основі розробити наказ щодо виконання даних робіт;
- здійснення контролю складання та виконання графіку в сучасних програмних засобах.

4.4. Довготривалість впровадження МУП діє на усіх хто працює у проекті, з точки зору непотрібності впровадження МУП та підкреслення того, що МУП ніколи працювати не буде.

Результат впливу без використання ММУП: з'являється невіра у керівництва стосовно можливості реалізації проекту і формування КМУП.

Можна запропонувати наступні принципи забезпечення позитивного впливу довготривалості впровадження МУП:

- звітування команди проекту про недоотримання плану впровадження із вказівкою причин;
- розгляд комісією звіту команди проекту, встановлення термінів завершення проекту впровадження МУП та застосування штрафних санкцій до винних у затримці впровадження МУП;

- формування оптимальної КМУП на основі аналізу впливів на затримку впровадження МУП.

Висновки. Визначено впливи на формування КМУП та встановлено результат впливів без використання ММУП.

Запропоновано принципи ММУП, які забезпечують протидію негативним впливам впровадження МУП.

Список літератури

1. Копитько О. О. Впровадження системної методології програмного та проектного управління стратегічним розвитком територій в Україні. Публічне адміністрування: теорія та практика: електрон. зб. наук. пр. 2010. Вип. 2 (4). URL: <http://www.dbuapa.dp.ua/zbirnik/2010-02/10koortu.pdf>. – Назва з екрана.
2. Чемерис А. О. Розроблення та управління проектами у публічній сфері: європейський вимір для України: практ. посіб. Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні – DESPRO». Київ: Софія-А, 2012. 80 с.
3. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С., Неизвестный С. И. Механизмы конвергенции методологий управления проектами. *Управление развитием сложных систем*. 2012. № 11. С. 5–13.
4. Whitaker S. How to build your own project management methodology. *Copyright Sean Whitaker*. 27 February 2014. URL: <http://seanwhitaker.com/how-to-build-your-own-project-management-methodology/>
5. PM GUIDE 01 Selecting a project management methodology. Enterprise Solutions. *Victorian Government Cio Council*. 2014. URL: <http://www.enterprise-solutions.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/07/PM-GUIDE-01-Project-management-methodology-selection-guideline.pdf>
6. Рач В. А., Россошанська О. В., Медведева О. М. Стан та тенденції розвитку тріадної методології управління проектами. *Управление развитием сложных систем*. 2010. Вип. 3. Київ: КНУБА. С. 118–122.

7. Тесля Ю. М. Введение в информатику природы: монография. Киев: Маклаут, 2010. 255 с.
8. Медведєва О. М. Концептуальна модель механізму несилової взаємодії елементів культурного простору проекту. *Управління проектами та розвиток: зб. наук. пр.* Луганськ: Вид-во СЛУ ім. Даля, 2010. № 1 (33). С. 146–153. URL: <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/33/10momkpp.pdf>
9. Тесля Ю. М., Хлевна Ю. Л. Структура знань в мета-методології управління проектами. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 78–86.
10. Teslia I., Khlevnyi A., Khlevna I., Gerasymenko S. Control of informational impacts on project management. *Data Stream Mining and Processing (DSMP'2016)*, 23.08-26.08. L., 2016. H. 387–392.
11. Єгорченкова Н. Ю., Єгорченков О. В. Концепція централізації інформації на проектно-орієнтованих підприємствах. *Modernization of socio-economic systems: the new economic conditions*: International science conference (28 September 2016), Kielce, Poland. P.191–193.
4. Whitaker, S. How to build your own project management methodology. *Copyright Sean Whitaker, 27 February 2014*. URL: <http://seanwhitaker.com/how-to-build-your-own-project-management-methodology/>
5. PM GUIDE 01 (2014) Selecting a project management methodology Enterprise Solutions. *Victorian Government Cio Council*. URL: <http://www.enterprisesolutions.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/07/PM-GUIDE-01-Project-management-methodology-selection-guideline.pdf>
6. Rach, V. A. Rossoshanskij, A. V., Medvedeva, E. M. (2010) Status and trends of triad project management methodology. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, vol. 3. Kyiv: KNUBA, pp. 118–122 [in Ukrainian].
7. Teslia, Yu. M. (2010) Introduction to informatics of nature, 255 p. [in Russian].
8. Medvedeva, E. M. (2010) Conceptual model of non-forcible mechanism of interaction of elements of cultural space project. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok*: coll. of scient. papers. Luhansk: Vyd-vo SNU im. Dalya, No. 1 (33), pp. 146–153. URL: <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/33/10momkpp.pdf>
9. Teslya, Yu. M., Khlevna, Yu. L. (2017) Structure of knowledge in the project management meta-methodology. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, No. 29, pp. 78–86 [in Ukrainian].
10. Teslia, Yu., Khlevnyi, A., Khlevna, Yu., Gerasymenko, S. (2016) Control of informational impacts on project management. *Data Stream Mining and Processing (DSMP'2016)*, 23.08-26.08. L., pp. 387–392.
11. Yehorchenkova, N. Yu., Yehorchenkov, O. V. (2016) The concept of centralizing information on project-oriented businesses. *Modernization of socio-economic systems: the new economic conditions* (28 September). Kielce, Poland, pp. 191–193 [in Ukrainian].

References

1. Kopytko, A. A. (2010) Implementation systematic methodology and project management software strategic development areas in Ukraine. *Public Administration: Theory and Practice*: electron. coll. of scient. papers. Vol. 2 (4). URL: <http://www.dbuapa.dp.ua/zbirnik/2010-02/10koortu.pdf>
2. Chemeris, A. O. (2012) Development and project management in the public sector: a European dimension for Ukraine. Kiev: Sofia-A, 80 p. [in Ukrainian].
3. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S., Neizvesniy, S. I. (2012) Convergence mechanisms of project management methodologies. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, No. 11, pp. 5–13 [in Russian].

Yu. M. Teslia¹, *D.Sc., professor*,
e-mail: teslya1958@ukr.net

Yu. L. Khlevna¹, *Ph.D.*,
e-mail: yuliya-khlevna@yandex.ua

N. Yu. Yehorchenkova¹, *Ph.D.*,
e-mail: realnata@ukr.net

D. I. Koshelieva², *student*
e-mail: diana.koshelieva@nure.ua

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv
Volodymyrska str., 60, Kyiv, 01033

²Kharkiv National University of Radioelectronics
Nauky ave., 14, Kharkiv, 61000

IMPACTS ON THE FORMATION OF CUSTOMIZED PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY

It is established that the analysis, classification and prediction of impact result is one of the key factors for successful formation of customized project management methodology (CPMM) and its use in the project-oriented enterprises. The impacts acting on CPMM formation, that is: knowledge impacts of project management meta-methodology, external impacts, internal impacts and additional impacts on CPMM formation, are singled out.

The results of impacts action without using project management meta-methodology (PMMM) are described and their positive and negative features are characterized.

It is proposed to identify positive effects on the formation of CMMM and to form the "wrapper" of their positive action in order to mitigate negative impacts. Such "wrapper" is presented by the set of PMMM principles that form the basis of positive impacts and provide counteraction to negative impacts on the formation of CPMM. These principles will enable to direct the main management efforts in order to neutralize the action of undesirable effects.

Keywords: *concretized project management methodology, impact, classification of impacts, project management meta-methodology, principles for providing positive impacts.*

Статтю представляє Ю. М. Тесля, д.т.н., професор.

УДК 504.064.3

М. М. Медведський¹, к.ф.-м.н.,**М. Т. Арібжанов², магістр,****О. С. Гавриш², к.ф.-м.н., доцент**¹ Головна астрономічна обсерваторія НАН України
вул. академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03680, Україна² Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна
(0472) 730261

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІДАРУ

В роботі за допомогою лідарного комплексу для дистанційного зондування атмосфери, що є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосієво, отримано експериментальні результати підрахунку фотонів, що відбилися від аерозолів, які характеризують концентрацію домішок в атмосфері. Побудовано контурні діаграми концентрації домішок від глибини зондування атмосфери і кута підвищення для чотирьох азимутальних напрямків.

Ключові слова: лідар, дистанційне зондування, концентрація домішок в атмосфері, кількість фотонів.

Вступ. Моніторинг забруднення атмосфери газовими сумішами методами лідарного зондування є актуальною задачею [1–6]. Використання лазерного дистанційного зондування дозволяє оперативно і на великих відстанях проводити вимірювання параметрів атмосфери [7–10]. В роботах [11–13] синтезовано лідарний комплекс для дистанційного зондування атмосфери, що є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосієво [14]. Лазерний передавач випромінює на одній довжині хвилі зеленого спектру (532 нм), що дещо звужує коло його застосування. Для оцінки потенційних можливостей лідарного комплексу необхідно провести тестування його роботи як апаратної так і програмної частин. Отримані експериментальні результати, з одного боку, дозволять оцінити ефективність роботи лідарного комплексу, ступінь впливу умов експлуатації на режим його роботи, а з іншого – мають самостійну цінність, оскільки характеризують концентрацію домішок в атмосфері.

Постановка задачі. Джерелом випромінювання є лазер з довжиною хвилі 532 нм, енергією випромінювання – до 10 мДж і тривалістю випромінювання – 50 пс. Оптичний дзеркальний телескоп системи Кассегрена [14] дозволяє проводити зондування по двох координатах, змінюючи азимут та кут підвищення. Мінімальне значення кута підвищення програмно обмежене значенням 20 градусів, а

максимальне становить 80 градусів. Потенційно є можливість отримати результати для повного оберту телескопу з заданим кроком в азимутальній площині для фіксованого значення кута підвищення. В режимі тестування лідарного комплексу експериментальні дані про кількість відбитих фотонів, що характеризують концентрацію домішок в атмосфері, отримуються для чотирьох азимутальних напрямків з кроком 90 градусів. Такий експеримент після обробки дозволить побудувати картину концентрації домішок і хмар (контурні діаграми), але через фіксовану частоту випромінювача не дасть інформацію про хімічний склад. Якщо через деякий час повторно отримати результати і порівняти картинки, то можна зробити висновок про напрямок і динаміку руху повітряної маси. Розширення функціональних можливостей супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосієво підвищує її рейтинг серед подібних станцій, а отримана інформація насамперед може бути використана для екологічного моніторингу та для оцінки метеорологічного стану атмосфери.

Мета роботи полягає в отриманні експериментальних даних за допомогою лідарного зондування атмосфери в режимі тестування (з кроком 90 градусів в азимутальній площині), побудові контурних діаграм розподілу концентрації домішок і інтерпретація отриманих результатів.

Результати роботи. В результаті зондування атмосфери за допомогою лідaru спостерігач отримує вибірку чисел, які записані в лічильнику події для кожної комірки пам'яті, після чого їх необхідно додатково перерахувати щоб отримати з цих даних корисну інформацію про вимірювану фізичну величину, а саме, про розподіл концентрації аерозолів вздовж променя для вибраного азимуту та кута місця. Процес обробки здійснюється в кілька етапів.

Перший етап полягає в зчитуванні даних з пристрою і в процесі запису даних потрібно зробити просту арифметичну операцію – віднімання. Оскільки ми зчитуємо число з лічильника, то для нас воно не так важливе, як число імпульсів, що відповідає цій комірці. Щоб розрахувати число відбитих імпульсів, потрібно від значення поточної комірки пам'яті відняти попереднє значення, саме це число і буде нас цікавити. Слід мати на увазі, що лічильник рахує від 0 до 15, тому у випадку переповнення ми отримаємо від'ємне число. Щоб таких чисел не виникало, то в програмі обробки записаний алгоритм, який слідкує за отриманими даними і в разі переповнення до отриманого результату додаватиме число 16 і в результаті отримаємо правильні дані.

Другий етап обробки теж заснований на додаванні, але в цьому випадку це буде накопичення інформації. Пояснення цього методу таке, що сам по собі один промінь є малоінформативним, тому для підвищення точності вимірювань будемо додавати значення приросту для кожної з комірок за 10 пострілів лазера. Отримані дані в результаті такого додавання не будуть значною мірою спотворені чи не правильні, а навпаки, картинка буде чіткішою внаслідок збору більшої інформації про дану ділянку напрямку. Враховуючи і динамічність ситуації на небі, картинка не буде сильно розмитою, оскільки 10 пострілів лазера з частотою 10 Гц займатимуть час 1 секунду, за цей час хмари далеко не перемістяться, тому для кожної вибірки будемо вважати, що картинка статична. В кінці додавання цих 10 вибірок під час запису в файл отриманих результатів програма буде дописувати до файлу координати телескопа, дату та час спостереження, для того, щоб в подальшому було зрозуміло де і коли було отримано дану вибірку.

Під час зондування з фіксованим азимутом потрібно обрати крок висоти. Проаналі-

зувавши технічні можливості всієї системи [11], було прийнято рішення обирати крок зміни висоти 1 градус. Для спрощення проведення дослідження максимальний кут підвищення (елевація) складає близько 70° - 80° , оскільки чим більша висота, тим тонша атмосфера і отримані дані будуть нести менше корисної інформації.

Третій етап обробки є завершальним. На цьому етапі будуються графіки отриманих даних для того, щоб візуально побачити розподіл концентрації аерозолів в атмосфері. Раніше ми говорили про приріст числа в наступній комірці пам'яті відносно попередньої, саме зараз нас буде цікавити цей приріст. Логіка аналізу відбитого променя наступна: оскільки промінь відбивається тим інтенсивніше, чим більша концентрація в повітрі домішок, тому для обробки і будемо застосовувати цей принцип, а саме – виділятимемо різними кольорами або одним кольором з різною градацією яскравості.

Опрацювання отриманих даних є не простою задачею. На початку збору та обробки даних використовується операційна система MS-DOS. Дана операційна система являється однозадачною, з прямим доступом до зовнішніх пристроїв. Крім того, через її простоту вона потребує менше ресурсів апаратної частини і це, в певній мірі, збільшує швидкодію при роботі на старих моделях ПК, які в нашому випадку і застосовувалися. В такій системі легко звернутися до паралельного чи послідовного порту, що є важливо, оскільки розроблений пристрій не має ніяких стандартних драйверів і він підключається через паралельний порт. В процесі налаштування було написано дві аналогічні програми мовою C++ та Turbo Basic. В процесі тестування ми переконалися, що доцільніше користуватися програмою на мові C++, оскільки ця програма має інші вбудовані алгоритми і має більшу швидкодію.

Програма на мові C++ буде зчитувати дані з пристрою, рахувати приріст для кожної комірки, додаватиме дані 10 вимірювань і записувати результати в файл з додаванням до файлу координати телескопа, дату та час сеансу. В результаті отримаємо для одного сеансу один файл з розширенням .dat, в якому буде дві колонки: в першій колонці порядковий номер комірки (від 0 до 8192), і в іншій колонці напроти кожного номеру комірки значення приросту. В самому заголовку файлу буде приписка координат та дати і часу.

Потім перенесемо отримані файли з комп'ютера на інший, в нашому випадку, з операційною системою Windows. Є безліч програм для побудови графіків, тому скористаємося найпоширенішою програмою – таблицним редактором Microsoft Excel. Завантажимо в програму дані кожного сеансу. В програмі будемо графіки отриманих даних і налаштуємо їх вигляд таким чином, щоб колір відповідав інтенсивності.

Розглянемо результати експерименту. Планувалося, що зондування атмосфери здійснюватиметься в півсфері, тобто азимут змінюватиметься від 0 до 360 градусів з певним кроком, а кут підвищення (елевація) складатиме від 0 до 90 градусів. Проте при проведенні реального експерименту, виявилось, що отримати такий масив експериментальних даних доволі складно, тому зміна значень азимуту проводилась з кроком 90 градусів, а кут елевації змінювався від 20 до 70 градусів з кроком 1 градус. Потенційно можна покращити верхню межу вимірювань до 80 градусів. Отримані результати по суті описуються тривимірним графіком, оскільки залежать від трьох параметрів:

- 1) відстані вимірювальної установки,
- 2) кута підвищення,
- 3) кількості фотонів, що потрапили на фотоелектронний помножувач.

На рис. 1 наведено результати зондування атмосфери за допомогою лідару. По горизонтальній вісі відкладено відліки часу проходження сигналу, один відлік відповідає 0,1 мкс, що відповідає відстані в 15 м.

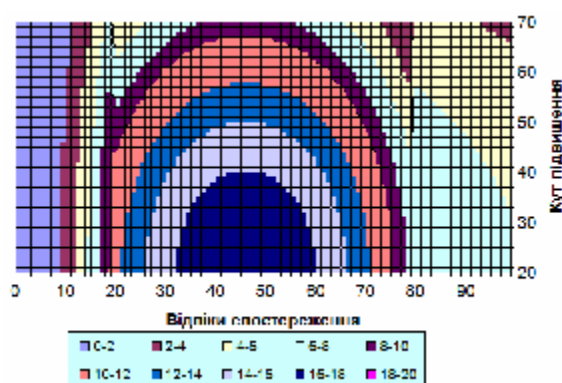


Рис. 1. Залежність концентрації фотонів від глибини зондування атмосфери і кута спостереження для значення азимуту 0° (360°)

Дані отримані для 8 192 відліків, що відповідає дальності 122,88 км, проте основний інтерес представляють висоти до 1,5 км, тобто

цілком достатньо опрацювати 100 відліків (враховуючи мінімальний кут нахилу телескопа 20 градусів). По вертикальній осі відкладається кут нахилу, тому графік сприймався б більш природно в полярній системі координат, але враховуючи великий обсяг даних і пов'язані з цим обчислювальні труднощі, обмежилися побудовою графіків в декартових координатах. Третім параметром є концентрація фотонів, що відбилися від домішок в атмосфері, яка вказує на ступінь її забрудненості. Для опису інтенсивності відбиття можна використовувати або кольорову градацію зображення (рис. 1), або класичний тривимірний графік (рис. 2). З фізичної точки зору графік, представлений на рис.1, більш зрозуміло описує якісний характер досліджуваного процесу, а графік, наведений на рис. 2, дозволяє більш точно оцінити його кількісні показники.

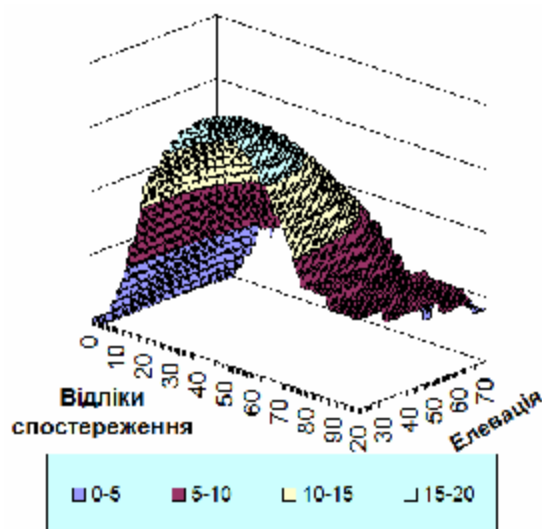


Рис. 2. Висотний профіль концентрації фотонів для значення азимуту 0° (360°)

Аналізуючи графіки, наведені на рис.1 і рис.2, можна зробити такі висновки:

- при азимуті 0 градусів максимум забруднення атмосфери відповідає сектору від 20 до 40 градусів на відстанях від джерела випромінювання орієнтовно від 495 м (33 відліка) до 915 м (61 відлік);
- низький рівень концентрації домішок в атмосфері (що відповідає потраплянню на фотоелектронний помножувач від 1 до 8 фотонів) спостерігається на відстанях від 0 до 270 метрів (18 відліків часу) для малих кутів підвищення (від 20 до 45 градусів). При подальшому варіюванні елевації спостерігається збільшення відстані, на якій концент-

рація фотонів не перевищує значення 8, і становить 555 м (або 37 відліків);

- на відстані 705 м (47 відліків) спостерігається максимальна концентрація домішок при будь-яких кутах спостереження;
- часта зміна кольорів в лівій частині графіку на рис.1 вказує на швидку динаміку підвищення концентрації домішок в атмосфері на відстанях до 705 м, в той час як однорідність фарбування графіка в правій частині вказує на сталість концентрації.

На рис.3 представлені результати зондування атмосфери для азимуту 90 градусів. В даному випадку максимум зворотного розсіювання атмосфери відповідає більш вужчому сектору від 20 до 30 градусів з меншою товщиною шару від 600 м (40 відліків) до 795 м (53 відліка).

Мала концентрація домішок в атмосфері спостерігається на тих же висотах, що і для азимутального напрямку 0 градусів, а саме на відстанях від 0 до 270 метрів (18 відліків часу) для аналогічних значень кутів підвищення (від 20 до 45 градусів). Градієнт (швидкість зміни) концентрації домішок має приблизно однакове значення для даних представлених на рис.1 і рис.3.

Екстремум графіка, представленого на рис. 3, також спостерігається на відстані 705 метрів (47 відліків).

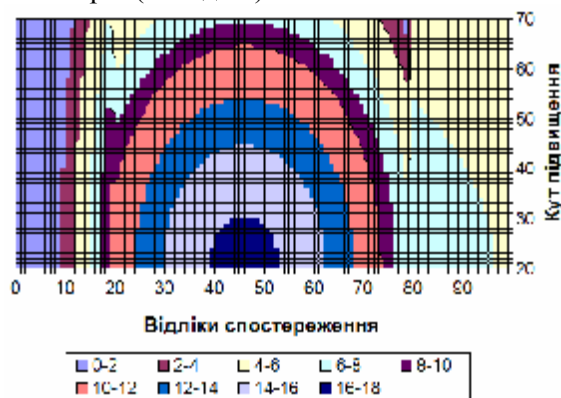


Рис. 3. Залежність концентрації фотонів від глибини зондування атмосфери і кута спостереження для значення азимуту 90°

Висока концентрація домішок в атмосфері, для азимуту 180 градусів (рис.4), спостерігається для значно меншої області простору порівняно з азимутальними напрямками 0 і 90 градусів (рис.1 і рис.3). При цьому максимальний рівень концентрації зменшується вдвічі порівняно з вже розглянутими напрямками. В даному випадку максимум забруд-

нення атмосфери спостерігається в інтервалі від 600 м (40 відліків) до 780 м (52 відліка) від джерела випромінювання для діапазону кутів підвищення від 20 до 29 градусів.

Для даного азимутального напрямку (рис. 4) спостерігається низький рівень концентрації аерозолів в атмосфері (що відповідає потраплянню на фотоелектронний помножувач від 1 до 8 фотонів) при будь-яких кутах підвищення і відстанях від джерела випромінювання. Найменша концентрація (від 1 до 4 фотонів) спостерігається на відстанях від 0 до 195 метрів (13 відліків часу) для кутів підвищення (від 20 до 49 градусів).

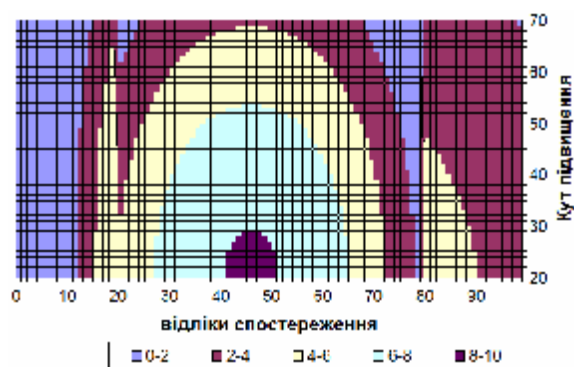


Рис. 4. Залежність концентрації фотонів від глибини зондування атмосфери і кута спостереження для значення азимуту 180°

В лівій частині графіка на рис.4 спостерігається несиметричне зростання концентрації домішок для рівнів 2-4 і 4-6 з максимумом на відстані 285 метрів (19 відліків), а в правій частині графіка після зменшення концентрації домішок до мінімального рівня на висоті 1,2 км (80 відліків) спостерігається сплеск концентрації до рівня 4-6, з поступовим зменшенням до рівня 2-4.

При азимуті 270 градусів (рис. 5) максимум забруднення атмосфери відповідає сектору від 20 до 24 градусів на відстанях від джерела випромінювання від 675 м (45 відліків) до 735 м (49 відліків). Отже товщина шару забруднення дорівнює 60 метрів.

Висновки. З отриманих графіків, можна судити про розподіл концентрації домішок в атмосфері для обраних азимутів та зміні кута підвищення від 20° до 70°. Всі графіки мають спільний максимум на відстані 705 м (47 відліків), але з різною концентрацією, з чого можна зробити висновок про наявність суцільного шару аерозолів з великою концентрацією домішок над всім місцем дослідження.

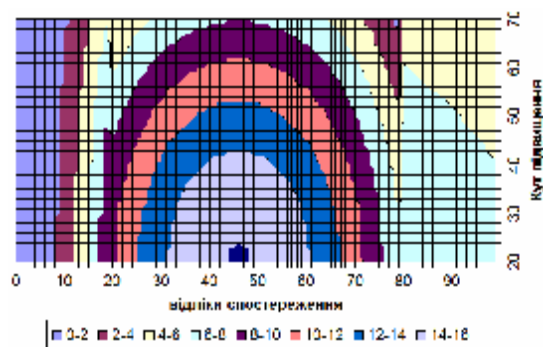


Рис. 5. Залежність концентрації фотонів від глибини зондування атмосфери і кута спостереження для значення азимуту 270°

На графіках спостерігається подібний якісний характер розподілу шарів з різною концентрацією домішок. На графіку для азимуту 180° спостерігається сплеск для рівнів 2-4 та 4-6. Поясненням таких розмитих даних є динамічність досліджуваного процесу і теоретично, якби вимірювання було проведено миттєво, то таких викидів і не спостерігалось б.

Список літератури

1. Бурков В. Д., Перминов С. В., Щукін Д. Г., Шалаев В. С. Лидарные методы контроля воздушного бассейна крупного промышленного центра в условиях чрезвычайной ситуации. *Лесной вестник*. 2013. № 7. С. 46–51.
2. Козинцев В. И., Орлов В. М., Белов М. Л. [и др.] Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: учеб. пособие для вузов/под ред. В. Н. Рождествина. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 528 с.
3. Матвиенко Г. Г., Банах В. А., Бобровников С. М. [и др.] Развитие технологий лазерного зондирования атмосферы. *Оптика атмосферы и океана*. 2009. № 10. С. 915–929.
4. Костко О. Лазер исследует атмосферу. *Наука и жизнь*. 2002. № 12. С. 47–54.
5. Лазерный контроль атмосферы/под ред. Э. Д. Хинкли. Москва: Мир, 1979. 416 с.
6. Зуев В. Е., Зуев В. В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 232 с.
7. Соломатин В. А. Методические указания к выполнению расчетных заданий по курсу «Лидары и сканеры»: учеб. пособ. Москва: Изд-во МИИГАиК, 2015. 23 с.
8. Веселовский И. А. Дистанционная лазерная диагностика аэрозольных и газовых составляющих атмосферы методами ра-

мановского и упругого рассеяния: дис. ... доктора физ.-мат. наук. Москва, 2005. 384 с.

9. Kirchner G., Koidl F., Kucharski D. Graz kHz SLR LIDAR: first results. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany, 2008. P. 373–375.
10. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере: учеб. пособ. Санкт-Петербург: Балтийский ГТУ «BOEHMEX», 2001. 56 с.
11. Medvedsky M. M., Hluschenko Yu. M., Aribjanov M. T. Lidar system on Kiev SLR 1824. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany, 2016.
12. Medvedsky M. M. New external calibration target on 1824. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany, 2016.
13. Медведський М. М., Арібжанов М. Т., Гавриш О. С. Лідарний комплекс для моніторингу метеорологічного стану атмосфери. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 1. С. 33–39.
14. Bolotina O. V., Hluschenko Yu. M., Medvedsky M. M. et al. Satellite laser ranging station 'Golosiiv-Kiev'. Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2001. 17 (6). P. 560–572.

References

1. Burkov, V. D., Perminov, S. V., Shchukin, D. G., Shalaev, V. S. (2013) Lidar methods of control of air pool in a large industrial center in an emergency situation. *Lesnoj vestnik*, No. 7, pp. 46–51 [in Russian].
2. Kozincev, V. I., Orlov, V. M., Belov, M. L. (2002) Opto-electronic systems of ecological monitoring of the natural environment. Edited by V. N. Rozhdestvin. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, p. 528 [in Russian].
3. Matvienko, G. G., Banah, V. A., Bobrovnikov, S. M. (2009) The development of technologies for atmosphere laser sensing. *Optika atmosfery i okeana*, No. 10, pp. 915–929 [in Russian].

4. Kostko, O. (2002) Laser is exploring the atmosphere. *Nauka i zhizn'*, No. 12, pp. 47–54 [in Russian].
5. Hinkli, E. D. (ed.) (1979) Laser monitoring of the atmosphere. Moscow: Mir, 416 p. [in Russian].
6. Zuev, V. E. (1992) Remote optical sensing of the atmosphere. St. Petersburg: Gidrometeoizdat [in Russian].
7. Solomatin, V. A. (2015) Methodical instructions to performance of settlement and assignments for the course "Lidar and scanners". Moscow: Izd-vo MIIGAiK, 23 p. [in Russian].
8. Veselovskii, I. A. (2005) Remote laser diagnostics of atmospheric aerosol and gas constituents by the methods of Raman and elastic scattering: thesis for Dr.Phys.-Mat.Sc., 384 p. [in Russian].
9. Kirchner, G., Koidl, F., Kucharski, D. (2008) Graz kHz SLR LIDAR: first results. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany, pp. 373–375.
10. Privalov, V. E., Shemanin, V. G. (2001) Lidar parameters for remote sensing of gas molecules and aerosol in the atmosphere. St. Petersburg: Baltiiskii GTU «VOENMEH», 56 p. [in Russian].
11. Medvedsky, M. M., Hluschenko, Yu. M., Aribjanov, M. T. (2016) Lidar system on Kiev SLR 1824. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany.
12. Medvedsky, M. M. (2016) New external calibration target on 1824. *The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network: proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*. Potsdam, Germany.
13. Medvedsky, M. M., Aribzhanov, M. T., Havrysh, O. S. (2017) Lidar complex for monitoring weather of atmosphere. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, (1), pp. 33–38 [in Ukrainian].
14. Bolotina, O. V., Hluschenko, Yu. M., Medvedsky, M. M. et al. (2001) Satellite laser ranging station "Golosiiv-Kiev". Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 17 (6).

M. M. Medvedsky¹, Ph.D.,

M. T. Aribzhanov², student,

O. S. Havrysh², Ph.D., associate professor

¹Main astronomical observatory of National academy of sciences of Ukraine
27 Akademika Zabolotnoho str., Kyiv, 03143, Ukraine

²Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE STUDY OF ATMOSPHERE METEOROLOGICAL STATE USING A LIDAR

In this paper, using lidar complex for remote sensing of the atmosphere, which is a part of the satellite laser locating station Kyiv-Golosievo, experimental results of counting of photons reflected by aerosols, which characterize the concentration of pollutants in the atmosphere, are obtained. Contour diagrams of impurities concentration on atmospheric probing depth and an angle of elevation for four azimuthal directions are constructed.

Keywords: lidar, remote sensing, concentration of pollutants in atmosphere, number of photons.

*Рецензенти: Лега Ю. Г., д.т.н., професор,
Палагін В. В., д.т.н., професор*

В. М. Манько, к.т.н., доцент,

e-mail: mankovm@ukr.net

В. М. Зотов, аспірант

e-mail: zotov_vetal@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет
6-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ МІЖВИТКОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І МЕТОДИ ЇЇ РОЗРАХУНКУ

У статті запропоновано способи дослідження та контролю стану ізоляції статорних обмоток електричних машин поліграфічних комплексів. Розроблено математичну модель оцінки надійності міжвиткової ізоляції і методи її розрахунку, що дає можливість визначити залежність вірогідності безвідмовної роботи ізоляції обмотки від часу при заданих умовах експлуатації. Проведено аналіз дії комутаційних перенапруг по секціях і витках обмотки внаслідок змішування дротів при всипанні їх в паз.

Ключові слова: надійність, міжвиткова ізоляція, обмотка, електрична машина, вірогідність, розподіл напруг, інтервал часу.

Вступ. На сьогодні друкарське обладнання потребує підвищення техніко-економічних характеристик і показників друкарських машин, а саме: коефіцієнта корисної дії, продуктивності і надійності при значному зниженню маси машин. Слід звернути увагу на основні тенденції сучасного друкарства: підвищення швидкохідності і потужності машин, автоматизацію, механізацію технологічних процесів, введення в дію автоматизованих ліній. Однак, потрібно мати на увазі, що збільшення потужності, швидкохідності і продуктивності машин, з одного боку поліпшує її техніко-економічні показники, з іншого боку – підвищує динамічні навантаження в деталях і складальних одиницях, що вимагає застосування сучасних механізмів, деталей, які виготовляються з високою точністю [1, 3].

Рационально спроектована і правильно виготовлена машина повинна бути міцною, довговічною, дешевою, економічною в роботі і безпечною в експлуатації.

Для привода друкарських машин та комплексів в основному застосовуються трифазні асинхронні двигуни, їх перевага в порівнянні з двигунами інших типів: простота конструкції, невелика ціна, більш висока експлуатаційна надійність. Надійність роботи електродвигуна в великій мірі характеризує надійність роботи привода поліграфічних комплексів. Як систему надійності можна

розглядати обмотку електродвигуна, в цьому випадку її елементами будуть пазова ізоляція, міжвиткова ізоляція, ізоляція виводних дротів. В той же час система ізоляції конкретної електричної машини може бути описана показниками надійності [2, 4, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія надійності вивчає загальні закономірності, які слід враховувати при проектуванні, виготовленні, експлуатації технічних об'єктів для забезпечення максимальної ефективності їх використання. Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта і умов експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, працездатність і т.д.

Всі властивості кожного виробу з точки зору його надійності характеризуються показниками надійності – кількісними характеристиками одного або декількох властивостей, що складають надійність об'єкта. До електроізоляційних матеріалів в відповідності з цим визначенням не може бути застосовано поняття «надійність». Окремо взятий електроізоляційний матеріал не є виробом так, як повинен бути застосований в конкретному виробі. В той же час система ізоляції електричної машини може бути описана показниками надійності, бо можна встановити режими і умови її використання. Деякі дослідники вважають, що використання таких понять як без-

відмовність, довговічність по відношенню до системи ізоляції не тільки можливі, але і необхідні. Вони пояснюють це тим, що для більшості електричних машин саме показниками системи ізоляції визначається безвідмовність.

Постановка завдання дослідження. Для побудови математичної моделі надійності міжвиткової ізоляції раціонально використувати методику теорії вірогідності і математичної статистики. По-перше, слід із всіх станів, в яких може знаходитися система, виділити стан, що відрізняється з точки зору надійності. По-друге, необхідно встановити функціональний зв'язок між елементами системи з точки зору надійності і врахувати характер впливу системи надійності окремих елементів, а також спосіб утворення системи із елементів. Крім того, можна прийняти припущення, що елементи відмовляють незалежно один від одного. Системи такого типу називаються послідовними.

Також слід встановити параметр досліджуваного елемента, який визначає його надійність. Так, як відмова обмотки визначається виникненням міжвиткового замикання, то таким параметром є пробивна напруга міжвиткової ізоляції. Відмова виникає в тому випадку, коли напруга прикладена до сусідніх витків, перевищує пробивну напругу міжвиткової ізоляції. Прикладена напруга і пробивна напруга міжвиткової ізоляції є випадковими величинами. Вірогідність того, що міжвиткова ізоляція не проб'ється, буде дорівнювати вірогідності того, що пробивна напруга міжвиткової ізоляції перевищує прикладену до неї напругу.

Метою роботи є побудова математичної моделі оцінки надійності міжвиткової ізоляції електричних машин видавничо-поліграфічних комплексів з розробкою методики її розрахунку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ідея побудови математичної моделі надійності міжвиткової ізоляції обмотки асинхронного двигуна показана на рис. 1. На цьому рисунку $g(U)$ – щільність вірогідності розподілу прикладання напруг, $f(U_{np})$ – щільність вірогідності розподілу пробивних напруг. В початковому стані (крива I) вірогідність того, що прикладена напруга перевищує пробивну дорівнює нулю, тоді вірогідність безвідмовної роботи системи ізоляції дорівнює одиниці. В процесі старіння під впливом зовнішніх фак-

торів проходить пошкодження ізоляційних проміжків і розподіл пробивних напруг змінюється (крива II). Спочатку визначимо вірогідність безвідмовної роботи P_e окремого елемента. На основі припущення, що надійність системи дорівнює надійності її найслабшого кола, визначимо вірогідність безвідмовної роботи системи, яка складається із n елементів. Будемо вважати, що пробивна напруга міжвиткової ізоляції U_{np} є щільністю вірогідності $f(U_e)$ і відповідно безперервною функцією розподілу $F(U_e)$.

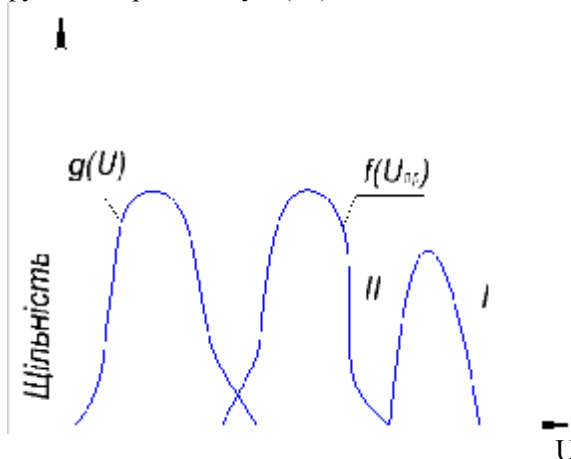


Рис. 1. Модель для визначення надійності міжвиткової ізоляції обмоток

Також можна представити, що прикладена напруга U визначена, безпосередньо, через щільність вірогідності $g(U)$ і функції розподілу $G(U)$. Тоді, вірогідність безвідмовної роботи обмотки можна записати так:

$$P_{об} = \int_0^{\infty} g(U) [1 - F(U_e)]^n dU_e, \quad (1)$$

де $g(U)$ – щільність розподілу вірогідностей прикладеної напруги;

$F(U_e)$ – функція розподілу вірогідностей виткової пробивної напруги;

n – число елементів обмотки.

Вираз (1) являє собою математичну модель надійності міжвиткової ізоляції обмотки, яка складається із n пар дрітків.

Щоб цією моделлю можна було користуватися, необхідно знати розподіл пробивних і прикладених напруг.

Крім того, щоб можна було визначити вірогідність безвідмовної роботи в різні періоди часу, слід встановити залежність розподілу вірогідності пробивних напруг міжвиткової ізоляції від часу експлуатації в заданих умовах.

В результаті численних експериментів вираз для щільності розподілу вірогідностей комутаційних перенапруг в обмотках асинхронних електродвигунів має вигляд [7]

$$g(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{(k-1)^2}{0,08}} + \frac{0,35}{1+(k-3)^2}, \quad (2)$$

де k – кратність комутаційних перенапруг.

Напруга між сусідніми витками залежить від розподілу комутаційних перенапруг по секціях і витках обмотки. Для комутаційних перенапруг, що мають імпульсний характер, цей розподіл залежить від багатьох факторів. Це було доведено експериментально на електродвигунах типу 4AM100L4Y3 і 4AM112M4Y3.

Отримані залежності показали, що при імпульсних напругах, комутаційні перенапруги практично рівномірно розподілені по секціях обмотки.

Також експериментально було встановлено, що перенапруги практично рівномірно розподіляються і по витках секції.

В асинхронних двигунах з напівзакритими пазами і всипною обмоткою внаслідок змішування дротів при всипанні їх в паз, виникає вірогідність того, що поряд в пазу будуть знаходитись дроти зі значною різницею номерів. Це приведе до збільшення напруги між окремими парами сусідніх дротів і тому повинно враховуватись в математичній моделі міжвиткової ізоляції.

Експериментальна перевірка розташування дротів всипної обмотки в напівзакритих пазах, отримана на електродвигунах різних типорозмірів показала, що вірогідність розподілу дротів в пазу може бути визначена за формулою [7]

$$P(l_i) = \frac{\ln \frac{S}{\omega_i}}{0,98S - 1,6}, \quad (3)$$

де ω_i – різниця порядкових номерів дротів;

S – кількість дротів в секції.

Застосовуючи формули (2) і (3), можна визначити щільність розподілу вірогідностей прикладених напруг між витками обмотки.

Пробивну напругу міжвиткової ізоляції найправильніше визначати на намотаному і просочувальному статорі електродвигуна. Для

цього лобові частини обмотки з однієї сторони пакету статора повинні бути розрізані і кінці рядом розташованих дротів розведені. Вірогідність пробивної напруги міжвиткової ізоляції розподілена за законом розподілу Вейбула. З використанням цього закону функція і щільність розподілу вірогідностей виткової пробивної напруги записуються у такому вигляді:

$$F(U_B) = 1 - l^{\frac{U_B}{U_0}}; \quad (4)$$

$$f(U_B) = -\frac{\alpha}{U_0} \cdot U_B^{\alpha-1} \cdot l^{-\frac{U_B}{U_0}}; \quad (5)$$

де α , U_0 – параметри розподілу.

Для проведення розрахунку надійності міжвиткової ізоляції обмотки слід знати закон розподілу вірогідностей пробивних напруг в заданий період часу.

Якщо прийняти припущення, що закон розподілу вірогідностей пробивних напруг в процесі експлуатації не змінюється, а його параметри змінюються, то необхідно визначити функції:

$$U_0 = f(t) \text{ і } \alpha = \varphi(t)$$

при заданих умовах експлуатації. Ці функції наближено можуть бути визначені шляхом проведення багатофакторного експерименту. Досліджувався вплив таких експлуатаційних факторів:

1. Температура обмотки електродвигуна x_1 ;
2. Частота пусків x_2 ;
3. Рівень вібрації x_3 ;
4. Час роботи електродвигуна x_4 .

Зазначені фактори відповідали таким рівням:

1. Температура – 120 і 150⁰С;
2. Частота пусків – 2 і 120 на 1 год.;
3. Рівень вібрації – 10 м/с²;
4. Час роботи електродвигуна – 500 і 2000 год.

Для проведення дослідів було залучено декілька однотипних електродвигунів, після закінчення дослідів пробивали близько 50 пар сусідніх витків. Дослідження проводились в електроремонтному цеху Черкаського політехнічного технікуму.

В результаті статистично запланованого експерименту були отримані рівняння для параметрів розподілу U_0 і α .

$$\lg U_0 = 4,71 - 2,23x_1 - 0,491x_2 - 1,336x_4 - 0,06x_1 \cdot x_2 + 0,09x_1 \cdot x_4; \quad (6)$$

$$\alpha = 5,53 - 2,159x_1 - 0,259x_2 - 1,041x_4 + 0,097x_1 \cdot x_2 + 0,092x_1 \cdot x_4; \quad (7)$$

У формулах (6) і (7) змінні x_1 - x_4 виражені в відносних одиницях:

$$x_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i}, \quad (8)$$

де x_{0i} – нульовий рівень змінної;

Δx_i – інтервал обрахувань.

Використовуючи цю математичну модель, проведемо розрахунки.

Мета розрахунку – визначити залежність вірогідності безвідмовної роботи міжвиткової ізоляції обмотки від часу τ при заданих умовах експлуатації.

Вихідні дані для розрахунку:

- 1) марка просочувального матеріалу;
- 2) кількість ефективних дротів в секції S ;
- 3) марка і діаметр обмоткового дроту;
- 4) кількість послідовно з'єднаних секцій q ;
- 5) кількість пазів статора z ;
- 6) кількість сторін секцій в пазу c ;
- 7) частота пусків електродвигуна на 1 год. ψ ;
- 8) установлена температура обмотки при експлуатації T ;

9) режим роботи електродвигуна, ступінь зволоженості, температура навколишнього середовища при зволоженні;

10) емпіричні залежності

$\lg U_0 = f(\tau), \alpha = \varphi(\tau)$ при заданих умовах експлуатації.

$$Q_{\Delta ti} = \frac{1}{0,98-1,6} \sum_{\omega=1}^{S-1} \lg \frac{S}{\omega} \cdot \left[\int_1^{10} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot t^{-\frac{(k-1)^2}{0,08}} + \frac{0,35}{1+(k-3)^2} \right] \cdot \left[1 - e^{\frac{n}{U_0} \left(\frac{k\omega U_{\phi m}}{0,9Sq} \right) \alpha t} \right] dk; \quad (12)$$

де k – кратність комутаційних перенапруг;

$U_{\phi m}$ – амплітуда фазної напруги.

5. Визначається вірогідність безвідмовної роботи для кожного інтервалу часу $\Delta \tau_i$, але з урахуванням кількості включень електродвигуна за час $\Delta \tau_i$

$$V_i = f_{\Delta \tau i} \quad (13)$$

$$P_{\Delta \tau i vi} = (1 - Q_{\Delta \tau i})^{V_i}. \quad (14)$$

6. Визначається вірогідність безвідмовної роботи в функції часу.

Для цього послідовно перемножуємо: $P_{\Delta \tau i vi}$.

Вірогідність безвідмовної роботи пазової, міжфазної і міжсекційної ізоляції $P_{\Pi}(\tau)$, $P_M(\tau)$, $P_C(\tau)$ обмотки визначається, як всієї обмотки за формулою:

$$P_{\text{ам}}(\tau) = P_{\text{с}}(\tau) \cdot P_{\Pi}(\tau) \cdot P_M(\tau) \cdot P_C(\tau). \quad (15)$$

Розрахунок надійності проводиться в такій послідовності:

1. Визначається кількість ефективних дротів в обмотці електродвигуна.

$$N = S \cdot c \cdot z, \quad (9)$$

де для одношарової $c=1$, для двошарової $c=2$.

2. Визначається кількість елементів моделі n :

$$n = 2, 7N. \quad (10)$$

Формула (10) отримана при розрахунку середнього числа дротів з якими дотикається кожний дріт в пазу.

3. Загальний час τ , за який слід визначити вірогідність безвідмовної роботи $P(\tau)$, розбивається на ряд інтервалів $\Delta \tau$ таким чином, щоб значення статистик пробивної напруги міжвиткової ізоляції $\lg U_0$ і α в кожному інтервалі часу могли б бути прийняті постійними.

4. Визначається вірогідність безвідмовної роботи міжвиткової ізоляції послідовно для кожного інтервалу часу при одному включенні електродвигуна.

Після відповідних перетворень формул (2); (3); (4) формула (1) набуде вигляду:

$$P_{\Delta \tau i} = 1 - Q_{\Delta \tau i}, \quad (11)$$

де $Q_{\Delta \tau i}$ – вірогідність відмови.

Відмова ізоляції обмоток проходить в результаті виникнення короткого замикання виткового, корпусного або міжфазного.

Висновки. На основі отриманих результатів дослідження встановлено, що:

1. Розроблена математична модель дає можливість визначити залежність вірогідності безвідмовної роботи міжвиткової ізоляції обмотки від часу, що скорочує час проведення регламентних робіт електричних машин поліграфічних комплексів на 25%.

2. Вірогідність безвідмовної роботи пазової, міжфазної і міжсекційної ізоляції обмотки досить близька до одиниці і практично не впливає на значення вірогідності безвідмовної роботи всієї обмотки.

3. Більшість електричних машин поліграфічних комплексів визначаються безвідмовністю показниками системи ізоляції тому, контроль, прогнозування і визначення опору ізоляції обмоток, має вирішальне значення.

Список літератури

References

1. Чехман Я. І., Сенкус В. Т., Дідич В. П., Босак В. О. Друкарське устаткування: підручник. Львів: УАД, 2005. 468 с.
2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 01-01-1996]. Київ: Держспоживстандарт України, 1994. 96 с.
3. ДСТУ 3433-96. Моделі відмов. Основні положення. [Чинний від 01-01-1996]. Київ: Держспоживстандарт України, 1997. 98 с.
4. Ванеев Б. Н. Надійність асинхронних електродвигунів. Київ: Техніка, 1983. 142 с.
5. Горбунов А. П., Гольдберг О. Д., Иртышский Э. Б. Комплексный подход к оценке надежности электрических машин. *Электричество*. 1984. № 5. С. 52–54.
6. Корчемный Н. А., Машевский В. П. Повышение надежности электрооборудования в сельском хозяйстве. Киев: Урожай, 1988. 176 с.
7. Галушко А. И., Максимова И. С., Оснач Р. Г., Хозановский П. М. Надежность изоляции электрических машин. Москва: Энергия, 1979. 176 с.
8. Петров Т. А. Обоснование периодичности технического обслуживания и ремонт электродвигателей с учетом их эксплуатационной надежности: автореф. дис. ... к.т.н. Челябинск, 1983. 24 с.
9. Манько В. М. Універсальний стенд діагностування та випробування електричних машин. *Автошляховик України*. Вип. 2. Київ, 2001. С. 48–53.
10. Костинюк Л. Д., Мороз В. І., Паранчук Я. С. Моделювання електроприводів. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2004. 404 с.
11. Томашівський В. М. Моделювання систем. Київ: Видав. група BHV, 2005. 352 с.
12. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. Москва: Высшая школа, 2001. 327 с.
13. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем. Киев: Высшая школа, 1987. 63 с.
1. Chehman, Ja. I., Senkus', V. T., Didych, V. P., Bosak V. O. (2005) Printing equipment. L'viv: UAD, 468 p. [in Ukrainian].
2. DSTU 2860-94. (1994) Reliability engineering. Terms and definitions. [Effective as of 01.01.1996]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 96 p. [in Ukrainian].
3. DSTU 3433-96. (1997) Models of failures. The main provisions. [Effective as of 01.01.1999]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 98 p. [in Ukrainian].
4. Vaneev, B. N. (1983) The reliability of induction motors. Kyiv: Tehnika, 142 p. [in Russian].
5. Gorbunov, A. P., Gol'dberg, O. D., Irtyshskij, E. B. (1984) Integrated approach to assessing the reliability of electrical machines. *Elektrichestvo*, No. 5, pp. 52–54 [in Russian].
6. Korchemnyj, N. A., Mashevskij, V. P. (1988) The increase of electric equipment reliability in agriculture. Kiev: Urozhaj, 176 p. [in Russian].
7. Galushko, A. I., Maksimova, I. S., Osnach, R. G., Hazanovskij, P. M. (1979) The reliability of electric machines insulation. Moscow: Energija, 176 p. [in Russian].
8. Petrov, T. A. (1983) Justification of the frequency of maintenance and repair of electric motors with regard to their operational reliability: thesis for Ph.D. in Engineering. Chelyabinsk, 24 p. [in Russian].
9. Man'ko, V. M. (2001) Universal stand for diagnosing and testing of electric machines. *Avtozhlyahovyk Ukrainy*, (2). Kyiv, pp. 48–53 [in Ukrainian].
10. Kostynjuk, L. D., Moroz, V. I., Paranchuk, Ja. S. (2004) Modeling of electric drives. L'viv: Nats. un-t «L'vivs'ka politehnika», 404 p. [in Ukrainian].
11. Tomashivs'kyi, V. M. (2005) Systems simulation. Kyiv: Vydav. hrupa BHV, 352 p. [in Ukrainian].
12. Kopylov, I. P. (2001) Mathematic modeling of electric machines. Moscow: Vysshaja shkola, 327 p. [in Russian].
13. Ivahnenko, A. G. (1987) Modeling of complex systems. Kiev: Vysshaja shkola, 63 p. [in Russian].

V. M. Manko, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: mankovm@ukr.net

V. M. Zotov, *postgraduate student*
e-mail: zotov_vetal@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

**MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING THE RELIABILITY
OF INTERTURN INSULATION OF ELECTRICAL MACHINES
OF PUBLISHING AND PRINTING COMPLEXES
AND METHODS FOR ITS CALCULATION**

The article suggests ways to study and control the state of stator winding insulation of electrical machines of printing complexes. A mathematical model for evaluating the reliability of interturn insulation and methods of its calculation is developed, which makes it possible to determine the dependence of the probability of failure-free operation of winding insulation on time for given conditions. The analysis of the action of commutation overvoltage in sections and coils of windings due to mixing of wires at their pouring in a groove.

Keywords: *reliability, interturn insulation, winding, electrical machine, probability, distribution of stresses, time interval.*

*Рецензенти: Осипенко В. І., д.т.н., професор,
Поздєєв С. В., д.т.н., професор*

В. В. Лепський, к.мед.н., доцент,
e-mail: cherkassymsek@ukr.net

Східноєвропейський університет економіки і менеджменту,
вул. В'ячеслава Чорновола, 164/2, м. Черкаси, 18000, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ КОГНІТИВНОЇ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ ДЛЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЙОГО ПОРТФЕЛЯМИ

Актуальність питання інтеграції України з країнами Європи та світу, забезпечення життєздатної конкурентоспроможної системи охорони здоров'я, відповідної до європейських та міжнародних стандартів, забезпечення якісних медичних послуг в умовах українського союдогення, впровадження проектного підходу в медичній галузі вимагають аналізу та підвищення ефективності управління медичними закладами, розробки та застосування інноваційного інструментарію інтегрованого управління медичними закладами як проектно-орієнтованими організаціями. У статті пропонується математичний апарат на основі нечіткої когнітивної карти проектно-орієнтованого медичного закладу (ПОМЗ) як складової методології інтегрованого управління медичними закладами, яка включатиме в себе відповідні евристичні щодо формування медичних проектів, портфелів медичних проектів, програм медичних проектів, задля формування детермінаційних правил стратегій забезпечення цінністю стейкхолдерів ПОМЗ.

Ключові слова: медичний заклад, інтегроване управління проектно-орієнтованими медичними закладами, інтегрована когнітивна нечітка модель, когнітивна карта, нечітка когнітивна карта.

Постановка проблеми. Актуальність проблеми інтегрованого управління вітчизняними медичними закладами обумовлена динамічністю життєвого циклу продукту медичних проектів на фоні жорсткого конкурентного оточення, необхідністю якісного задоволення потреб в лікуванні населення України, необхідності створення життєдієвої ефективної системи охорони здоров'я. Управління медичними закладами повинно забезпечити економічну, соціальну та наукову перевагу на конкурентному ринку медичних послуг. Прояви глобалізації ринку медичних послуг, інтеграція до світової спільноти є рушійною силою щодо необхідності розробки та застосування інноваційного інструментарію інтегрованого управління медичними закладами, які є проектно-орієнтованими організаціями.

Аналіз останніх досліджень. Сутність сучасних медичних закладів суттєво обмежує застосування відомих ефективних засобів управління саме специфікою подібних проектно-орієнтованих організацій. На відміну від більшості проектно-орієнтованих організацій (ПОО), наприклад будівельної, або ІТ-ПОО, в медичних закладах мають місце розриви у вертикалі управління сталим розвитком орга-

нізації. І хоча, на теперішній час не узгоджено загальноприйнятого визначення сталого розвитку проектно-орієнтованої організації, у даному дослідженні під стійким розвитком бізнесу будемо розуміти тривале існування організації в конкурентному середовищі, що забезпечується унікальною стратегією розвитку підприємства [1].

Стійкість організації на значному часовому інтервалі має розглядатися в різних площинах управління і діяльності. При цьому кількість таких площин визначається сферою діяльності організації. У будь-якому випадку вони утворюють багатовимірний простір змінних [2], врахування яких при розробці стратегії є складною управлінською задачею. Такі суттєві та значущі показники, як задоволення споживачів продукту проекту, їх безпека, соціальна та екологічна відповідальність визначають підґрунтя сталого розвитку проектно-орієнтованого медичного закладу, в першу чергу саме із середини організації, і вже потім, у другу чергу ззовні – взаємодією зі стейкхолдерами, як показано в [1].

Зазвичай як інструмент реалізації стратегії використовують портфельне управління [3], але й тут особливості ПОО медичного

закладу (ПОМЗ) виокремлюють певні проблеми.

В результаті дослідження було виявлено, що мета кожного окремого проекту ПОМЗ не може бути агрегована у загальну стратегічну мету установи.

В рамках дослідження було виявлена ще низка розривів управління, яка формує важливу науково-практичну проблему: наявність розривів в управлінні ПОО МЗ та необхідність створення інтегрованої методології, яка ці розриви заповнить відповідними моделями та методами.

Метою статті є розробка математичного апарату для аналізу діяльності проектно-орієнтованими медичними закладами та застосування його в інтегрованому управлінні медичними закладами України.

Виклад основного матеріалу. Розробка засобів для запровадження концептуальної моделі інтегрованого управління медичними закладами (ІУМЗ) на практиці вимагає застосування інструментів для аналізу та управління взаємодією процесів, агентів, об'єктів та суб'єктів ПОМЗ. Аналіз показав, що така взаємодія має місце в умовах слабоформалізованої, слабо структурованої, неповної та суперечливої інформації в межах ПОМЗ, який є мультиагентною системою, що характеризується кортежем кількісних, якісних, лінгвістичних та нечітких параметрів, які мають різну розмірність та масштаб.

Математичний апарат, який дозволить адекватно представляти таку ситуацію у вигляді моделі є теорія нечітких множин, когнітивний підхід та концепція «м'яких» обчислень (Soft computing). Комбінація цих підходів дозволить сформувати ефективну модель (ПОМЗ) за критерієм інтегрованого управління, як когнітивну та нечітку [4-7].

Розробка інтегрованої когнітивної нечіткої моделі ПОМЗ базуватиметься на наступних початкових уявленнях [7, 8]:

- структурної декомпозиції станів системи;
- суб'єктивної експертної оцінки ПОМЗ;
- кортежу факторів ситуації в ПОМЗ;
- кортежу причинно-наслідкових відносин щодо факторів ситуації.

На першому етапі реалізації когнітивного підходу розробляється когнітивна карта (КК) ситуації в ПОМЗ у вигляді орієнтованого зваженого графу, де вершини є факторами системи, а дуги задають взаємозв'язки між

цими факторами [9, 10]. Зазвичай орієнтований зважений граф G з множиною вершин V та множиною дуг E відображають наступним чином:

$$G = \langle V, E \rangle,$$

де V_n , $n = \overline{1, N}$ – множина факторів (вершин графу),

E_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ – множина причинно-наслідкових зв'язків між факторами (множина дуг, що відображають відносини між факторами) V_i та V_j , $i \neq j$.

Фактори, що відображають стан сталого розвитку ПОМЗ за умов виконання стратегії розвитку, є слабоформалізованими та, зазвичай, суперечливими [10].

За таких умов слід застосовувати нечіткі когнітивні карти (НКК). У такому вигляді когнітивна карта ілюструє наявність взаємовпливів факторів один на одного [11].

$$НКК = \{V_n, E_{ij}, Z_{ij}, A_{ij}\},$$

де $\{Z_{ij}\}$ – множина якості впливу факторів (+, -);

$\{A_{ij}\}$ – множина вагових коефіцієнтів зв'язків (не впливає, дуже слабо посилює, слабо посилює, помірно посилює, сильно посилює, дуже сильно посилює).

Кожен фактор V_n описується однією або декількома змінними стану системи, які характеризують стан фактору якісно або кількісно [12, 13].

За критерієм впливу факторів на досягнення стратегічних цілей ПОМЗ та його сталого розвитку в планованому періоді множини факторів $\{V_n\}$ слід поділити на наступні підмножини [14, 15]:

$$\{V_n\} = \{V_a^1, V_b^2, V_c^3, V_d^4, V_e^5, V_f^6\}, \text{ де:}$$

$\{V_a^1\}$ – підмножина факторів, що визначають досягнення стратегічної мети (сталого розвитку ПОМЗ);

$\{V_b^2\}$ – підмножина факторів, що визначають забезпечення цінністю споживачів продуктів лікувальних проектів;

$\{V_c^3\}$ – підмножина факторів, що визначають забезпечення цінністю власників ПОМЗ;

$\{V_d^4\}$ – підмножина загроз сталого розвитку ПОМЗ;

$\{V_e^5\}$ – підмножина управляючих факторів, що забезпечують досягнення стратегічної мети (сталого розвитку ПОМЗ) в умовах загроз та турбулентного оточення;

$\{V_f^6\}$ – підмножина факторів ПОМЗ, що віднесено до операційної діяльності закладу (не проектної);

Фактори $\{V_n\}$ складають підґрунтя наукової проблеми, що була виявлена при аналізі ПОМЗ, а саме розриви в управлінні ПОМЗ.

Тому об'єктом управління обрано ризику сталого розвитку ПОМЗ, тобто ненабуття цінностей споживачами продуктів лікувальних проектів та власниками ПОМЗ. В предметній області ризик-менеджменту такий ризик класифіковано як ризик стратегічного розвитку організації.

Таким чином, випадкові події, що можуть призвести до недосягнення стратегічних цілей ПОМЗ, розуміються як стратегічний ризик (СР) ПОМЗ, який позиціонується як вектор подій та розподіляється на внутрішні та зовнішні, відносно системи управління ПОМЗ [16].

Тому, для визначення керуючих впливів задля досягнення стратегічних цілей ПОМЗ та забезпечення його сталого розвитку в прогнозованому періоді необхідно визначити складові СР та їх залежність від факторів $\{V_n\}$. В рамках дослідження СР як імовірнісна змінна з нечіткою оцінкою набутої цінності:

$$R_{ij} = P_i \cdot C_{ij},$$

де R_{ij} – і-й ризик ненабуття j-ї цінності;

P_i – імовірність появи i-го ризику;

C_j – оцінка j-ї цінності.

Виявлення ризику ненабуття цінності, як складової стратегічного розвитку ПОМЗ, розрахунок імовірності його появи та розрахунок оцінки втрати чи ненабуття цінності стейхолдерами ПОМЗ в кількісній і, навіть, в якісній площині — є складноформалізованою та складнореалізованою задачею.

Тому в роботі пропонується використати механізм непрямих та повних ефектів впливу факторів когнітивної карти.

Згідно теорії НКК непрямий ефект від фактора V_i до фактора V_j визначається за наступною послідовністю:

$V_i \rightarrow V_{k1} \rightarrow V_{k2} \rightarrow \dots \rightarrow V_{kn} \rightarrow V_j$,
кількісний вплив непрямого ефекту визначається за умови наявності множини $\{A_{ij}\}$ вагових коефіцієнтів зв'язків факторів $\{V_n\}$, та визначається наступним чином:

$$T(V_i \rightarrow V_{k1} \rightarrow V_{k2} \rightarrow \dots \rightarrow V_{kn} \rightarrow V_j) = \min\{W_{i,k1}, W_{k1,k2} \dots W_{kn,j}\}.$$

Кількісна оцінка ефекту кожного непрямого впливу $T_i(V_i)$ узагальнюється до повного ефекту за формулою:

$$S(V_i \rightarrow V_j) = \max\{T_1, T_2 \dots T_N\},$$

де T_i – непрямий ефект між V_i та V_j ;

N – кількість непрямих ефектів.

Загальний повний ефект між загрозою (ризиком) та досягненням стратегічних результатів може бути застосованим у розрахунок СР: $R_{ij} = S(V_i \rightarrow V_j) \cdot C_{ij}$, коли визначити імовірність появи ризику практично неможливо.

Наступним кроком, в рамках нечіткого когнітивного підходу, формуються стратегії управління ризиками, як елементи ІУМЗ, з метою забезпечення цінністю кожного зі стейкхолдерів ПОМЗ, та загалом забезпечення його сталого розвитку.

Методом експертних оцінок для ПОМЗ виявлена група факторів, яка визначає сутність системи стратегічного управління ПОМЗ для ситуації мультимодального ціннісно-орієнтованого інтегрованого управління.

Група факторів:

X1 – стійкість ПОМЗ – здатність ПОМЗ бути присутнім на зазначеному ринку медичних послуг продовж стратегічного інтервалу планування в умовах жорсткого конкурентного оточення (забезпечення сталого розвитку);

X2 – забезпечення очікуваної цінності інвесторам (власникам);

X3 – забезпечення очікуваної цінності споживачам продуктів лікувальних проектів (пацієнтам);

X4 – швидкодія інтегрованого управління (виявлення проблеми, розриву в управлінні, постановка задачі, реалізація ЗП);

X5 – інвестиційна привабливість ЗП;

X6 – економічна рентабельність ПОМЗ;

X7 – кваліфікація медичного персоналу;

X8 – співвідношення лікувального персоналу до кількості пацієнтів;

X9 – співвідношення медичного персоналу до кількості пацієнтів;

X10 – співвідношення управлінського персоналу до кількості пацієнтів;

X11 – кількісні показники якості надання медичних послуг (врятоване життя, летальний результат, покращення якості життя);

X12 – наявність необхідного фінансування;

X13 – наявність інтегрованої методології управління ПОМЗ;

X14 – кваліфікація управлінського персоналу.

Зазначені фактори мають між собою зв'язки. Для формування когнітивної карти, згідно з методологією когнітивного управлін-

ня [5], сформована таблиця взаємозв'язків (табл. 1), де наявність зв'язку задано як "1", а його відсутність – "0".

Таблиця 1

Таблиця взаємозв'язків факторів ПОМЗ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
2	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
5	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
6	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
8	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
9	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
10	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
11	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
14	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0

НKK є ядром для створення нечіткої когнітивної моделі ПОМЗ, яка враховуватиме коефіцієнти впливу факторів один на одного, та опосередкований вплив.

Нечітка когнітивна модель ПОМЗ подана в табличній формі (табл. 2), бо подання у

виділі графу матиме складний неінформативний характер. Коефіцієнти впливу сформовані за експертною оцінкою та мають нечітку взаємозалежність. Знак мінус відображає зворотній вплив фактора.

Таблиця 2

Нечітка когнітивна модель ПОМЗ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0,8	0,5	0	0,8	0,3	0	0	0	0	0,5	0,2	0	0
2	0,6	0	0,2	0	0,3	0,8	0	-0,5	-0,3	-0,5	0,3	0,3	0,2	0
3	0,4	0,2	0	0,3	0,3	-0,3	0,6	0,7	0,3	0	0,8	0,3	0	0
4	0,7	0,6	0,8	0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0	0,5
5	0,1	0	0,3	0	0	0	0	-0,2	-0,2	-0,2	0	0,2	0,2	0
6	0,9	0,9	0,2	0	0,6	0	0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,5	0,3	0,2	0
7	0,2	0,6	0,8	0	0,3	0,4	0	0,3	0,6	0	0,8	0	0	0
8	0,1	0,2	0,8	0	0,3	0,2	0	0	0,1	0	0,8	0	0	0
9	-0,1	0,01	0,9	0	0,1	0,3	0	-0,1	0	0	0,8	0	0	0
10	0,1	0,2	-0,1	0,1	0	-0,2	0	0	0	0	0,1	0,01	0,1	0
11	0,8	-0,3	0,8	0	0,3	-0,1	-0,5	-0,4	-0,6	-0,1	0	-0,5	-0,2	-0,1
12	0,8	0,6	0,8	0,5	0,8	0,9	0,8	0,2	0,2	0,2	0,9	0	0,3	0,8
13	0,8	0,5	0,9	0	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0	0,1
14	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,6	0	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0	0

Для моделювання НKK можуть бути використані як універсальні, так і спеціальні інформаційні системи [17, 18].

Висновки. Запропонована нечітка когнітивна карта ПОМЗ може бути покладена в основу розробки НKK різних типів ПОМЗ як

складової методології ІУМЗ, яка включатиме в себе відповідні евристики щодо формування медичних проектів, портфелів медичних проектів, програм медичних проектів, задля формування детермінаційних правил стратегій забезпечення цінністю стейкхолдерів ПОМЗ.

Актуальним є розгляд слабоформалізованої структури стратегічного управління за критерієм дуальної цінності власників ПОМЗ та споживачів продуктів медичних проектів.

Список літератури

1. Ким Е. А. Реализация масштабных инновационных проектов на основе стратегического партнерства в проектно-ориентированных компаниях: автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. экон. наук. URL: http://guu.ru/files/referate/2015/kim_e_otz_nau.pdf
2. Рассел Д. Арчибалд. Управление высокотехнологичными программами и проектами/пер. с англ. Мамонтова Е. В.; под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2010. 464 с.
3. Илларионов А. В., Клименко Э. Ю. Портфель проектов: Инструмент стратегического управления предприятием. Москва: Альпина Паблишер, 2013. 312 с.
4. Axelrod R. The structure of decision: cognitive maps of political elites. Princeton: University Press, 1976.
5. Бурков В. Н., Заложнев А. Ю., Новиков Д. А. Теория графов в управлении организационными системами. Москва: Синтег, 2001. 121 с.
6. Абрамова Н. А., Авдеева З. К. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики. *Проблемы управления*. 2008. № 3. С. 85–87.
7. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем. Москва: Наука, 1977. 255 с.
8. Кузнецов О. П., Кулинич А. А., Марковский А. В. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт/под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. Человеческий фактор в управлении. Москва: КомКнига, 2006. С. 313–344.
9. Макаренко Д. И., Хрусталева Е. Ю. Когнитивное моделирование наукоемких оборонно-ориентированных производств: монография. Москва: ЦЭМИ РАН, 2007. 76 с.
10. Лепський В. В. Стратегічне управління медичними закладами. *Вісник Черкаської державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 4. С. 62–67.
11. Возный А. М., Шамарин Ю. Е. Прогнозирование показателей проектов во времени с использованием механизмов когнитивного моделирования. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв: НУК, 2012. № 2. С. 37–46.
12. Григорян Т. Г., Квасневский Е. А., Кошкин К. В. Применение когнитивного моделирования в оценке портфелей проектов повышения безопасности АЭС. *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр.* Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2012. № 2 (42). С. 66–70.
13. Квасневский Е. А. Эффективные организационные структуры управления пожарной и радиационной безопасностью АЭС с использованием когнитивных моделей. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 1/7 (49). С. 30–32.
14. Кулешов А. П. Когнитивные технологии в адаптивных моделях сложных объектов. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2008. № 1. С. 18–29.
15. Чернявский А. Л., Киселёва Н. Е., Покровская И. В. Классификационно-когнитивная модель оценки эффективности социально-экономического развития регионов. *Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011)*: труды IX Междунар. конф. (14-16 ноября 2011 г., Москва). М.: ИПУ РАН, 2011. С. 251–255.
16. Гинис Л. А. Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем. *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 3 (24). URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1806>
17. Кулинич А. А. Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва». *Программные продукты и системы*. № 3. Тверь: НИИ ЦПС, 2002. С. 42–47.
18. Мурзагалеев И. В., Старцева Е. Б., Загидуллин Ш. З., Хафизов Н. Х. Информационные технологии для реализации когнитивного подхода при управлении сложными системами в медицине. *Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2011)*: труды IX Междунар. конф. (Москва, 14-16 ноября 2011 г.). М.: ИПУ РАН, 2011. С. 286–291.

References

- Kim, E. A. (2015) Implementation of large-scale innovative projects based on strategic partnership in project-oriented companies: thesis abstract for the degree of candidate of technical sciences. URL: http://guu.ru/files/referate/2015/kim_e_otz_nau.pdf
- Rassel, D. Archibald (2010) Management by high-tech programs and projects. In Bazhenov, A. D., Arefiev, A. O. (Ed.). Moscow: Kompaniya IT, DMK PRESS, 464 p. [in Russian].
- Illarionov, A. V., Klimenko, E. Yu. (2013) Project portfolio: the tool by enterprise strategic management. Moscow: Alpina Publisher, 312 p. [in Russian].
- Axelrod, R. (1976) The structure of decision: cognitive maps of political elites. Princeton: University Press.
- Burkov, V. N., Zalozhnev, A. Yu., Novikov, D. A. (2001) Graph theory in the management by organizational systems. Moscow: Sinteg, 121 p. [in Russian].
- Abramova, N. A., Avdeeva, Z. K. (2008) Cognitive analysis and management by the development of situations: the problems of methodology, theory and practice. *Problemy upravleniya*, No. 3, pp. 85–87 [in Russian].
- Burkov, V. N. (1977) Fundamentals of the mathematical theory of active systems. Moscow: Nauka, 255 p. [in Russian].
- Kuznetsov, O. P., Kulinich, A. A., Markovskiy, A. V. (2006) Analysis of influences in managing weakly structured situations on the basis of cognitive maps. In Abramova, N. A., Ginsberg, K. S., Novikova, D. A. [eds.] The human factor in management Moscow: KomKniga, pp. 313–344 [in Russian].
- Makarenko, D. I., Hrustalev, E. Yu. (2007) Cognitive modeling of science-intensive defense-oriented industries. Moscow: TsEMI RAN, 76 p. [in Russian].
- Lepskiy, V. V. Strategic management by medical establishments. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seriya: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 62–67 [in Ukrainian].
- Voznyiy, A. M., Shamarin, Yu. E. (2012) Projections of project indicators in time using cognitive modeling mechanisms. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, No. 2. Mykolayiv: NUK, pp. 37–46 [in Russian].
- Grigoryan, T. G., Kvasnevskiy, E. A., Koshkin, K. V. (2012) The application of cognitive modeling in the evaluation of portfolios of NPP safety enhancement projects. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnytstva: Collection of scientific papers*, No. 2 (42). Luhansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, pp. 37–46 [in Russian].
- Kvasnevskiy, E. A. (2011) Effective organizational structures for fire and radiation safety management by nuclear power plants using cognitive models. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy*, No. 1/7 (49), pp. 30–32 [in Russian].
- Kuleshov, A. P. (2008) Cognitive technologies in adaptive models of complex objects. *Informatsionnyie tehnologii i vychislitelnyie sistemy*, No. 1, pp. 18–29 [in Russian].
- Chernyavskiy, A. L., Kiselyova, N. E., Pokrovskaya, I. V. (2011) Classification-cognitive model for assessing the effectiveness of socio-economic development of regions. *Kognitivnyi analiz i upravleniye razvitiem situatsiy (CASC'2011): proceedings of the IX International Conference* (November 14–16, 2011, Moscow). Moscow: IPU RAN, pp. 251–255 [in Russian].
- Ginis, L. A. (2013) Development of the toolkit of cognitive modeling for the study of complex systems. *Inzhenernyi vestnik Dona*, No. 3 (24). URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1806>
- Kulinich, A. A. (2002) Cognitive decision support system "Kanva". *Programmnyie produkty i sistemy*, No. 3, pp. 42–47. Tver: NII TsPS [in Russian].
- Murzagaleev, I. V., Startseva, E. B., Zagidullin, Sh. Z., Hafizov, N. H. (2011) Information technologies for the implementation of cognitive approach in the management by complex systems in medicine. *Kognitivnyi analiz i upravleniye razvitiem situatsiy (CASC'2011): proceedings of the IX International Conference* (November 14–16, 2011, Moscow). Moscow: IPP RAS, pp. 286–291 [in Russian].

V. V. Lepskiy, *Ph.D. in Medical Sciences, associate professor,*
e-mail: cherkassymsek@ukr.net
East European University of Economics and Management,
Chornovil str., 164/2, Cherkasy, 18000, Ukraine

**APPLICATION OF COGNITIVE FUZZY MODEL
OF PROJECT-ORIENTED MEDICAL ESTABLISHMENT
FOR INTEGRATED MANAGEMENT BY ITS PORTFOLIO**

The urgency of the issue of Ukraine's integration with Europe and the world, providing a sustainable competitive health system in line with European and international standards, ensuring of quality medical services in Ukrainian present conditions, the implementation of project approach in medical field require the analysis and increase of efficiency of management by medical establishments, the development and application of innovative tools for integrated management by medical institutions as project-oriented organizations. The article is to develop mathematical tools based on fuzzy cognitive case record of project-oriented medical establishment (POME) as a component of the methodology for integrated management by medical institutions, which should include appropriate heuristics on the formation of medical projects, portfolios of medical projects, programs of medical projects in order to form determination rules of strategies to ensure value for POME stakeholders.

Keywords: *medical establishment, integrated management by project-oriented medical establishments, integrated fuzzy cognitive model, cognitive case record, fuzzy cognitive case record .*

*Рецензенти: Данченко О. Б., д.т.н., доцент,
Коломицева О. В., д.е.н., професор*

І. В. Миронець, к.т.н., доцент,
e-mail: irenmir@ukr.net

Н. Є. Радзієвський, аспірант,
e-mail: delumcor@rambler.ru

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ПРОТОКОЛІВ АУТЕНТИФІКАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Стаття присвячена аналізу основних методів та протоколів аутентифікації користувача. В процесі дослідження проаналізовано принцип роботи методів і протоколів аутентифікації та їх ключові особливості, сфера застосування і ступінь захищеності інформації при використанні того чи іншого методу та протоколу. В комп'ютерних системах для передачі інформації на етапі ідентифікації користувач надає свої особисті електронні дані для перевірки, на етапі аутентифікації особисті електронні дані користувача перевіряються за допомогою тих чи інших протоколів і на кінцевому етапі, в результаті успішної перевірки електронних даних користувача на правдивість, користувач отримує права доступу до того чи іншого ресурсу. Електронні системи передачі інформації мають і складніші методи аутентифікації та авторизації, побудовані на роботі різних протоколів. Дослідивши переваги та недоліки розглянутих протоколів аутентифікації користувача в комп'ютерних мережах, було визначено подальші напрямки дослідження та шляхи вирішення проблем, які виникли в рамках проведеного аналізу.

Ключові слова: ідентифікація, аутентифікація, авторизація, комп'ютерні системи, конфіденційні дані, захист інформації.

Постановка проблеми. Поняття безпеки є досить широким у сфері захисту інформації та містить в собі такі фактори як: надійність роботи комп'ютера користувача, забезпечення цілісності даних, тобто захист інформації від несанкціонованого внесення до неї змін, не допущеними до цього особами, захист таємниці електронного листування чи передачі даних при використанні електронного зв'язку. На сторожі особистої безпеки громадян завжди стоїть закон, але у сфері інформаційної безпеки практика на даний момент розвинена не на такому високому рівні, а процес створення законів не завжди встигає за темпами розвитку комп'ютерних систем та засобів передачі даних, в чому опирається на заходи особистого захисту.

Постійно постає проблема вибору між забезпеченням необхідного рівня захисту інформації та ефективністю роботи систем електронної передачі даних. Деякі заходи для забезпечення інформаційної безпеки іноді користувачі можуть розцінювати як заходи, що обмежують доступ до електронних систем передачі даних чи знижують ефективність їх роботи. Такий засіб, як криптографія надає змогу значно підвищити рівень захисту інфо-

рмації та не обмежувати користувачів у доступі до неї.

Захист даних під час швидкої та ефективної передачі через мережу є вкрай важливою проблемою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз наукової літератури [1-8] доводить актуальність досліджень методів та протоколів аутентифікації в комп'ютерних мережах. Публікації останніх років показують, що засоби заволодіння інформацією, яка передається в комп'ютерних мережах, удосконалюються не менш інтенсивно, ніж заходи захисту від них. Захист інформації - це не разовий захід і навіть не сукупність - це безперервний цілеспрямований процес, що вимагає вживання відповідних заходів на всіх етапах обробки, передачі та зберігання даних. Розробка нових методів та протоколів повинна вестися паралельно з розробкою комп'ютерних мереж, які захищаються, тому дослідження в даній області проводяться постійно.

Зокрема, Домаревим В. В. розроблено ефективні методологічні засоби моделювання загроз передачі даних і побудовані методи захисту інформації [1].

Смітом Р. Е. детально розглянуто сучасні протоколи аутентифікації, а також їх основні вразливості [2].

Малюком А. А. детально розписано принципи роботи протоколів аутентифікації, а також їх взаємодія з веб-серверами та веб-додатками [3].

За результатами проведеного аналізу публікацій було визначено основні вразливі місця в комп'ютерних мережах [6]. Зазвичай це - апаратура, інформаційний сервер, паролі і середовище передачі даних. Якщо інформаційний сервер може бути захищений організаційними заходами, то комп'ютерну мережу в такий спосіб захистити не можливо.

Метою даної роботи є дослідити методи та протоколи аутентифікації користувача в комп'ютерних мережах, проаналізувати їх переваги та недоліки.

Виклад основного матеріалу. В наш час усюди застосовуються різноманітні методи та протоколи аутентифікації користувача, які застосовуються у роботі з веб-додатками у мережі. Розглянемо основні методи та протоколи, що використовуються у веб-додатках для аутентифікації користувача в мережі.

Основними термінами цього напрямку є:

1. Ідентифікація — процедура підтвердження особистості користувача, його особистих даних, такими даними можуть бути: ім'я, адреса електронної поштової скриньки, тощо.

2. Аутентифікація — процедура перевірки раніше наданих особистих даних про особистість користувача.

3. Авторизація – процедура, що в результаті перевірки особистих даних надає користувачеві права доступу.

Отже, спочатку користувач надає особисті дані для перевірки (ідентифікується), потім ці дані підтверджуються (аутентифікуються) і в результаті перевірки користувач отримує дозвіл для роботи (авторизується).

В комп'ютерних системах для передачі інформації також застосовуються вищезазначені терміни, на етапі ідентифікації користувач надає свої особисті електронні дані (адреса поштової скриньки та пароль) для перевірки, на етапі аутентифікації особисті електронні дані користувача перевіряються за допомогою тих чи інших протоколів і на кінцевому етапі, в результаті успішної перевірки електронних даних користувача на правдивість – користувач отримує права доступу до того чи іншого ресурсу [1].

Електронні системи передачі інформації мають і складніші методи аутентифікації та авторизації, побудовані на роботі різних протоколів.

Одним із таких методів є аутентифікація за допомогою пароля, який полягає в тому, що користувач надає свої електронні дані для перевірки для ідентифікації та аутентифікації, в результаті чого отримуючи доступ до потрібного ресурсу. Як правило, такі електронні дані являють собою особисте електронне ім'я користувача (username) та пароль доступу до системи (password), як особисте електронне ім'я користувача у системі зазвичай використовують адресу поштової скриньки. Ці особисті електронні дані задаються користувачем при реєстрації та зберігаються в базі даних.

Розглянемо основні стандартні протоколи аутентифікації користувача.

Протокол HTTP аутентифікації описаний в стандартах HTTP 1.0/1.1.

Даний протокол, описаний в стандартах HTTP 1.0/1.1, він існує та застосовується в комп'ютерних мережах вже давно і на сьогоднішній день є актуальним.

В комп'ютерних мережах цей протокол працює наступним чином (рис. 1.):

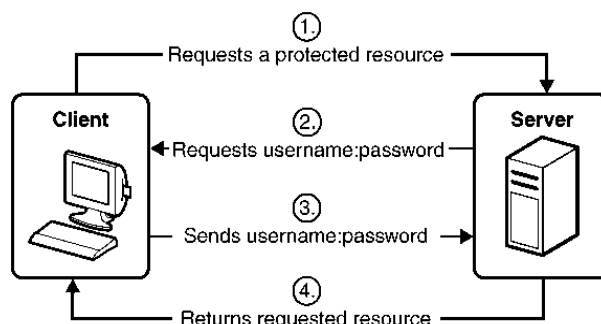


Рис. 1. Приклад роботи HTTP протоколу аутентифікації користувача

1. При зверненні неавторизованого користувача до захищеного веб-ресурсу сервер відсилає користувачеві HTTP повідомлення «401 unauthorized», а також додає до нього заголовок «www-authenticate» в якому вказані схема і параметри аутентифікації.

2. Коли користувач отримує таке повідомлення – браузер автоматично виводить користувачеві інтерфейс для вводу особистої електронної інформації користувача.

3. В подальшому до всіх запитів користувача до цього веб-ресурсу браузер додава-

тиме HTTP заголовок «authorization», де будуть передаватися дані для аутентифікації сервера.

4. Сервер отримавши таке HTTP повідомлення від користувача аутентифікує його. На основі особистих даних користувача рішення про надання користувачеві доступу проводиться окремо.

Робота цього протоколу є стандартизованою і добре підтримується виконується всіма браузерами та веб-серверами.

Багаторічна практика знайшла у цього протоколу ряд своїх переваг та недоліків, декілька слів про них:

HTTP протокол аутентифікації користувача має такі переваги:

1. Простота – даний протокол дозволяє з легкістю створювати потрібні клієнтські програми.

2. Розширюваність – стандартні можливості даного протоколу дозволяють додавати особисті заголовки, за допомогою таких заголовків є можливість підвищення функціональності.

3. Розповсюдженість – даний протокол добре підтримується в якості клієнта багатьма програмами та завдяки цьому він широко використовується для рішення різних задач.

Недоліками даного протоколу є наступні:

1. Відсутність «навігації» – у протоколу HTTP аутентифікації у явному вигляді відсутні засоби навігації між веб-ресурсами сервера. Тобто клієнт напряду не може запросити перелік доступних файлів. Ця проблема вирішується за допомогою розширюючого протоколу WebDAV, при використанні допомогою додаткового методу PROPFIND.

2. Відсутність підтримки розподіленості – Початково HTTP протокол був розроблений для рішення побутових типових задач, де час обробки даних не мав займати багато часу, або взагалі не мав відігравати значної ролі. Але з плином часу стало зрозуміло, що при використанні його у промислових цілях з використанням зазначених розрахунків та при високій навантаженості на сервер протокол є не ефективним, в зв'язку з цим у 1998 році був запропонований альтернативний протокол HTTP-NG(HTTP Next Generation), який досі знаходиться у розробці [2].

З вище описаних особливостей можна зробити висновок, що HTTP протокол аутентифікації користувача є простим, універсальним, легко модифікованим, і, якщо можна так

сказати, він став стандартом, але він має і свої недоліки, оскільки він був розроблений для багатьох цілей, а не виключно для аутентифікації, він потребує більше часу для роботи, додаткові підтримку та налаштування для якісної роботи.

В даний час поширені є такі схеми аутентифікації, які за рівнем безпеки відрізняються:

1. Basic – дана схема являється однією з доступних та простих, передає особисті електронні дані користувача в заголовку «authorization» (рис. 2.) у незашифрованому вигляді (base64-encoded).

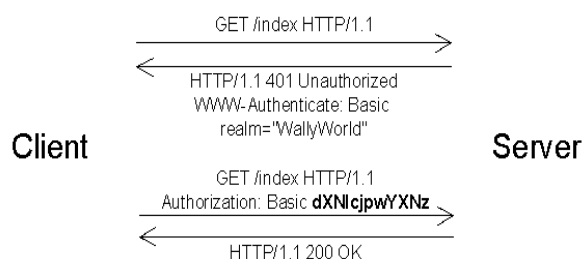


Рис. 2. Приклад HTTP аутентифікації з використанням Basic схеми

2. Digest – це схема, яка працює за принципом запит-відповідь, коли сервер надсилає унікальний запит, а у відповідь браузер надсилає унікальну відповідь, котра містить хеш дані про пароль користувача, обчислену за допомогою зазначеного унікального значення, надісланого сервером. Тобто ця схема є більш надійною альтернативою Basic схеми при використанні незахищених з'єднань, але вразлива до так званих «Людина в центрі» атак, коли йде перехват і заміна повідомлення, якими обмінюються клієнт і сервер. Використання даної схеми обмежує використання сучасних хеш-функцій для зберігання на сервері паролів користувачів.

3. NTLM (Windows authentication) – ця схема також побудована на запит-відповідь методі роботи у якому пароль у чистому вигляді не передається. Ця схема підтримується більшістю серверів і браузерів, але вона не є стандартом HTTP та використовується переважно для роботи у веб додатках Windows Active Directory.

4. Negotiate – ця схема є зразком так званого сімейства Windows authentication, що надає можливість клієнтові обирати між NTLM та Kerberos схемою аутентифікації. Система аутентифікації Kerberos є більш безпечним протоколом, що працює по технології

єдиного входу, але він може працювати лише тоді, коли сервер та клієнт знаходяться в зоні Internet і являються частиною домену Windows.

Іншим широко використовуваним протоколом аутентифікації є протокол Formsauthentication. Певного стандарту для цього протоколу не існує, тому всі види його реалізації унікальні визначених систем, або як їх ще називають – модулів аутентифікації фреймворків розробки.

Робота протоколу Formsauthentication побудована наступним чином: до веб-додатку додається HTML-форма для введення персональних електронних даних користувача, до якої потрібно внести особисті електронні дані користувача та відправити їх до сервера для аутентифікації. Якщо аутентифікація завершена успішно, тоді веб-додаток створює спеціальну мітку (токен, sessiontoken), яка поміщається зазвичай в тимчасові файли браузера. Надалі токен буде автоматично додаватися у наступні запити користувача до сервера і дозволить тим самим отримувати додатково відомості про активного користувача для авторизації запиту (рис. 3.).

Створення додатком токена може відбуватися двома способами:

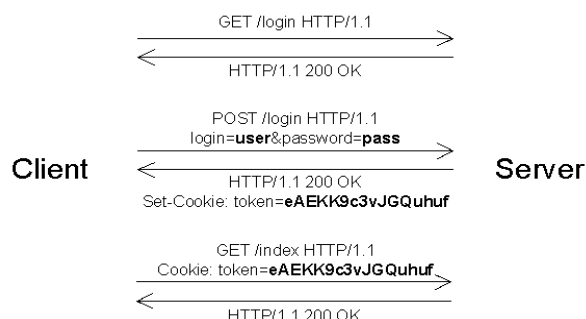


Рис. 3. Приклад роботи протоколу Formsauthentication

1. Створення токена, який буде використовуватись в якості ідентифікатора аутентифікованого за допомогою сесії активного в даний час користувача та зберігатиметься в базі даних чи в пам'яті сервера.

2. Створення токена як підписаного чи зашифрованого об'єкта, котрий в собі містить дані про користувача. Такий спосіб дає змогу застосувати багаторівневу (stateless server) архітектуру сервера, але потребує забезпечення постійного оновлення даних про сесійний сертифікат після завершення терміну його дії.

Варто зазначити, що такий рівень доступу, як і при введенні електронних даних може надати перехоплення токена. Для запобігання перехоплення токена спілкування між клієнтом і сервером, при використанні протоколу Formsauthentication, має проходити тільки по захищеному з'єднанню HTTPS [3].

Потрібно відмітити, що при використанні HTTP протоколу аутентифікації користувача неможливо завершити роботу браузера стандартним шляхом, окрім як закрити всі вікна браузера, чи взагалі завершити його роботу шляхом переривання роботи на системному рівні Windows.

Протокол Formsauthentication має деякі переваги, а саме:

1. Універсальність – даний протокол одразу готовий до роботи, для постійного підтримання функції входу в систему і не потребує для цього додаткових налаштувань чи додаткових протоколів.

Недоліками цього протоколу є такі фактори:

1. Роздробленість – функція входу в систему є залежною від машинного ключа, що робить необхідною перевірку машинних ключів на всіх серверах системи.

2. Не раціональне збереження тимчасових даних – тимчасові файли, які знаходяться у браузері містять зашифровані дані для аутентифікації, які там можна і не зберігати.

Таким чином можна зазначити, що протокол Formsauthentication є універсальним і заздалегідь підготовленим рішенням багатьох задач для систем аутентифікації, але він виконує деяку зайву роботу і має деякі вагомні вразливості з точки зору захисту інформації.

У цілому аутентифікація за допомогою пароля вважається не дуже надійним методом, адже пароль може бути підібраний, а користувачі мають властивість часто використовувати дуже прості чи однакові паролі для декількох веб-ресурсів, або взагалі записувати їх на папері [4]. Користувач часто не дізнається, що його пароль був підібраний. Окрім цього, помилки можуть і самі допускати ряд помилок, які дають зловмисникам нагоду зламу облікових записів.

Існують такі найбільш поширені вразливості при використанні аутентифікації за паролем [5]:

1. Веб-додаток дає дозвіл користувачам на використання простих паролів.

2. Веб-додаток не оснащений захистом від механізмів підбору паролів.

3. Веб-додаток виконує передачу паролів через незахищене HTTP з'єднання.

4. Веб-додаток не користується захищеними хеш-функціями для захищеного зберігання паролів користувачів.

5. Веб-додаток може використовувати не захищену функцію для відновлення пароля користувача, до якої можливо отримати доступ для неавторизованого використання інших облікових записів.

6. Веб-додаток може не запитувати у користувача дані для повторної аутентифікації при виконанні важливих дій, таких як зміна пароля.

7. Веб-додаток може надавати користувачам токени, які вже передбачені для інших користувачів, таким чином токени можуть бути підібрані.

8. Веб-додаток може не завершувати сесію користувача після не тривалого періоду неактивності.

Дослідивши вказані переваги та недоліки методів та протоколів аутентифікації користувача в комп'ютерних мережах, було визначено подальші напрямки дослідження та шляхи вирішення проблем, які виникли в рамках проведеного аналізу.

Висновки. В процесі даного дослідження розглянуті основні методи та протоколи для аутентифікації користувача в комп'ютерних мережах та системах.

Проведено дослідження роботи HTTP протоколу аутентифікації користувача та протоколу Formsauthentication.

Виконаний аналіз ключових моментів в роботі цих протоколів і відмічені переваги та недоліки, які вимагають захисту та доопрацювання в подальшому дослідженні.

Список літератури

1. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. Киев: ООО «ТИД «ДС». 2001. 688 с.
2. Малюк А. А., Пазизин С. В., Погожин Н. С. Введение в защиту информации в автоматизированных системах. Москва: Горячая линия-Телеком, 2001. 148 с.
3. Смит Р. Е. Аутентификация: от паролей до открытых ключей = Authentication: from passwords to public keys. First Edition. Москва: Вильямс, 2002. С. 432.
4. Острейковский В. А. Информатика: учеб. пособие. Москва: Высшая школа, 2001. 319 с.
5. Молдовян А. А., Молдовян Н. А., Рад Б. Я. Криптография. СПб.: Изд-во «Лань», 2001. 224 с.
6. Норткатт С., Новак Д., Маклахлен Д. Обнаружение вторжений в сеть. Изд-во «ЛЮРИ», 2001. 384 с.
7. Мухин В. Е., Дарвиш Л. Средства для анализа и повышения эффективности протоколов аутентификации в компьютерных сетях. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Інформатика, управління та обчислювальна техніка"*. 2004. № 42. С. 71–83.
8. Столингс В. Основы защиты сетей. Приложения и стандарты. Москва: Вильямс, 2002. 324 с.

References

1. Domarev, V. V. (2001) The security of information technologies. Methodology for creating protection systems. Kiev: LLC "TID" DS ", 688 p. [in Russian].
2. Malyuk, A. A., Pazizin, S. V., Pogozhin, N. S. (2001) Introduction to information protection in automated systems. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 148 p. [in Russian].
3. Smit, R. E. (2002) Authentication: from passwords to public keys. First Edition. Moscow: Williams, p. 432 [in Russian].
4. Ostrejkovskiy, V. A. (2001) Informatics. Moscow: Vysshchaya shkola, 319 p. [in Russian].
5. Moldovyan, A. A., Moldovyan, N. A., Rad, B. Ya. (2001) Cryptography. St. Petersburg: Izd-vo "Lan", 224 p. [in Russian].
6. Norcutt, S., Novak, D., McLachlan, D. (2001) Detection of intrusions into the network. Izd-vo "LORI", 384 p. [in Russian].
7. Mukhin, V. Ye., Darvish, L. (2004) Means for analyzing and increasing the efficiency of authentication protocols in computer networks. *Visnyk NTUU "KPI". Seriya "Informatyka, upravlinnya ta obchyslyvalna tehnika"*, No. 42, pp. 71–83 [in Russian].
8. Stolinings, V. (2002) The fundamentals of network protection. Applications and standards. Moscow: Williams, 324 p. [in Russian].

I. V. Myronets, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: irenmir@ukr.net,

N. E. Radzyevskyj, *postgraduate*
e-mail: delumcor@rambler.ru

Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE ANALYSIS OF METHODS AND AUTHENTICATION PROTOCOLS IN COMPUTER NETWORKS

This article is devoted to the analysis of the main methods and protocols of user authentication. During the research, the principle of operation of authentication methods and protocols and their key features, scope and degree of information security when using one or another method and protocol are analyzed. In computer systems for information transferring, at the identification stage, user provides his personal electronic data for verification. At the stage of authentication, personal user's electronic data are verified with certain protocols. Ultimately, as a result of successful verification of user's electronic data the user gets access rights to a particular resource. Electronic systems of information transmission also have more sophisticated methods of authentication and authorization built on various protocols. After the investigation of advantages and disadvantages of the considered user authentication protocols in computer networks, the further directions of research and ways of solving the problems that arose during the analysis are determined.

Keywords: *identification, authentication, authorization, computer systems, confidential data, protection of information.*

*Рецензенти: Рудницький В. М., д.т.н., професор,
Голуб С. В., д.т.н., професор*

В. А. Гринвальд¹, *магістр*,
e-mail: viktoriya_grinvald@mail.ru
Ю. Н. Пушкарёв¹, *к.т.н., доцент*,
e-mail: pushkarev_yura@i.ua
В. И. Унрод², *к.т.н., доцент*
e-mail: unrod@mail.ru

¹ Одесский национальный политехнический университет
просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина

² Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

СВОЙСТВА ВУЛКАНИЗАТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ, НАПОЛНЕННЫХ ПРОДУКТАМИ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ЕМКОСТНОЙ ТАРЫ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Показана возможность использования порошкообразного продукта химической деструкции методом аммонолиза использованной емкостной тары из полиэтилентерефталата (ПЭТ-бутылок) в качестве наполнителя композиций для покрытий на основе олигобутадиендиола. Изучены процессы структурирования наполненных композиций, физико-механические свойства и химическая стойкость вулканизатов. Определено, что вулканизаты, наполненные деструктивным ПЭТ, имеют более высокую твердость и прочность на разрыв в сравнении с теми, которые наполнены каолином. Следует отметить повышенную химическую стойкость изученных композитов при взаимодействии с разбавленными водными растворами неорганических кислот на примере 20% HCl и H₂SO₄.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, деструкция, наполнитель, композиция, эбонит, покрытия.

Введение. Прогресс в современном материаловедении обуславливает потребность в создании новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) с комплексом необходимых функциональных свойств. Традиционный путь создания ПКМ связан с введением в связующий полимер наполнителей, во многом определяющих их свойства. При введении наполнителей свойства полимерного материала определяется как структурными изменениями в полимерной матрице, так и видом наполнителя. В большинстве случаев введение доступных и дешевых наполнителей снижает стоимость ПКМ, повышая их экономическую эффективность. Особенно эффективно использование в качестве наполнителей побочных продуктов переработки различных видов сырья и вторичных ресурсов.

В настоящей работе рассмотрена возможность использования в качестве наполнителя эбонитовых композиций порошкообразных продуктов химической деструкции использованной емкостной тары из полиэтилентерефталата (ПЭТ-бутылок), что весьма актуально как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Объекты исследования. Эластомеры и вулканизаты на основе композиций с использованием в качестве наполнителя продуктов химической деструкции емкостной полимерной тары из полиэтилентерефталата.

Цель и задачи исследования. Определение возможности использования порошкообразных продуктов химической деструкции использованной емкостной тары (ПЭТ-бутылок) в качестве наполнителя эбонитовых композиций и покрытий на их основе.

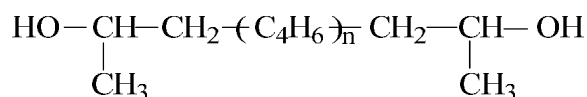
С этой целью изучали физико-механические свойства, параметры структурных сеток и химическую стойкость вулканизатов из композиций, наполненных продуктами химической деструкции использованной тары из ПЭТ.

Анализ литературных данных. Эбонитовые композиции на основе олигобутадиенов с различными наполнителями (технический углерод, каолин, тальк и др.) нашли практическое применение для получения антикоррозионных покрытий оборудования, эксплуатирующегося в высокоагрессивных химических средах [1]. Особенности формирования покрытий из жидких эбонитовых

композиций на основе олигобутадиендиолов методом двухступенчатой вулканизации и их свойства рассмотрены в работах [2, 3]. Возможность использования порошкообразного фторлона Ф-2М в качестве наполнителя эбонитовых композиций и покрытий на их основе показана в работах [4, 5]. В работе [6] приводятся данные о получении порошкообразных продуктов химической деструкцией использованной емкостной тары из полиэтилен-терефталата (ПЭТ-бутылок) методом аммонолиза, которые могут использоваться в качестве наполнителя в ПКМ на основе эпоксидных и полиэфирных смол.

Материалы и методы исследования. Твердые продукты деструкции, после отмывки их на фильтре от водорастворимых примесей и сушки, представляют собой порошкообразный материал молочно-белого цвета с размерами частиц 3–250 мкм и средней насыпной плотностью 368 кг/м³.

В качестве связующей основы композиций использовали олигобутадиендиол (ОБД) марки KRASOL-LBH-5000 с молекулярной массой 4638 г/моль, вязкостью по Брукфильду 26,9 Па·с при 25°C, содержанием гидроксильных групп 0,421 ммоль/г и гидроксильным числом 23,62 мг КОН/г олигомера, строение которого приведено ниже:



где $-(\text{C}_4\text{H}_6)_n-$ – молекулярная цепь олигобутадиена с преимущественным содержанием (> 60%) винильных (1, 2) звеньев [7].

Предварительную вулканизацию композиции при комнатной (20–25°C) температуре проводили полиизоцианатным отвердителем WANNATE PM-200 (смесь 4,4' – дифенилметандиизоцианата (МДИ) с изомерами и гомологами с содержанием NCO-групп 32%) [8] в количестве 20 масс. ч. на 100 масс. ч. ОБД. Для осуществления серной вулканиза-

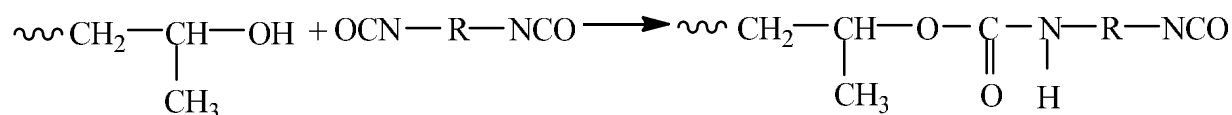
ции в композиции вводили серу с ускорителями дифинилгуанидином (ДФГ) и 2 – меркаптобензотиазолом (каптаксом) в количестве соответственно 50, 2,5 и 2,5 масс. ч. на 100 масс. ч. ОБД.

Приготовленные путем смешения ингредиентов композиции наносили на стеклянные фотопластинки размером 9×12 см слоем толщиной 2±0,2 мм и выдерживали в горизонтальном положении до достижения ими резиноподобного состояния. Полученные этим способом пленки отслаивали от стеклянных подложек и вырезали из них образцы для проведения дальнейшей серной вулканизации и проведения испытаний. Серную вулканизацию проводили в термощкафу горячим воздухом без давления при температуре 150°C. Предел прочности при разрыве (σ_r) и относительное удлинение (ϵ) вулканизатов определяли на разрывной машине РМИ-250 со скоростью деформации 50 мм/мин (ГОСТ 270-75). Плотность образцов (ρ) определяли по отношению их массы к объему. Твердость резиноподобных вулканизатов (σ_T) определяли с помощью угольчатого твердомера ТИР по ГОСТ 263-53.

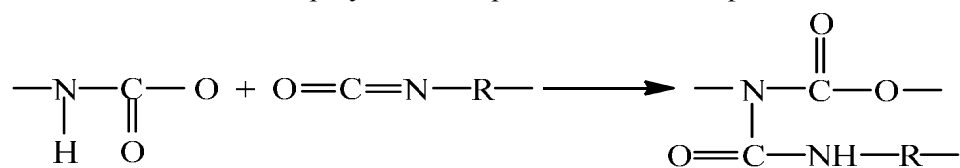
Количество связанной серы ($S_{св}$) в эбонитовых вулканизатах определяли по результатам экстракции порошков эбонитов, полученных обработкой ацетоном в аппарате Сохслета в течение 24 часов по методике [9].

О химической стойкости вулканизатов судили по изменению массы образцов (Δm) при выдержке их в 20% растворах серной и соляной кислот (ГОСТ 9.030 – 74).

Результаты исследований. На первом этапе структурирование композиций при комнатной (20–25°C) температуре осуществляется в результате химического взаимодействия изоцианатных групп с гидроксильными группами ОБД с образованием уретанового эластомера [10]:



При избытке диизоцианата образуются поперечные связи аллофанатного типа:



Физико-механические свойства образцов, полученных при комнатной температуре из композиций ОБД, наполненных деструктурированным ПЭТ в сравнении с образцами, наполненными каолином приведены в табл. 1.

Образцы, наполненные деструктурированным ПЭТ характеризуются более низкой плотностью по сравнению с образцами, наполненными каолином, при близких показателях их объемного наполнения.

Твердость структурированных при 20-25°C образцов из композиций, наполненных деструктурированным ПЭТ и каолином, возрастает с продолжительностью отверждения и через 9-10 суток достигает стабильных значений, не изменяющихся в течение года. При

этом твердость образцов из композиций с деструктурированным ПЭТ (60-64 ед. ТИР) значительно выше твердости образцов, наполненных каолином (38-42 ед. ТИР).

Показатели прочности и относительного удлинения образцов, структурированных при 20-25°C, невелики, однако они вполне достаточны для обеспечения возможности нанесения последующих слоев покрытия с дальнейшей вулканизацией всего многослойного покрытия при 150°C серно – ускорительной системой, содержащейся в композиции.

Введенная в композицию сера с ускорителями активно вулканизует предварительно сшитый полиизоцианатом ОБД (рис. 1).

Таблица 1

Свойства образцов полученных при 20 – 25 °С из композиций, наполненных каолином и деструктантом ПЭТ

Наполнитель	Количество наполнителя на 100 г ОБД		Твердость, ед. ТИР	Плотность, кг/м ³	Прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %
	г	см ³				
Каолин	20	7,8	38-42	1300	0,15	-
Деструктант ПЭТ	2,5	6,8	60-64	1030	0,23	76-100

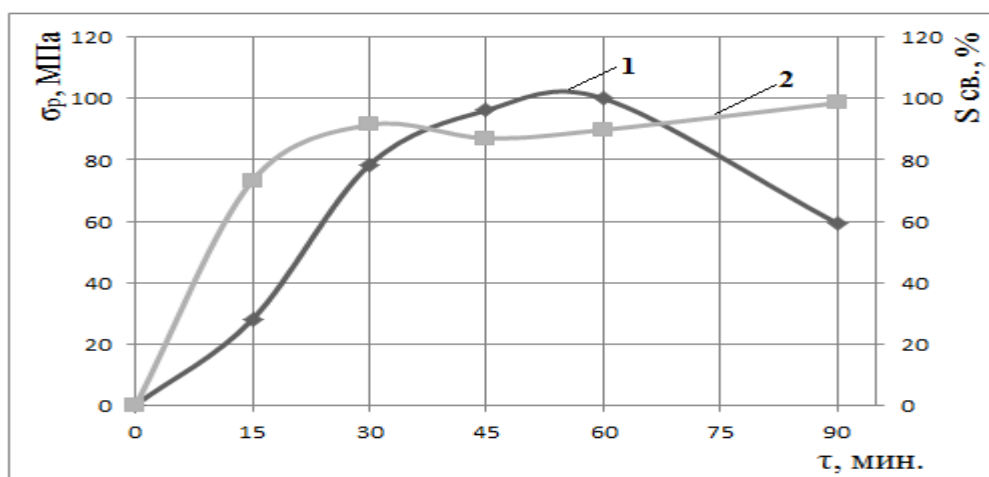


Рис. 1. Зависимости прочности (σ_p) (1) и содержания в них связанной серы ($S_{св.}$) (2) от продолжительности вулканизации (τ) при 150°C

Показатели прочности и относительного удлинения образцов, структурированных при 20-25 °C, невелики, однако они вполне достаточны для обеспечения возможности нанесения последующих слоев покрытия с дальнейшей вулканизацией всего многослой-

ного покрытия при 150°C серноускорительной системой, содержащейся в композиции.

В начальный период вулканизации при 150°C в течение 15-30 минут количество связанной по отношению к введенной в композицию серы, возрастает с 73% до 91% (зави-

симость 2). Одновременно, в этот период вулканизации, возрастает прочность вулканизата (зависимость 1).

Затем, при 45 минутах вулканизации количество связанной серы в вулканизате несколько снижается, после чего вновь возрастает. Это явление вполне согласуется с существующими теоретическими представлениями [11, 12] о разрушении на определенном этапе образующихся в начальный период вулканизации термически нестойких полисульфидных связей и участии выделившейся серы в построении дополнительных ди- и моносulfидных связей в вулканизационной сетке.

Максимальные значения прочности достигаются в результате вулканизации в течение 60 минут при содержании связанной серы в вулканизате 89,78 %. Дальнейший прогрев при 150°C (более 60 минут) приводит к реверсии и снижению прочности вулканизата.

При оптимальной продолжительности вулканизации (60 минут при 150°C) образуются типичные эбонитовые вулканизаты, плотность которых (820-840 кг/м³) значительно ниже плотности эбонитов из композиции того же состава наполненных каолином (1170-1200 кг/м³).

Показатели прочности при разрыве, оптимально вулканизированного эбонита из композиции наполненной деструктурированным ПЭТ (100 МПа), близки к показателям прочности при разрыве эбонита, наполненного каолином (120 МПа) [3]. Показатели химической стойкости в 20% растворах серной и соляной кислот (рис. 2) выше стойкости эбонита, наполненного фторлоновым порошком Ф-2М, изменение массы которого в 20% H₂SO₄ составляет 0,263 – 0,683 %, а в 20% HCl – 1,36 – 1,68% [5].

Плотность эбонитовых вулканизатов из композиции, наполненной деструктурированным ПЭТ, значительно ниже (0,82 г/см³) плотности вулканизатов из композиции, наполненной каолином (1,17 г/см³).

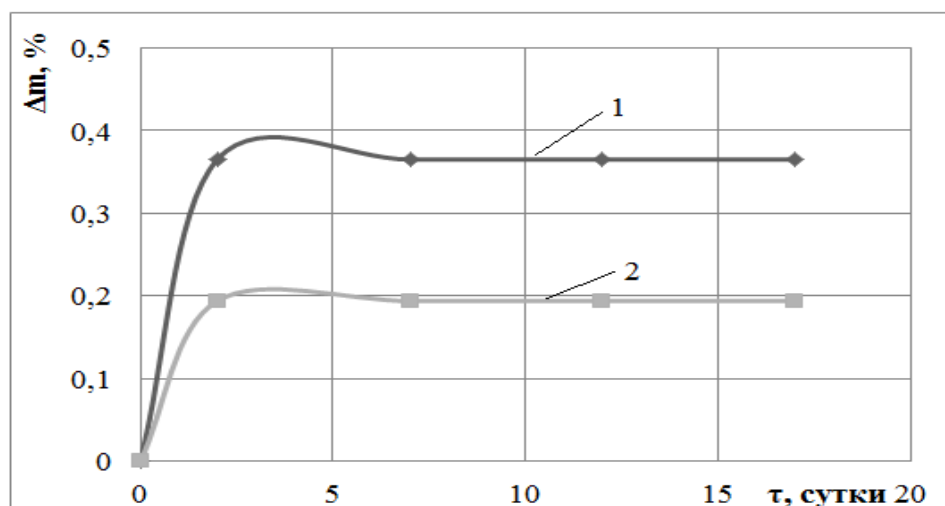


Рис. 2. Зависимость изменения массы (Δm) от времени выдержки (τ) : в 20% растворах соляной (1) и серной (2) кислот при 20° С

Выводы.

1. Порошкообразный продукт химической деструкции емкостной тары из ПЭТ может рассматриваться как эффективный наполнитель композиции для получения эбонитовых вулканизатов и покрытий.

2. Структурированные диизоцианатом ОБД и эбонитовые вулканизаты отличаются более низкой плотностью по сравнению с аналогичными материалами из композиций, наполненных каолином.

Эбониты из композиций, наполненных деструктурированным ПЭТ, характеризуются высокой прочностью и химической стойкостью.

4. Представляют научный и практический интерес дальнейшие исследования строения и структуры продуктов деструкции ПЭТ с целью научного обоснования и разработки новых ПКМ.

Список литературы

1. Пушкарев Ю. Н. Эбонитовые композиции и покрытия на основе олигобутадиенов. Харьков: Бурун Книга, 2012. 172 с.
2. Асманская К. В., Сайтарлы С. В., Пушкарев Ю. Н., Унрод В. И. Особенности формирования покрытий из жидких эбонитовых композиций. *Сучасні проблеми науки і технологій (MPST – I – 2015)*: тези доп. І наук.-практ. конф. Миргород, 2015. С. 189–192.
3. Сайтарлы С. В., Пушкарев Ю. Н., Унрод В. И. Вулканизация и свойства эбонитовых композиций на основе олигобутадиендиолов. *Наука и образование: сб. трудов VII Междунар. науч. конф., (27.02–6.03.2015, Дубай, ОАЭ), 2015. С. 49–52.*
4. Сайтарлы С. В., Плаван В. П., Пушкарьов Ю. М. Вплив фторлонового наповнювача на властивості ебонітових композицій і хімічну стійкість покриттів. *Нові науковомісткі технології виробництва матеріалів, виробів широкого вжитку та спеціального призначення*: тези доп. XIV Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів. Київ: КНУТД, 2015. С. 270.
5. Сайтарлы С. В., Бисяріна К. Г., Плаван В. П., Пушкарьов Ю. М. Вивчення ємнісно-омічних характеристик ебонітових покриттів з фторлоновим наповнювачем у розчинах кислот. *Львівські хімічні читання*: зб. наук. праць XV наук. конф. Львів, 2015. Т. 14. С. 341.
6. Дейнеко А. А., Пушкарев Ю. Н., Савин С. Н., Попов А. Ю. Получение порошковых наполнителей путем химической переработки тары из полиэтилен-терефталата. *Физико-химия процессов переработки полимеров*: тез. докл. IV Всеросс. конф. Иваново, 2009. С. 162–163.
7. KRASOL/Liquid – polybutadiene. KAUCUK, a.s. Unipetrol Group. URL: www.krasol.com
8. WANNATE-PM-200. URL: <http://unichemtrade.com/catalog/WANNATE-PM-200>
9. Аверко-Антонович И. Ю., Бикмуллин Р. Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров. Казань: КГТУ, 2002. С. 503–506.
10. Липатов Ю. С., Керча Ю. Ю., Сергеева Л. Н. Структура и свойства полиуретанов. Киев: Наукова думка, 1970. 280 с.
11. Гофман В. Вулканизация и вулканизирующие агенты. Ленинград: Химия, 1968. 464 с.
12. Догадкин Б. А. Химия эластомеров. Москва: Химия, 1972. 392 с.

References

1. Pushkarev, Yu. N. (2012) Ebonite compositions and coatings based on oligobutadien. Kharkov: Burun Kniga, 172 p. [in Russian].
2. Asmanskaya, K. V., Saitarly, S. V., Pushkarev, Yu. N., Unrod, V. I. (2015) Features of formation of coatings from liquid ebonite compositions. *Suchasni problemy nauky i tehnolohiy (MPST – I – 2015)*: thesis of reports of the I sci.-pract. conf. Mirgorod, pp. 189–192 [in Russian].
3. Saitarly, S. V., Pushkarev, Yu. N., Unrod, V. I. (2015) The vulcanization and properties of ebonite compositions based on oligobutadienediol. *Nauka i obrazovaniye*: proceedings of the VII Internat. sci. conf. (27.02 – 6.03). Dubai, UAE, pp. 49–52 [in Russian].
4. Saitarly, S. V., Plavan, V. P., Pushkarev, Yu. N. (2015) Influence of ftorlon filler on the properties of ebonite compositions and chemical resistance of coating. *Novi naukovomistki tehnolohiyi vyrobnytstva materialiv, vyrobiv shyrokooho vzhytku ta specialnoho pryznachennya*: thesis of reports of the XIV All-Ukr. sci. conf. of young scientists and students. Kyiv: KNUTD, p. 270 [in Ukrainian].
5. Saitarly, S. V., Bysyarina, K. G., Plavan, V. P., Pushkarev, Yu. N. (2015) The study of capacitor-ohmic characteristics of ebonite coatings with ftorlon filler in acid solutions. *Lvivski himichni chytannya*: proceedings of the XV sci. conf. Lviv, vol. 14, p. 341 [in Ukrainian].
6. Deyneko, A. A., Pushkarev, Yu. N., Savin, S. N., Popov, A. Yu. (2009) Powder fillers received by chemical treatment of polyethylene-terephthalate. *Fiziko-himiya processov pererabotki polimerov*: thesis of reports of the IV All-Rus. conf. Ivanovo, pp. 162–163 [in Russian].
7. KRASOL/Liquid – polybutadiene. KAUCUK, a.s. Unipetrol Group. URL: www.krasol.com
8. WANNATE-PM-200. URL: <http://unichemtrade.com/catalog/WANNATE-PM-200>

9. Averko-Antonovich, I. Yu., Bikmullin, R. T. (2002) Methods of studying the structure and properties of polymers. Kazan: KGTU, 604 p. [in Russian].
10. Lipatov, Yu. S., Kerch, Yu. Yu., Sergeeva, L. N. (1970) The structure and properties of polyurethanes. Kiev: Naukova dumka, 280 p. [in Russian].
11. Gofman, V. (1968) Vulcanization and vulcanizing agents. Leningrad: Himiya, 464 p. [in Russian].
12. Dogadkin, B. A. (1972) Chemistry of elastomers. Moscow: Himiya, 392 p. [in Russian].

V. A. Hrinvald¹, *master of science*,

e-mail: viktoriya_grinvald@mail.ru

Yu. N. Pushkarev¹, *Ph.D., associate professor*,

e-mail: pushkarev_yura@i.ua

V. I. Unrod², *Ph.D., associate professor*

e-mail: unrod@mail.ru

¹ Odessa National Polytechnic University
Shevchenko ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine

²Cherkassy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine

VULCANIZATES' PROPERTIES OF THE COMPOSITIONS FILLED WITH CHEMICAL DESTRUCTION PRODUCTS OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PACKAGE

The possibility of using a powdered product of chemical destruction by the method of ammonolysis of the used capacitive container made of polyethylene terephthalate (PET bottles) as a filler of compositions for coatings based on oligobutadienediol is shown. The processes of structuring of filled compositions, physical and mechanical properties and chemical stability of vulcanizates have been studied. It is determined that vulcanizates filled with destructive PET have higher hardness and tensile strength in comparison with similar ones that are filled with kaolin. The increased chemical resistance of the studied composites when interacting with dilute aqueous solutions of inorganic acids by the example of 20% HCl and H₂SO₄ should be noted.

Keywords: *polyethylene terephthalate, destruction, filler, composition, ebonite, coatings.*

Рецензенти: Ерайзер Л. Н., д.х.н., професор,

Канашевич Г. В., д.т.н., професор

О. О. Харін, аспірант

kharin_aa@mail.ua

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ КАСКАДНОГО КОДУ, ЩО ПОЄДНУЄ ФАКТОРІАЛЬНИЙ ТА РІВНОВАЖНИЙ КОД

У роботі запропоновано і детально розглянуто принцип побудови каскадного кодування з використанням факторіального та рівноважного кодів. Запропонована комбінація кодів забезпечує підвищення достовірності передачі даних. Процес кодування передбачає послідовне використання рівноважного кодування та факторіального кодування з відновленням даних за перестановкою (ФКВД). Для запропонованого коду виконано оцінку достовірності передачі, швидкості та енергетичний виграш. Побудовано експериментально-розрахункову модель запропонованого каскадного коду з метою визначення залежності ймовірності помилкового декодування блоку даних від його розміру та ймовірності бітової помилки в каналі зв'язку для біноміального розподілу помилок на вході декодера. На основі отриманих експериментальних даних виконано порівняльний аналіз з ФКВД та надано рекомендації щодо його застосування.

Ключові слова: каскадний код, рівноважний код, факторіальний код, контроль цілісності інформації, криптографічний захист, достовірність передачі.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку комп'ютерних систем і мереж актуальною задачею є підвищення достовірності передачі даних.

Засоби, направлені на вирішення цієї задачі, дозволяють покращити ефективність засобів обробки інформації за рахунок використання існуючої або внесення додаткової надлишковості, а пошук нових способів підвищення достовірності передачі є актуальним напрямком для дослідження.

Аналіз джерел та публікацій. Отримані в [1, 2, 3] результати показують ефективність використання факторіального кодування в каналах зв'язку зі зворотнім вирішальним зв'язком для задач контролю цілісності інформації (КЦІ). Особливої уваги заслуговує метод факторіального кодування з відновленням даних (ФКВД), що об'єднує функції виявлення помилок в каналі зв'язку та криптографічного захисту інформації. ФКВД передбачає заміну інформаційної послідовності з k біт на перестановку чисел порядку M , де $M! \geq 2^k$, причому значення, що перевищують 2^k вважаються забороненими і вказують на помилку під час передачі. Крім того, параметри перетворення інформаційної послідовності в перестановку можуть триматися в таємниці, що забезпечує захист даних від несанкціонованого доступу. Швидкість ФКВД залежить від розміру інформаційного блоку k і зростає з його збільшенням. Крім того, такий код за-

безпечує високу достовірність передачі даних за рахунок природної надлишковості ФКВД. У [3] також показано, що ФКВД вразливий до помилок парної кратності, які призводять до трансформації однієї перестановки дозволеної множини в іншу.

Таким чином, для підвищення достовірності передачі ФКВД необхідно підвищити стійкість до помилок парної кратності. Одним із таких способів є каскадне кодування, загальні принципи роботи якого описано в [5]. Каскадні коди дозволяють суттєво підвищити достовірність передачі даних за рахунок внесення додаткової надлишковості і, як наслідок, зниження пропускну здатності. Як показано в [5], в основі таких кодів лежить використання зовнішнього та внутрішнього кодування.

Мета роботи. Метою цієї роботи є розробка та аналіз методу каскадного кодування інформації, що поєднує факторіальний та рівноважний код і дозволяє підвищити достовірність передачі даних. Для цього в роботі необхідно виконати оцінку запропонованого каскадного коду в системах передачі даних з вирішальним зворотнім зв'язком та порівняти отримані характеристики з відповідними характеристиками ФКВД. При цьому необхідно оцінити:

- швидкість коду;
- ймовірність помилкового декодування блоку даних;
- енергетичний виграш.

Рішення задачі. Попереднє перетворення інформаційної послідовності за допомогою коду, який дозволяє виявляти помилки парної кратності, є основою до підвищення достовірності передачі даних.

У якості внутрішнього коду, який дозволяє виконати часткове виявлення помилок парної кратності, обрано рівноважний код (ЕС – Equilibrium Code), властивості якого описано в [6]. Такий порядок слідування кодів дозволяє в повній мірі використати переваги ФКВД, а також зменшити ймовірність невиявленої каскадним кодом помилки. Далі такий каскадний код будемо називати факторіальним каскадним кодом (ФКК).

Рівноважний код передбачає заміну інформаційного блоку $A_k(x)$, що містить k біт, на послідовність $B_m(x)$ з m біт, що містить сталу кількість одиниць. Головною перевагою рівноважного коду є те, що він дозволяє виявляти всі помилки, окрім тих, що призводять одночасно до трансформації однакової кількості нулів та одиниць [6]. Інформаційна послідовність $B_m(x)$ перетворюється в перестановку $\pi_n(x)$, що містить n біт, за допомогою ФКВД, як описано в [3]. Описане послідовне перетворення має вигляд:

$$A_k(x) \rightarrow B_m(x) \rightarrow \pi_n(x). \quad (1)$$

Для забезпечення можливості зворотного перетворення повинна виконуватися наступна вимога: кожному слову $A_k(x)$ повинно відповідати лише одне значення $B_m(x)$, а кожному значенню $B_m(x)$ – лише одне значення $\pi_n(x)$. Отже базова вимога до перетворення має вигляд:

$$M\{\pi_n(x)\} \geq M\{B_m(x)\} \geq M\{A_k(x)\}, \quad (2)$$

де $M\{A_k(x)\} = 2^k$ – потужність множини інформаційних слів;

$M\{B_m(x)\} \geq \{C_m^{0.5m}, C_m^{0.5(m \pm 1)}\}$ – потужність множини рівноважних слів для парних і непарних m відповідно. Надалі для спрощення запису замість виразу $\{C_m^{0.5m}, C_m^{0.5(m \pm 1)}\}$ буде використовуватися запис тільки для парних $m - C_m^{0.5m}$.

Вираз $C_m^{0.5m}$ показує, скільки існує векторів з розмірністю m і вагою Хеммінга $0.5m$. Такий вибір забезпечує найбільшу підмножину рівноважних слів;

$M\{\pi_n(x)\} = M!$ – потужність множини перестановок.

Оцінка основних параметрів коду.

Під час розрахунку параметрів ФКК будемо спиратись на умову (2).

З виразу (1) слідує, що потужність множини рівноважних слів більша, ніж потужність інформаційних слів, тому очевидно, що розмірність інформаційного вектора $A_k(x)$ $k \leq \log_2 C_m^{0.5m}$. Враховуючи, що $\log_2 C_m^{0.5m}$ може не бути цілим числом,

$$k \leq \left\lfloor \log_2 C_m^{0.5m} \right\rfloor. \quad (3)$$

Запис $[a]$ означає цілу частину від числа a .

Надлишковість рівноважного коду можна визначити за допомогою співвідношення:

$$\alpha_1 = \frac{2^m}{2^k} = 2^{m-k}. \quad (4)$$

Очевидно, що $\alpha_1 \rightarrow \min$ для $k = \left\lfloor \log_2 C_m^{0.5m} \right\rfloor$.

Аналогічно, виходячи з умови $M\{\pi_n(x)\} \geq M\{B_m(x)\}$ і враховуючи, що $M\{\pi_n(x)\} = M!$, $M\{B_m(x)\} = 2^m$ отримуємо відношення $M! \geq 2^m$. Звідси слідує, що

$$m \leq \left\lfloor \log_2 M! \right\rfloor. \quad (5)$$

Вираз (5) слугує для визначення порядку перестановки M , виходячи з якого визначається кількість біт перестановки

$$n = M \cdot \left\lfloor \log_2 M \right\rfloor. \quad (6)$$

Вираз $\lceil a \rceil$ означає функцію округлення в більшу сторону числа a .

Надлишковість факторіального коду по відношенню до рівноважного визначається таким чином:

$$\alpha_2 = \frac{2^n}{2^m} = 2^{n-m}. \quad (7)$$

Очевидно, що $\alpha_2 \rightarrow \min$ для $m = \left\lfloor \log_2 M! \right\rfloor$.

Надлишковість α_3 та швидкість ν ФКК визначаються наступним чином:

$$\alpha_3 = \alpha_1 \alpha_2 = 2^{n-k}, \quad (8)$$

$$\nu = \frac{k}{n}. \quad (9)$$

Використовуючи вирази (1)–(9), виконаємо оцінку параметрів ФКК для різних довжин k інформаційного слова $A_k(x)$. Результати оцінки наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Оцінка основних параметрів ФКК

k	m	M	n	v	α_1	α_2	α_3
12	15	8	24	0,54	2^3	2^9	2^{12}
43	45	16	64	0,67	2^2	2^{19}	2^{21}
114	118	32	160	0,71	2^4	2^{42}	2^{46}
210	215	50	300	0,7	2^5	2^{85}	2^{90}

З таблиці слідує, що ФКК має відносно високу швидкість коду та надлишковість, які зростають зі збільшенням розміру інформаційного блоку k і обумовлені властивостями ФКВД. Очевидно, що швидкість та надлишковість ФКК буде співпадати з відповідними параметрами ФКВД, окрім тих випадків, коли після перетворення $A_k(x) \rightarrow B_m(x)$ виникає необхідність збільшення порядку перестановки M : $2^k \leq M! \leq 2^m$. Також існуюча надлишковість може бути використана для підвищення достовірності передачі даних, як запропоновано в [4].

Оцінка достовірності передачі. Прийняту з каналу зв'язку послідовність будемо називати кодовим словом і позначимо як $\pi'_n(x) = \pi_n(x) + \varepsilon_n(x)$. Процес декодування відбувається у зворотному до (1) порядку: $\pi_n(x) \rightarrow B_m(x) \rightarrow A_k(x)$. Послідовність з n біт, що являє собою сформовану кодером перестановку $\pi_n(x)$ з накладеним на неї вектором помилки $\varepsilon_n(x)$, потрапляє на вхід декодера зовнішнього коду. У ФКК зовнішнім кодом є ФКВД, тому спочатку кодове слово перевіряється на належність до множини перестановок, що полягає у встановленні факту того, що кожне число з діапазону $0, M! - 1$ зустрічається в кодовому слові рівно один раз. Якщо ця умова не виконується, то формується запит на повторення блоку. Інакше визначається десяткове число, що відповідає отриманому кодовому слову і передається на вхід декодера рівноважного коду. Декодер визначає вагу кодового слова та його належність до дозволеної множини з 2^k кодових слів. Якщо прийнятий вектор належить до дозволеної множини і його вага становить $0.5m$, то декодер рівноважного коду перетворює його в прийнятий вектор $A'_k(x) = A_k(x) + \varepsilon_k(x)$, де $\varepsilon_k(x)$ – вектор помилки, що накладається на передане слово $A_k(x)$. Якщо прийнятий вектор до забороненої множини кодових слів або його вага не рівна $0.5m$, то формується запит на повторення блоку.

Оскільки каскадний код є поєднанням двох кодів, ймовірність невиявленої помилки є добутком ймовірностей невиявлених помилок під час кодування інформації за допомогою ФКВД і рівноважного коду:

$$P_{ud}(FCC, p_0) = P_{ud}(FCDR, p_0) \times P_{ud}(EC, p'_0) \quad (10)$$

де p'_0 – ймовірність бітової помилки на вході декодера рівноважного коду (ймовірність бітової помилки на виході ФКВД). Якщо вектор помилки $\varepsilon_n(x)$ призводить до трансформації перестановки в іншу перестановку з дозволеної множини, то має місце не виявлена ФКВД помилка. Ймовірність та умови виникнення таких помилок визначено в [3].

Для рівноважного коду невиявленими будуть помилки, що не призводять до зміни кількості одиничних розрядів, тобто не змінюють вагу кодового слова. Така помилка можлива тоді і тільки тоді, коли рівно t ($t \leq [m/2]$) одиничних біт перетворюються в нулі і рівно t нульових біт перетворюються в одиниці. За незалежних помилок на виході декодера ФКВД та їх біноміального розподілу ймовірність такої події визначається наступним чином:

$$P_{ud}(EC, p'_0) = \sum_{t=1}^{[m/2]} \left(C_{[m/2]}^t (p'_0)^t (1-p'_0)^{[m/2]-t} \times \left(C_{m-[m/2]}^t (p'_0)^t (1-p'_0)^{m-[m/2]-t} \right) \right) = \quad (11)$$

$$= \sum_{t=1}^{[m/2]} \left(C_{[m/2]}^t C_{m-[m/2]}^t (p'_0)^{2t} (1-p'_0)^{[m/2]-t} \times \left((1-p'_0)^{m-[m/2]-t} \right) \right)$$

У випадку, коли розмірність вектора рівноважного коду m парна, вираз (11) приймає наступний вигляд:

$$P_{ud}(EC, p'_0) = \sum_{t=1}^{m/2} \left(C_{m/2}^t (p'_0)^t (1-p'_0)^{m/2-t} \right)^2 \quad (12)$$

Знаючи ймовірність невиявленої помилки, визначимо енергетичний виграш від застосування ФКК. Для цього розроблено розрахунково-експериментальну модель, що імітує роботу системи передачі даних, що складається з джерела та приймача інформації, кодера та декодера ФКК і каналу зв'язку. Вхідними параметрами моделі є розмір інформаційного блоку k , що породжується джерелом, ймовірність бітової помилки в каналі зв'язку

p_0 і загальний обсяг вибірки V . Помилки в каналі зв'язку розподіляються за біноміальним законом. Модель дозволяє оцінити ймовірність виявлення кодом помилок та ймовірність помилкового декодування блоку даних рівноважним кодом та ФКВД окремо, а також ФКК в цілому. Результати моделювання представлені на рис. 1 і 2.

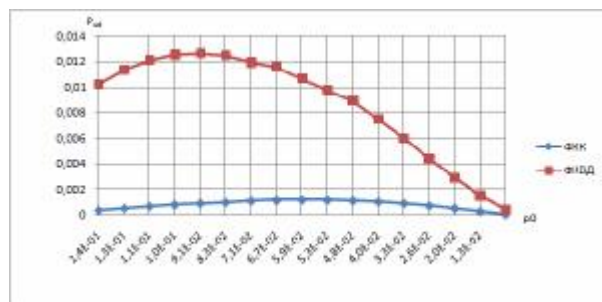


Рис. 1. Графік залежності ймовірності невиявленої кодом помилки від ймовірності бітової помилки p_0 у каналі зв'язку для ФКК та ФКВД при $k = 15$

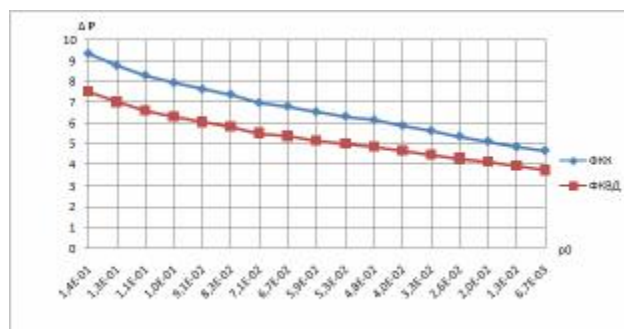


Рис. 2. Графік залежності енергетичного виграшу від ймовірності бітової помилки p_0 у каналі зв'язку для ФКК та ФКВД при $k = 15$

Рис. 1 і 2 показують, що ймовірність невиявленої ФКК помилки менша, ніж у ФКВД, а енергетичний виграш від застосування ФКК більший у порівнянні з ФКВД ($\Delta P_{FCC} - \Delta P_{FCDR} \leq 1.9 \text{ дБ}$).

Виконаний аналіз властивостей ФКК дає змогу сформулювати рекомендації щодо його застосування:

1) запропонований каскадний код забезпечує енергетичний виграш на рівні 2 дБ у порівнянні з ФКВД та може бути використаний в системах передачі даних з використанням каналів дротового і радіозв'язку УКХ та мікрохвильового діапазонів;

2) побудова оптимального кодера рівноважного коду та ФКВД може суттєво підвищити ефективності ФКК в цілому.

Висновки. Виконана робота дозволила побудувати каскадний код, що поєднує рівноважний та факторіальний коди, та виконати аналіз його основних властивостей. Виконано порівняння ФКК та ФКВД.

Властивості ФКК:

- ФКК дозволяє підвищити достовірність передачі даних за рахунок кодування інформаційного вектора рівноважним кодом, що дозволяє частково виявляти помилки, що не можуть бути виявлені ФКВД;

- застосування ФКК дає приріст енергетичного виграшу у порівнянні з ФКВД на рівні 2 дБ;

- ФКК зберігає властивості ФКВД із забезпечення завадостійкого кодування та шифрування даних;

- ФКК має відносно велику швидкість коду та надлишковість, що зростають із збільшенням розміру інформаційного блоку. Існуюча надлишковість може бути використана для додаткового підвищення достовірності передачі даних.

Пошук оптимальних способів побудови рівноважного та факторіального кодів є актуальним напрямком для подальших досліджень, що дозволить підвищити ефективність ФКК.

Список літератури

1. Фауре Э. В., Швыдкий В. В., Щерба В. А. Метод формирования имитовставки на основе перестановок *Захист інформації*. 2014. № 4. Т. 16. С. 334–340.
2. Фауре Э. В., Швыдкий В. В., Щерба В. А. Комбинированное факториальное кодирование и его свойства. *Радио-електроніка, інформатика, управління*. 2016. № 3. С. 80–86.
3. Фауре Э. В. Факториальное кодирование с восстановлением данных *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 33–39.
4. Фауре Э. В. Метод повышения эффективности факториального кодирования с восстановлением данных. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 3. С. 57–61.
5. Золотарев В. В., Овечкин Г. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник. Москва: Горячая линия–Телеком, 2004. 126 с.: с ил.

6. Бородин Л. Ф. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования. Москва: Советское радио, 1968. 408 с.
7. Гладких А. А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи. Ульяновск: УЛГТУ, 2010. 379 с.
8. Прокис Д. Цифровая связь/пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского. Москва: Радио и связь, 2000. 800 с.
9. Кнут Д. Э. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы. Москва: Вильямс, 2002. 720 с.
10. Кнут Д. Э. Искусство программирования. Том 2. Получисленные алгоритмы. Москва: Вильямс, 2007. 832 с.
3. Faure, E. V. (2016) Factorial coding with data recovery. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 33–39 [in Russian].
4. Faure, E. V. (2016) The method of increasing of factorial coding with data recovery efficiency. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 57–61 [in Russian].
5. Zolotarev, V. V., Ovechkin, G. V. (2004) Noiseless coding. Methods and algorithms. Moscow: Goryachaya liniya–Telekom, 126 p. [in Russian].
6. Borodin, L. F. (1968) Introduction in the theory of FEC. Moscow: Sovetskoye radio, 408 p. [in Russian].
7. Gladkih, A. A. (2010) Fundamentals of the theory of soft decoding of redundant codes in erasing channel. Ul'yanovsk: ULGTU, 379 p. [in Russian].
8. Proakis, John G. (2000) Digital communications. Boston: McGraw-Hill, 800 p.
9. Knut, D. E. (2002) The Art of computer programming. Vol. 1. Fundamental algorithms. Moscow: Vil'yams, 720 p. [in Russian].
10. Knut, D. E. (2007) The Art of computer programming. Vol. 2. Seminumerical algorithms. Moscow: Vil'yams, 832 p. [in Russian].

References

1. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V., Shcherba, V. A. (2014) Method for formation of message authentication code based on permutations. *Zakhyst informatsiyi*, No. 4, vol. 16, pp. 334–340 [in Russian].
2. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V., Shcherba, V. A. (2016) Combined factorial coding and its properties. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnya*, No. 3, pp. 80–86 [in Russian].

O. O. Kharin, *postgraduate student*,
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
kharin_aa@mail.ua

ESTIMATION OF PROPERTIES OF CASCADE CODE, WHICH COMBINES FACTORIAL AND EQUILIBRIUM CODES

The principle of construction and properties of cascade code with the use of factorial and equilibrium codes is proposed and discussed in detail. The proposed combination of codes provides an increase in the reliability of data transmission. The coding process assumes the consistent use of equilibrium coding and factorial coding with data recovery (FCDR). The transmission reliability, code rate and energy gain are estimated. Experimental design model of the proposed cascade code is constructed to determine the dependence of the probability of a false decoding of a data block on its size and the probability of a bit error in the communication channel for binomial error distribution at the decoder input. Based on experimental data, a comparative analysis with FCDR is carried out and recommendations for its use are made.

Keywords: cascade code, equilibrium code, factorial code, information integrity control, cryptographic protection, reliability of transmission.

Рецензенти: Рудницький В. М., д.т.н., професор,
Голуб С. В., д.т.н., професор

УДК 004.75

В. М. Саух, к.т.н., доцент,

e-mail: maxsoft@i.ua

Я. В. Крайнова, директор науково-технічної бібліотеки,

e-mail: ntb@chdtu.edu.ua

В. О. Андрієнко, к.т.н., доцент

e-mail: andrienko22@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ І ОСВІТНІХ РЕСУРСІВ ЧДТУ В СВІТОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР

У статті сформовано актуальні напрями роботи університету, пов'язані з просуванням електронних і освітніх ресурсів ЧДТУ в світовий інформаційний простір. Наведено критерії оцінки університету в рейтингу Webometrics і шляхи їх оптимізації. Надано проектні рішення створення інституційного репозитарію на базі електронно-бібліотечної системи ЧДТУ, яка побудована на CMS Drupal з відкритим кодом та забезпечує інтеграції з ORCID.

Ключові слова: інформаційно-освітнє середовище, хмарні сервіси, інституційний депозитарій, відкритий доступ, цитування, Webometrics, ORCID.

Постановка проблеми. Нині швидкими темпами розвивається міжнародний рух Відкритого Доступу до наукових знань, в якому провідну роль відіграють університетські бібліотеки. Саме бібліотекам при впровадженні інституційних репозитаріїв забезпечують підготовку якісних метаданих, збереження і стабільність матеріалів.

Відкритий доступ змінив стратегію розвитку університетських бібліотек, надавши більш широкі партнерські можливості для інформаційної підтримки наукових досліджень, управління базами даних, забезпечуючи якість електронних ресурсів та їх активний обмін. Він бере активну участь у створенні і підтримці репозитаріїв, допомагає видавати журнали та використовувати нові інформаційно-комунікаційні технології. Відкритий доступ і інституційні репозитарії розглядаються сьогодні як нова модель наукових комунікацій.

Реалізація відкритого доступу визначає в наш час і світовий рейтинг університетів. До найбільш відомих рейтингів відносять ARWU (Academic Ranking of World Universities, «шанхайський рейтинг»), THE (The Times Higher Education World University Rankings), QS World University Rankings (Quacquarelli Symonds), Ranking Web of Universities (Webometrics) [1]. Єдиний міжнародний рейтинг, в якому ранжовані всі вузи України - рейтинг Webometrics. Саме тому він є одним з найпопулярніших інструментів для оцінки

позицій українських вузів як на міжнародній арені, так і в країні.

Відкритий доступ реалізується за допомогою впровадження інституційного репозитарію, який є інструментарієм для поширення, створених інтелектуальних продуктів і обміну результатами проведених досліджень зі світовим співтовариством.

Одним із стратегічних завдань ЧДТУ є підвищення позицій університету в міжнародних рейтингах (QS, Webometrics та ін.) шляхом інтеграції наукових і освітніх ресурсів в міжнародний науково-інформаційний комунікативний простір і поліпшення якості інформаційної присутності в Інтернет-просторі.

На сьогодні найбільш значимим критеріями оцінки світового рейтингу університетів стали посилання на сайт університету, а також кількість розміщених матеріалів на сайті університету і цитованість наукових праць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні не можна уявити сучасну бібліотеку, яка не використала б у своїй роботі нові проекти та інформаційні технології. Найяскравішим прикладом діяльності бібліотек вищих навчальних закладів в цьому напрямку є впровадження відкритого доступу шляхом формування профільних цифрових колекцій (баз даних, медіатек, електронних бібліотек тощо), які мають яскраво виражену освітню спрямованість і є базою для інституційних репозитаріїв.

В Україні концептуально займаються питаннями відкритого доступу до наукових знань: директор Наукової бібліотеки Національного університету «Києво-Могилянська академія» Т. Ярошенко, заступник директора НБ НаУКМА О. Бруй, менеджер програми «Відкритий доступ, eIFL.net» І. Кучма, професор Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна В. Московкін, який зараз є професор кафедри світової економіки Білгородського державного університету та ініціатором «Білгородської декларації відкритого доступу», прийнятої в січні 2008 року [2].

На цьому етапі створення інституційних репозитарій відкритого доступу стає пріоритетною для включення вузу і його бібліотеки в наукові комунікації. Інституційний репозитарій – це, в першу чергу, цифрова колекція наукових праць, яку поповнюють самі вчені або наукові співробітники вузів. З технічного боку – це база даних на сервері вузу для збору, збереження і швидкого надання інформації. Мета таких архівів – забезпечення вільного доступу всім бажаючим до інтелектуальної продукції університетів.

Інституційні репозитарії вузів виконують функції:

- наукову, спрямовану на сприяння науково-дослідному процесу;
- освітню, що забезпечує навчальний процес;
- довідково-інформаційну для задоволення запитів з профільних і загальнодисциплінарних галузей знань, а також поповнення електронного фонду бібліотеки оригінальними матеріалами.

Крім того, «використання репозитаріїв може вирішувати й інші завдання: підтвердження рейтингу університету в певній галузі наукового дослідження; збільшення значущості наукових університетів і бібліотек; демонстрація виправданості наукових, соціальних і економічних витрат на дослідницькі роботи, що в свою чергу збільшує суспільну значимість організації» [3].

Сьогодні вищі навчальні заклади велику увагу приділяють питанням участі в світових рейтингах університетів. Рейтинг університетів Webometrics (створений в 2004 р) вважається одним з найавторитетніших в світі. Він розраховується дослідницькою групою Cybermetrics, що входить до складу Національної дослідницької ради (National Research Council, CSIC) Іспанії [5]. Рейтинг базується на аналізі представлення університету в Інтернет – просторі. Цей спосіб дозволяє оцінити освітні та науково-дослідні досягнення університетів через порівняння їх сайтів. Основне завдання Webometrics – мотивувати навчальні заклади публікувати якісні високоцитовані роботи, створювати інституційний репозитарій відкритого доступу і розміщувати там статті, книги, навчальні та навчально-методичні матеріали, матеріали конференцій, звіти, дисертації та інші види документів.

Дана стаття розглядає шляхи збільшення якісних показників рейтингу університету, вирішенню технічних аспектів реалізації відкритого інституційного репозитарію та розгортанню хмарних сервісів.

Основний матеріал. Аналіз проблемної області та постановка задач дослідження. Критерії оцінки університетів в Webometrics та шляхи його оптимізації. Рейтингові системи націлені на оцінку рівня розвитку інформатизації освіти, експортного потенціалу вузу, відображають наукову активність викладацького складу. Критерії оцінки університетів в рейтингу Webometrics представлені в табл. 1.

Суттєвими критеріями оцінки університетів стали посилання на сайт університету, а також кількість розміщених матеріалів на сайті університету і цитованість наукових праць [4].

Таблиця 1

Критерії оцінки університетів в Webometrics

Критерії	Вага	Джерело
Вплив	50%	Кількість унікальних зовнішніх посилань на сайт
Присутність	17%	Кількість сторінок на сайті університету, проіндексованих пошуковою системою Google
Відкритість	17%	Число файлів в форматі pdf, doc, docx, ppt на сайті університету по даним пошукової системи Google
Перевага	16%	Частка статей, що потрапили в 10% найбільш цитованих у світі за останні п'ять років

Критерій **Вплив** (Impact). Цінність інформації та корисність сервісних функцій,

представлених на веб-сторінках. Дані цитованості на підставі зовнішніх посилань виходять з двох найбільш значущих джерел такої інформації: Majestic SEO та Ahrefs. Цей показник розраховується як квадратний корінь з добутку кількості зворотних посилань на кількість доменів, з яких такі посилання ведуть. Таким чином, важлива не стільки популярність конкретної посилання, скільки різноманітність посилань. Максимальне значення нормалізованих результатів і є показником впливу. Для боротьби з нечесним розміщенням зворотних посилань в Інтернеті з розрахунків віднімаються посилання в домені, які входять в ТОП-10, і, відповідно, посилання з них.

З метою підвищення показника впливу необхідно збільшити кількість «природних» зворотних посилань на домен університету. Для цього необхідно створити:

- Інституційний репозитарій університету відкритого доступу (обов'язково в домені університету chdtu.edu.ua), який забезпечує при роботі з архівом самоархівацію (депонування цифрового документа на загальнодоступному веб-сайті) і відкритість (організація доступу в мережі Інтернет). В архіві розміщуються статті, матеріали конференцій, книги, навчальні та навчально-методичні матеріали, дисертації, звіти та інші матеріали. Автори статей будуть посилатися на матеріали, розміщені в репозитарії, вказуючи посилання, яке буде вести на домен університету. Студенти, в свою чергу, активно діляться посиланнями на навчальні матеріали, розміщені в репозитарії, в соціальних мережах.

- Інформаційно-освітнє середовище університету на базі електронного кампусу з використанням технологій систем WI-FI, та «Персональний віртуальний комп'ютер» з впровадженням сервісів хмарних технологій в навчальний процес.

- Блоги, груп в соціальних мережах, в яких публікуються новини університету, бібліотеки, віртуальні виставки, анонси та звіти про заходи, які повинні посилатися на домен університету. Новини сайту бібліотеки, які передруковують інформагентства або інші організації, повинні обов'язково включати гіперпосилання на сайт бібліотеки.

- Сторінки в Wikipedia про університет а також персональних сторінок видатних вчених університету з посиланнями на опубліковані роботи, які повинні зберігатися в репозитарії університету.

Критерій Присутність (Presence). Враховує загальну кількість веб-сторінок, розміщених на головному домені (включаючи піддомени і каталоги) університету, проіндексованих найбільшою пошуковою системою Google (враховується кожна веб-сторінка, включаючи всі формати, які розпізнаються Google, статичні і динамічні сторінки, а також інші повнотекстові файли).

Створення інституційного репозиторію значно збільшує кількість сторінок, що знаходяться на домені університету. Крім цього, бібліотека має величезні масиви записів в електронних каталогах, які також можуть бути проіндексовані в Google на домені ЧДТУ chdtu.edu.ua.

Критерій Відкритість (Openness). Даний показник оцінює зусилля університету в формуванні власних архівів, беручи до уваги число повнотекстових файлів у форматах pdf, doc, docx, ppt. Мета цього показника – врахувати новітні публікації, до яких належать документи, опубліковані за певний період.

Критерій Перевага (Excellence). Наукові статті, опубліковані в престижних міжнародних журналах, грають важливу роль в рейтингу університетів. Цей показник може бути недостовірним при розгляді загальної кількості наукових публікацій, тому тут враховуються тільки найвидатніші роботи, тобто наукові публікації університету, що входять до 10% найбільш цитованих робіт відповідного наукового напрямку.

Цей показник – найслабше місце для українських університетів з усіх, які враховуються в ранжируванні Webometrics. Дані для обліку опублікованих статей формуються на основі найбільшої реферативної бази даних, індексу цитування Scopus. Ресурс створюється всесвітньо відомим видавництвом Elsevier і індексує більше 20 тис. видань з усіх наук більш ніж від п'яти тисяч видавців [5]. Рейтинг університетів світу QS World University Rankings®, який публікує британська компанія Quacquarelli Symonds, враховує також дані про публікації та цитування по Scopus.

Необхідно налагодити зв'язки з провідними зарубіжними видавництвами, такими як Elsevier, Springer, IOP, SAGE, Emerald, OxfordUniversity Press, Wiley і іншими. Доцільно підписати дослідників на повідомлення про нові статті з бази даних EBSCO, відповідних ключовими словами, зазначеним при

анкетуванні. Чим більше вчені будуть читати закордонні наукові рецензовані журнали, тим більше будуть там публікуватися. Крім цього, дослідникам і педагогічним працівникам необхідно зареєструватися в мережевих наукових ідентифікаційних системах ResearcherID, ORCID, SCIENCE INDEX для коректного і повноцінного уявлення профілю дослідника в індексах цитування.

Ідентифікаційна система ORCID (Open Researcher and Contributor ID) - це реєстр унікальних ідентифікаторів вчених і спосіб зв'язку дослідницької діяльності з цими ідентифікаторами. ORCID унікальний завдяки своїй незалежності від наукових дисциплін і національних кордонів, а також взаємодії з іншими системами ідентифікації.

Основна мета створення ORCID - вирішити проблему ідентифікації вчених з однаковими іменами та прізвищами.

ORCID забезпечує отримання унікального ідентифікатора і ведення відповідної облікового запису про дослідницьку діяльність

Обліковий запис ORCID включає в себе інформацію про ім'я вченого, його електронну адресу, назву організації та його дослідницької діяльності. ORCID враховує необхідність контролю над поширенням цих даних і надає відповідні інструменти для управління рівнем приватності даних.

Сьогодні понад 2 млн. науковців створили такі ідентифікатори, ORCID інтегрується з базами даних, видавничих платформ, все частіше використовують як електронне CV для гранто- та роботодавців.

Для підвищення цитованості необхідно публікувати роботи в журналах з високими бібліометричними показниками (імпакт-фактор, SJR, SNIP), що знаходяться на високих позиціях в SCImago Journal Rankings [6] і Journal Citation Report, шукати співавторів серед зарубіжних колег, а також публікувати свої роботи в репозитаріях відкритого доступу.

Технічні аспекти реалізації відкритого електронного інституційного репозитарію ЧДТУ

Програмно-технічний комплекс електронного інституційного репозитарію створюється в науково-технічній бібліотеці в рамках розвитку діючої електронно-бібліотечної системи (ЕБС) ЧДТУ. Інституційний репозитарій – це електронний архів для тривалого зберігання, накопичення та забезпечення довготрива-

лого та надійного відкритого доступу до результатів наукових досліджень, що проводяться в університеті. Інституційний репозитарій ЧДТУ базується на програмному комплексі ЕБС ЧДТУ та системі зберігання даних.

Програмний комплекс ЕБС ЧДТУ ґрунтується на базі системи керування контентом (Content Management System, CMS) Drupal версії 7.16 — системи з відкритим кодом. Системна підтримка – Unix (включаючи Linux). Для організації веб-сервера використовується програмний комплекс Apache 2.2.15. Як система управління базами даних (СУБД) – MySQL 5.5.17. Програмування модулів інтерфейсу між СУБД і Веб-сервером ведеться на мові PHP 5.3.2. Реалізується підтримка протоколу обміну метаданими OAI-PMH. Всі програмні засоби, які використовуються для розробки системи, відносяться до класу вільно розповсюджуваних – FreeWare [7].

В ЕБС ЧДТУ створена система моніторингу та обліку інформаційних ресурсів, диспетчерська служба та система архівного зберігання ресурсів. Для опису мережевих ресурсів застосовується загальноприйнятий стандарт (формат) метаданих – Dublin Core Metadata Initiative (DCMI).

ЕБС забезпечує можливість:

- створення та підтримки повнотекстової бази даних та електронних каталогів;
- повнотекстового пошуку по базі даних;
- необмеженого доступу до вмісту ЕБС з мережі Інтернет;
- доступу до зарубіжних та вітчизняних періодичних наукових видань;
- формування статистичного звіту по користувачах.

Більш детально функціональні можливості ЕБС ЧДТУ розглянуті в [7].

Загальний опис ЕБС ЧДТУ міститься на головній сторінці (рис. 1).

Робота з текстом. В системі передбачена можливість роботи з текстом на рівні браузера в режимі “GoogleДиск”, доступ до сервісу “Документи Google”:

- конспектування: створення необмеженої кількості власних конспектів, що містять як цитати з книг, так і власні записи;
- цитування: копіювання цитати з книги в конспект з автоматичним створенням точного бібліографічного посилання на видання та сторінку;

- закладки: створення міток, що дозволяють швидко знаходити потрібну сторінку книги;
- коментарі: власне текст власника конспекту;

- можливість складання добірки книг: особиста книжкова полиця для постійно використовуваних в роботі книг;
- зберігання файлів в Інтернеті;
- спільна робота з документами.

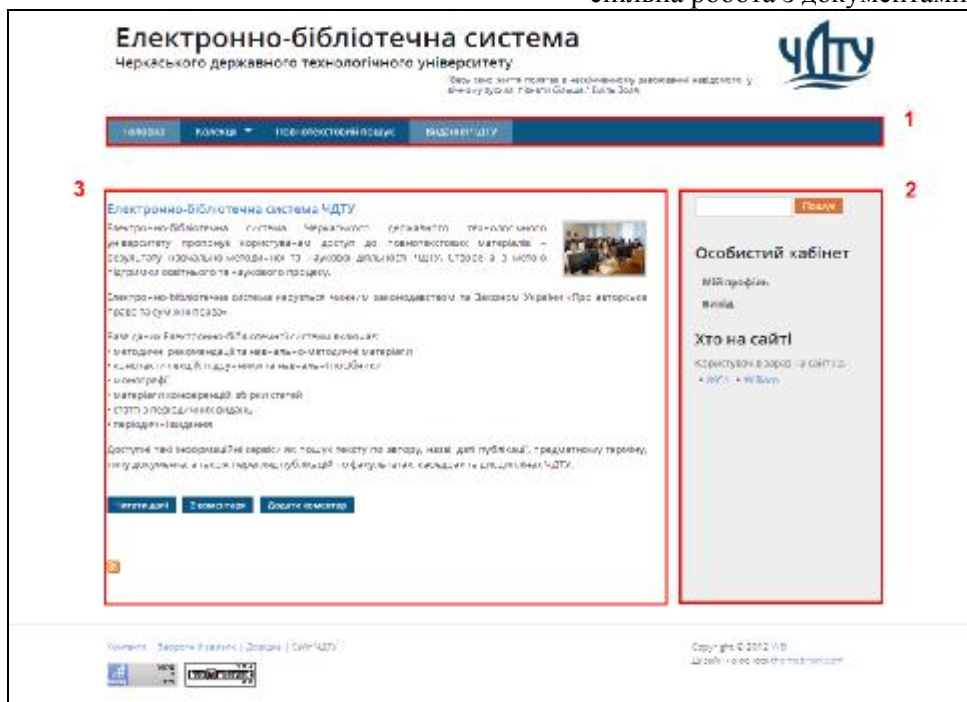


Рис. 1. Загальний вигляд головної сторінки сайту ЕБС ЧДТУ

Колекції електронних документів. Контент ЕБС ЧДТУ представлений повнотекстовими електронно-освітніми ресурсами (ЕОР) усіх видів навчальних та наукових матеріалів, які групуються в колекції: навчально-методичне забезпечення навчальних дисциплін (навчально-методичні, методичні, навчальні, допоміжні, контролюючі), періодика, монографії, автореферати дисертації, періодичні видання з переліку рецензованих наукових видань, у яких опубліковані основні наукові результати, затверджених МОН України, матеріали наукових конференцій тощо. Доступ до повнотекстових ресурсів в ЕБС надається тільки авторизованим користувачам в залежності від статусу (адміністратор системи, адміністратор бібліотеки, бібліотекар, інформатор кафедри, користувач та гість).

Інституційний репозитарій ЧДТУ (<http://elib.chdtu.edu.ua/>) дозволить використовувати ORCID для введення імен автора у поля метаданих. Це дозволяє об'єднати статті автора різними мовами, убезпечує від різних варіантів транслітерації, знижує вірогідність помилок та неточностей.

Система зберігання даних (СЗД) забезпечує цілісність і швидкий доступ до великого обсягу інформації, мінімізує ризик втрат та є масштабованою, щоб забезпечити відмовостійкість при збільшенні обсягу оброблюваних даних. СЗД – це багатокomпонентний елемент IT-інфраструктури, що складається з наступних підсистем:

1. Пристрої зберігання даних. Як такі виступають жорсткі диски, магнітні стрічки, оптичні та магнітооптичні диски різних типів і марок. При побудові дискових масивів широко використовуються такі технології, як віртуалізація, розмежування доступу до тих чи інших областей дискового простору, реплікація даних і т.д.

2. Мережі зберігання даних (SAN). Цей елемент СГД забезпечує оперативний і безперебійний доступ серверів до пристроїв зберігання даних. Завдяки SAN вдається створювати гнучкі і масштабовані СЗД. При цьому швидкість обміну даними всередині мережі SAN залишається незмінно високою.

3. Система резервного копіювання, архівування та відновлення даних. Архівування даних дозволяє збільшити ємність СЗД

за рахунок стиснення інформації. Резервне копіювання – це необхідний елемент системи забезпечення безперервності бізнесу. Він являє собою процес створення резервних копій стратегічно важливої корпоративної інформації на випадок її втрати або руйнування внаслідок технічних збоїв, помилок ПО або користувачів.

4. Моніторинг та управління СЗД. Якість, швидкість і безпека обміну і зберігання даних мають постійно перебувати під жорстким контролем. Програмне забезпечення з зручним інтерфейсом, здійснює ефективний моніторинг дискового простору, балансування навантаження на ті чи інші ділянки SAN, перерозподіл апаратних ресурсів і т.д. апаратними засобами.

Створення хмарних сервісів ІТ-інфраструктури ЧДТУ згідно загальнодоступної моделі компанії GoogleInc. Розгортання і надання хмарних платформ визначаються у процесі проектування ІТ-інфраструктури ВНЗ. Основою хмарних технологій є веб-технологія, тобто сервери і клієнти, які взаємодіють за протоколом обміну гіпертексту. Проте, на відміну від традиційного розуміння всесвітньої павутини, як сукупності веб-сторінок, хмарні технології, на відміну від традиційного розуміння мережі Інтернет як сукупності веб-сторінок, передбачають використання програмного забезпечення як сервісу (SaaS – Software as a Service). SaaS є моделлю надання програмного забезпечення, згідно якої клієнту необхідний лише веб-браузер.

Виділяють чотири моделі розгортання хмарних технологій:

- Корпоративна – хмари створюються і контролюються однією організацією.
- Загальнодоступна, яка передбачає спільне використання платформ кількома організаціями. Управлінням такої хмари виконує зовнішній провайдер, наприклад, Salesforce, Amazon EC2, GoogleApps.
- Групова – організації спільно використовують хмарні сервіси провайдера.
- Гібридна – передбачає поєднання кількох моделей.

Оптимальним підходом проектування ІТ-інфраструктури є перехід від виключно корпоративної до гібридної сервісної моделі управління ІТ-інфраструктури. У цьому випадку доцільним є розгортання хмарних сервісів згідно гібридної моделі, яка передбачає поєд-

нання загальнодоступної і корпоративної моделей. Проектування і розгортання корпоративної хмари доцільно вести на потужностях освітнього закладу. Надання хмарних платформ користувачам є можливим вести згідно кожної з моделей SaaS, PaaS, IaaS, DaaS.

Більш повна інформація про побудову інформаційно-освітнього середовища технічного університету та інструментальні засоби і технології реалізації наведена в [8].

Висновки. У методиці розрахунку рейтингів істотне місце займають такі критерії, як посилання на сайт вузу, кількість розміщених на ньому матеріалів і цитованість наукових праць працівників університету.

Просування університету в міжнародних рейтингах вимагає проведення цілого ряду заходів, в т.ч. пов'язаних з процесом інтеграції наукових і освітніх ресурсів в міжнародне науково-інформаційне комунікативне простір. Як показує зарубіжний і вітчизняний досвід хороших результатів в інтеграції наукових і освітніх ресурсів в міжнародне науково-інформаційний простір необхідно розвивати такі напрямки діяльності:

- інформаційна підтримка освітнього процесу і наукових досліджень за допомогою організації і супроводу доступу до всіх видів ресурсів;
- створення на базі ЕБС ЧДТУ, що використовує ORCID для введення імен автора у поля метаданих, інституційного репозитарію відкритого доступу, який сприяє включення вузу і його бібліотеки в пошукові комунікації;
- підключення університету до міжнародних реєстрах відкритого доступу;
- підготовка наукових журналів університету за міжнародними стандартами;
- розміщення наукових журналів університету на платформі chdtu.edu.ua;
- організація системи сайтів наукових журналів університету;
- індексування масивів записів в електронних каталогах в Google;
- проведення моніторингу результативності наукової діяльності окремих учених і університету в цілому;
- організація навчальних заходів для наукових і науково-педагогічних кадрів.

Все це, безсумнівно, призведе до підняття конкурентоспроможності результатів навчального процесу та науки, що завжди було і залишається найважливішим завданням університету.

Список літератури

1. Aguillo I. F. etc. Comparing university rankings. *Scientometrics*. 2010. Vol. 85.1. P. 243–256. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-010-0190-z>. Date of access: 04.10.2013.
2. Белгородская декларация об открытом доступе к научным знаниям и культурному наследию: принята 23 апр. 2008 г. URL: <http://unid.bsu.ru/unid/links/declaration/index.php>
3. Земсков А. И., Шрайберг Я. Л. Конкретные модели и проекты открытого доступа. *Научные и технические библиотеки*. 2008. № 7. С. 34–44.
4. Methodology. Ranking Web of Universities. URL: <http://www.webometrics.info/en/Methodology>. Date of access: 04.10.2013.
5. Дубинский А. Г. Международный рейтинг вузов Webometrics: как увеличить значение фактора превосходства. *Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць*. 2012. Вип. 22.15. С. 377–384.
6. SJR: SCImago Journal Rankings. URL: <http://www.scimagojr.com/journalrank.php>. Date of access: 04.10.2013.
7. Саух В. М., Лада В. В., Просяник О. В., Крайнова Я. В. Проект «Електронно-бібліотечна система ВНЗ на основі засобів CMS DRUPAL». *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 3. С. 26–32.
8. Саух В. М., Оксамитна Л. П., Андрієнко В. О. Інформаційно-освітнє середовище технічного університету та інструментальні засоби і технології реалізації. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 2. С. 92–99.

References

1. Aguillo, I. F., etc. (2010) Comparing university rankings. *Scientometrics*. Vol. 85.1, pp. 243–256. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-010-0190-z>. Date of access: 04.10.2013.
2. Belgorod declaration on open access to scientific knowledge and cultural heritage: adopted on 23 April, 2008. URL: <http://unid.bsu.ru/unid/links/declaration/index.php>
3. Zemskov, A. I., Shrayberg, Ya. L. (2008) Specific models and open access projects. *Nauchnyye i tehnikeskiye biblioteki*, No. 7, pp. 34–44 [in Russian].
4. Methodology. Ranking Web of Universities. URL: <http://www.webometrics.info/en/Methodology>. Date of access: 10/04/2013.
5. Dubinsky, A. G. (2012) International rating of universities Webometrics: how to increase the value of superiority factor. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny: sci. works*, No. 22.15, pp. 377–384 [in Russian].
6. SJR: SCImago Journal Rankings. URL: <http://www.scimagojr.com/journalrank.php>. Date of access: 04.10.2013.
7. Saukh, V. M., Lada, V. V., Prosyanyk, O. V., Krainova, Ya. V. (2013) The project "Electronic University Library System based on CMS DRUPAL tools". *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seriya: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 26–32.
8. Saukh, V. M., Oksamitna, L. P., Andriienko, V. O. (2016) Information and educational environment of technical university and tool means and technologies of realization. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seriya: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 92–99.

V. M. Saukh, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: maxsoft@i.ua

Ya. V. Krainova, *director of scientific and technical library,*
e-mail: ntb@chdtu.edu.ua

V. A. Andriienko, *Ph.D., associate professor*
e-mail: andrienko22@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

INTEGRATION OF ELECTRONIC AND EDUCATIONAL CHSTU RESOURCES IN THE GLOBAL INFORMATION SPACE

In the article actual directions of university's work related to promotion of electronic and educational ChSTU resources in the global information space are formed. Criteria for university evaluation in Webometrics ranking and ways of their optimization are shown. Project solutions for creating an institutional repository on the basis of ChSTU electronic library system, which is built on CMS Drupal with open code and provides an integration with ORCID, are given.

Keywords: *information-educational environment, cloud services, institutional depository, open access, citation, Webometrics, ORCID.*

Рецензент Тимченко А. А., д.т.н., професор

К. А. Мирошніченко, *магістр,*

О. В. Батраченко, *к.т.н., доцент*

e-mail: batrachenko@rambler.ru

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

АДГЕЗИЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ОСНОВНИХ ВИДІВ М'ЯСНИХ ФАРШІВ, ЩО НАЙЧАСТІШЕ ПЕРЕРОБЛЯЮТЬСЯ В ЕМУЛЬСИТАТОРІ

Підвищений нагрів фаршу при подрібненні в емульситаторі призводить до погіршення якості та зменшення виходу готового продукту при виготовленні ковбасних виробів. Однією з причин такого нагріву є недостатньо висока швидкість подачі сировини з бункера до різального вузла, що обумовлено, в тому числі, високою адгезією м'ясного фаршу до стінок бункера. У відомих джерелах відсутні відомості з обґрунтованого вибору конструкційного матеріалу для виготовлення бункера з метою послаблення його адгезійної взаємодії з м'ясним фаршем. Досліджено адгезійні властивості м'ясних фаршів ковбаси "Лікарська" та сосисок "Свинячі". Встановлено, що найменші значення адгезії властиві міді МІТ, оцинкованій сталі 08кп та конструкційній сталі Ст3. Натомість корозійностійкій сталі AISI 304, фторопласту-4 та сталі 08кп з полімерним покриттям властиві найбільші значення адгезії.

Види та марки конструкційних матеріалів, які зазвичай рекомендуються для виготовлення конструкційних елементів емульситаторів (корозійностійка сталь AISI 304, фторопласт-4) не дозволяють поліпшити витратні характеристики їх бункерів і таким чином зменшити нагрів сировини при подрібненні. Доцільною є заміна таких конструкційних матеріалів.

Ключові слова: емульситатор, бункер, м'ясний фарш, адгезія.

Постановка проблеми. Проблема підвищеного нагріву фаршу при подрібненні в емульситаторі продовжує залишатись актуальною незважаючи на достатньо високий технічний рівень сучасних моделей даних машин. Надмірний нагрів фаршу призводить до денатурації білків та погіршення виходу і якості готового продукту. На думку авторів, основними причинами підвищеного нагріву сировини є висока частота обертання ножів [1], значна площа тертя ножів по решіткам різального вузла [2] та недостатньо висока швидкість подачі сировини з бункера до різального вузла [3]. В контексті даної роботи увагу авторів привернув саме останній чинник, як такий, що визначає підвищену емісію тепла від ножів і решіток різального вузла на одиницю об'єму сировини, яка проходить крізь різальний вузол за одиницю часу.

В роботі [3] автори встановили, якому типу бункерів властиві найгірші витратні характеристики. Ним виявився бункер з горизонтальним патрубком (рис. 1), який використо-

вується на більшості моделей емульситаторів провідних світових виробників ("Karl Schnell", "Laska", "INOTEC" тощо) [4-7]. В роботі [8] автори виявили причини, які обумовлюють недостатньо високі витратні характеристики. Однією з них є висока адгезія м'ясного фаршу до стінок бункера (фарш попередньо подрібнений на кутері). Спрощено схема руху м'ясного фаршу в бункері емульситатора показана на рис. 1 – з найбільшою швидкістю рухається шар фаршу 1, який розташований навколо осей симетрії елементів бункера. Характерним є наявність воронки 3 та пристінного шару 2, який внаслідок адгезії рухається вкрай повільно.

Незважаючи на довготривале використання емульситаторів у харчовій промисловості, у відомих джерелах відсутні відомості з обґрунтованого вибору конструкційного матеріалу для виготовлення бункера з метою послаблення його адгезійної взаємодії з м'ясним фаршем. Актуальним є вирішення даної задачі.

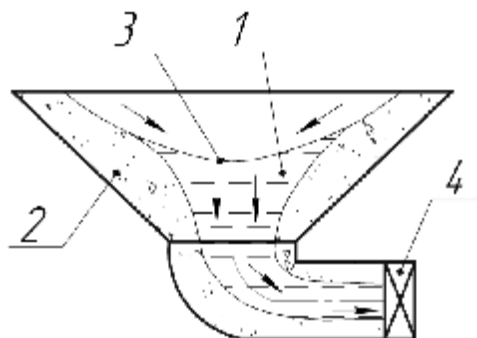


Рис. 1. Схема руху м'ясної сировини в бункері емульситатора:

1 – шар сировини, який рухається з найбільшою швидкістю; 2 – шар сировини, який гальмується внаслідок адгезії до стінок бункера; 3 – воронка; 4 – різальний вузол емульситатора

Аналіз останніх джерел. В роботах [8-11] наведено дані про фізико-механічні властивості м'ясних фаршів. Однак наведені результати стосуються фаршів тих видів ковбасних виробів, які в сучасних умовах нашої країни не є основними видами ковбасної продукції, що користується попитом у споживачів, зокрема відсутні дані для безструктурних фаршів ковбаси "Лікарська" та сосисок "Свинячі". До того ж в наведених даних не вказано при якій температурі фаршу була виміряна адгезія, тоді як в емульситатор фарш найчастіше потрапляє після кутера, маючи температуру від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$. Наведені в джерелах дані стосуються лише кількох видів конструкційних матеріалів (сталь вуглецева та фторопласт), що не можна вважати достатнім для обґрунтованого вибору матеріалу бункера емульситаторів. Актуальним є вирішення означених задач.

Метою роботи є: дослідження адгезійних властивостей м'ясних фаршів ковбаси "Лікарська" та сосисок "Свинячі" для обґрунтованого вибору виду і марки конструкційного матеріалу бункерів емульситаторів.

Виклад основного матеріалу. Адгезія (липкість) фаршів ковбаси "Лікарська" та сосисок "Свинячі" вимірювалась методом нормального відриву. Застосовувався пристрій для вимірювання адгезії, побудований на базі важільних вагів (рис. 2). На праву сторону рівноплечого коромисла було підвішена серезка зі шалькою на іншу сторону серезка з досліджуваною пластинкою, яка вступала в попередній контакт з сировиною (товщина слою фаршу складала $1 \cdot 10^{-3}$ м, температура $t = 7-8^{\circ}\text{C}$) під дією тиску 2000 Па протягом 60 с. Потім шальку навантажували сипучим матеріалом і фіксували вагу в момент відриву пла-

стинки. Вага контрольного вантажу вимірювалась електронними вагами Zelmer з ціною поділки 1 г.

Використовувалось сім пластинок з площею поверхні $0,01 \text{ м}^2$ кожна, виготовлених з різних матеріалів, а саме: сталі Ст3; корозійностійкої сталі марки AISI 304; оцинкованої сталі 08кп; оцинкованої сталі 08кп з полімерним покриттям; алюмінієвого сплаву марки АМГ3; міді марки М1Т та фторопласту-4.

Фарш був попередньо подрібнений на кутері, час кутерування оптимальний. Адгезія визначалась, як питома сила нормального відриву від продукту за виразом:

$$p_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{9,81m}{S_0}, \text{ Па} \quad (1)$$

де P_0 – зусилля нормального відриву, Н;

S_0 – площа перерізу досліджуваної пластинки, м^2 ;

m – маса вантажу, кг.

Отримані значення адгезії наведені в табл. 1 та на рис. 4. Встановлено, що найменші значення адгезії властиві міді М1Т, оцинкованій сталі 08кп та конструкційній сталі Ст3. Натомість корозійностійкій сталі AISI 304, фторопласту-4 та сталі з полімерним покриттям властиві найбільші значення адгезії.

Дані результати свідчать про те, що ті види та марки конструкційних матеріалів, які зазвичай рекомендуються для виготовлення конструкційних елементів емульситаторів (корозійностійка сталь AISI 304, фторопласт-4) не дозволяють поліпшити витратні характеристики їх бункерів і таким чином зменшити нагрів сировини при подрібненні. Доцільною є заміна таких конструкційних матеріалів на мідь М1Т або оцинковану сталь 08кп.

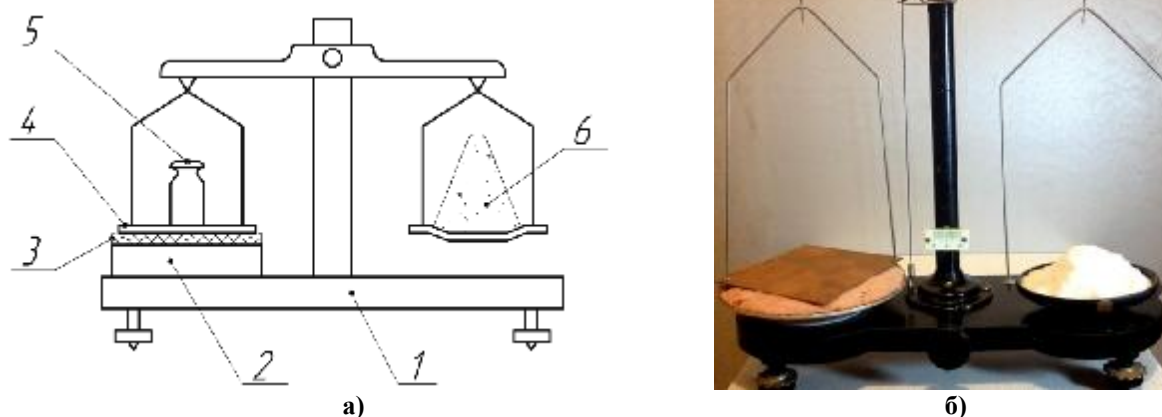


Рис. 2. Пристрій для вимірювання адгезії: а) схема пристрою; б) загальний вигляд пристрою;
1 – ваги; 2 – ємкість із сировиною; 3 – шар сировини; 4 – пластина з досліджуваного матеріалу;
5 – вантаж, який створює тиск на пластину; 6 – контрольний вантаж

На рис. 3 показано загальний вигляд пластинок з досліджуваних конструкційних матеріалів.

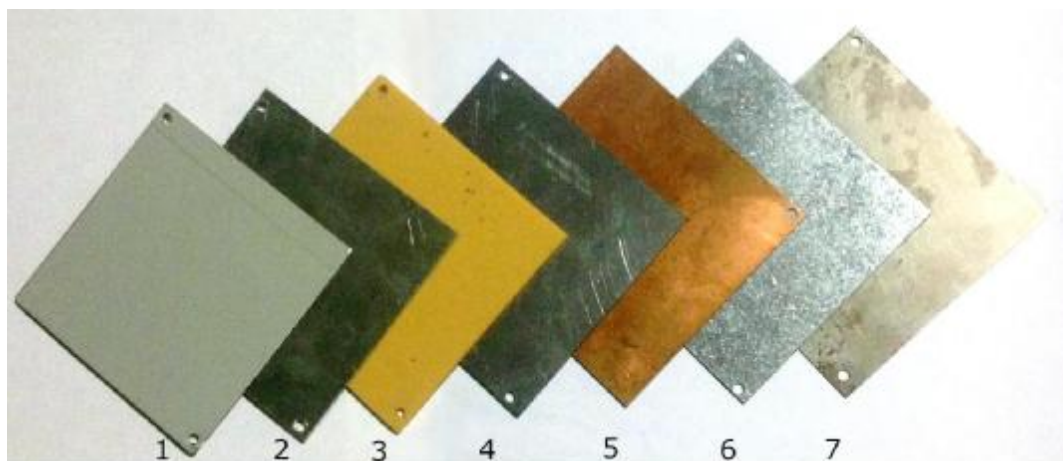


Рис. 3. Досліджувані пластини з конструкційних матеріалів:
1 – сталь оцинкована 08кп з полімерним покриттям; 2 – корозійностійка сталь AISI 304; 3 – фторопласт-4;
4 – алюмінієвий сплав АМГ3; 5 – мідь М1Т; 6 – оцинкована сталь 08кп; 7 – сталь Ст3

Актуальним залишається подальше дослідження адгезійної взаємодії м'ясних фаршів та конструкційних матеріалів або їх покриттів з метою забезпечення найліпшого по-

єднання наступних характеристик конструкційних матеріалів: висока корозійна стійкість, низька адгезія та високі механічні властивості проти сколювання та деформації.

Таблиця 1

Адгезійні властивості м'ясних фаршів по відношенню до різних матеріалів

Марка матеріалу	Значення адгезії, Па	
	фарш ковбаси "Лікарська"	фарш сосисок "Свинячі"
Сталь Ст3	146	174,5
Корозійностійка сталь AISI 304	262,6	312,12
Оцинкована сталь 08кп	143	174,2
Оцинкована сталь 08кп з полімерним покриттям	288,1	350,6
Алюмінієвий сплав АМГ3	205,8	244,2
Мідь марки М1Т	126	158,4
Фторопласт-4	345	406,4

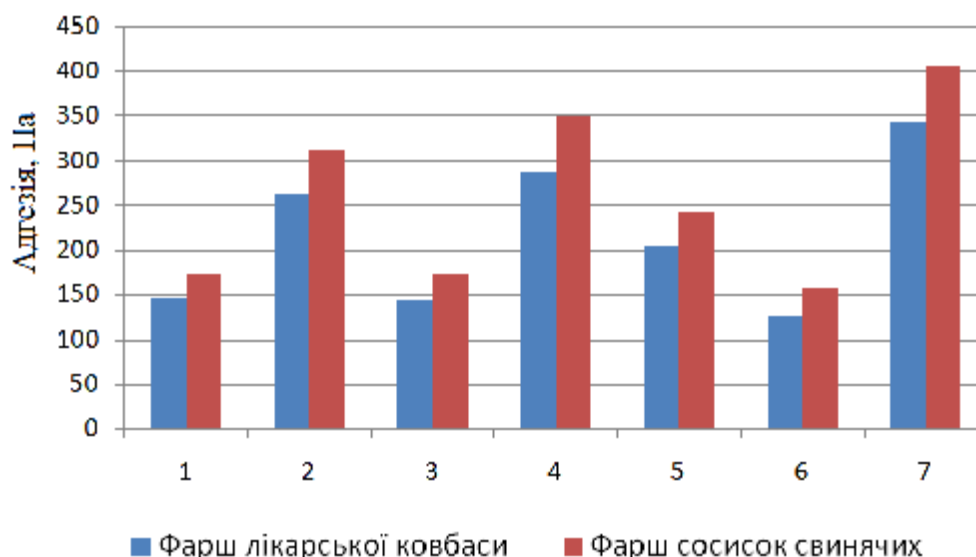


Рис. 4. Значення адгезії для конструкційних матеріалів:

1 – сталь Ст3; 2 – корозійностійка сталь AISI 304; 3 – оцинкована сталь 08кп;
4 – оцинкована сталь 08кп з полімерним покриттям; 5 – алюмінієвий сплав АМГ3; 6 – мідь М1Т;
7 – фторопласт-4.

Висновки. Досліджено адгезійні властивості м'ясних фаршів ковбаси "Лікарська" та сосисок "Свинячі". Найменші значення адгезії властиві міді М1Т (126 Па для ковбаси "Лікарська" та 154,8 Па для сосисок "Свинячі"), оцинкованій сталі 08кп (143 Па для ковбаси "Лікарська" та 174,2 Па для сосисок "Свинячі") та конструкційній сталі Ст3 (146 Па для ковбаси "Лікарська" та 174,5 Па для сосисок "Свинячі"). Натомість корозійностійкій сталі AISI 304 (262,6 Па для ковбаси "Лікарська" та 312,12 Па для сосисок "Свинячі"), фторопласту-4 (345 Па для ковбаси "Лікарська" та 406,4 Па для сосисок "Свинячі") та сталі 08кп з полімерним покриттям (288,1 Па для ковбаси "Лікарська" та 350,6 Па для сосисок "Свинячі") властиві найбільші значення адгезії.

Види та марки конструкційних матеріалів, які зазвичай рекомендуються для виготовлення конструкційних елементів емульсаторів (корозійностійка сталь AISI 304, фторопласт-4) не дозволяють поліпшити витратні характеристики їх бункерів і таким чином зменшити нагрів сировини при подрібненні. Доцільною є заміна таких конструкційних матеріалів.

Список літератури

1. Вербицький Сергій Борисович. Вдосконалення процесу тонкого подрібнення

м'ясної сировини та розроблення емульсаторів роторного типу: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Київ, 2014. 284 с.

- Некоз О. І., Батраченко О. В., Мирошніченко К. А. Обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в емульсаторі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 2. С. 91–98.
- Мирошніченко К. А., Батраченко О. В. Витратні характеристики бункерів емульсаторів. *Вісник Хмельницького національного університету*. Хмельницький: ХНУ, 2016. № 5. С. 14–18.
- Промисловий каталог фірми Karl Schnell GmbH & CO. KG. Німеччина, 2017. URL: www.karlschnell.de
- Промисловий каталог фірми Maschinenfabrik Laska GmbH. Австрія, 2017. URL: www.laska.at
- Промисловий каталог фірми INOTEC GmbH. Німеччина, 2017. URL: <http://www.inotecgmbh.de>
- Mincing machine for mincing a product. Patent USA № 2016/0051990 A1, B02C18/304, 25.02.2016.
- Батраченко О. В. Литовченко І. М. Витратні характеристики бункерів емульсаторів. *Вісник Хмельницького національного університету*. Хмельницький: ХНУ, 2017. № 2. С. 14–18.

9. Косой В. Д., Малышев А. Д., Юдина С. Б. Инженерная реология в производстве колбас. Москва: КолосС, 2005. 264 с.
10. Schnäckel W., Krickmeier J., Deisenroth R. Qualität von Brühwurst verbessern. Die Fleischwirtschaft. 2003. 12. P. 81–84.
11. Bourne M. C. Food texture and viscosity. Concept and measurement. Second edition. London. San Diego: Academic Press. 2002. 446 p.

References

1. Verbycz'kyj, S. B. (2014) Vdoskonalennya procesu tonkogo podribnennya m'asnoyi syrovyny ta rozroblennya emul'syatoriv rotnogo typu: dys.... kand. texn. nauk: 05.18.12. Kyiv, 284 s. [in Ukrainian].
2. Nekoz, O. I., Batrachenko, O. V., Myroshnichenko, K. A. (2015) Obhruntuvannya shlyahiv zmeshennya nagrivu farshu pry joho podribnenni v emul'syatori *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, s. 91–98 [in Ukrainian].
3. Myroshnichenko, K. A., Batrachenko, O. V. (2016) Vytratni harakterystyky bunkeriv emul'syatoriv. *Visnyk Hmel'nycz'kogo nacional'nogo universytetu*. Hmel'nycz'kyj: HNU, No. 5, s. 14–18 [in Ukrainian].
4. Promyslovij katalog firmy Karl Schnell GmbH & CO. KG. (2017) Nimechchyna. URL: www.karlschnell.de
5. Promyslovij katalog firmy Maschinenfabrik Laska GmbH (2017) Avstriya. URL: www.laska.at
6. Promyslovij katalog firmy INOTEC GmbH (2017) Nimechchyna. URL: <http://www.inotecgmbh.de>
7. Mincing machine for mincing a product. Patent USA No. 2016/0051990 A1, B02C18/304, 25.02.2016.
8. Batrachenko, O. V., Lytovchenko, I. M. (2017) Vytratni harakterystyky bunkeriv emul'syatoriv *Visnyk Hmel'nycz'kogo nacional'nogo universytetu*. Hmel'nycz'kyj: HNU, No. 2, s. 14–18 [in Ukrainian].
9. Kosoj, V. D., Malyshev, A. D., Yudina, S. B. (2005) Inzhenernaya reologiya v proizvodstve kolbas. Moscow: KolosS, 264 s. [in Russian].
10. Schnäckel, W., Krickmeier, J., Deisenroth, R. (2003) Qualität von Brühwurst verbessern. *Die Fleischwirtschaft*, 12, pp. 81–84.
11. Bourne, M. C. (2002) Food texture and viscosity. Concept and measurement. Second edition. London. San Diego: Academic Press, 446 p.

K. A. Myroshnichenko, MA,
O. V. Batrachenko, Ph.D., associate professor
 e-mail: batrachenko@rambler.ru
 Cherkasy State Technological University
 Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ADHESIVE PROPERTIES OF THE MAIN KINDS OF MINCED MEAT, MOST FREQUENTLY PROCESSED IN EMULSIFIER

The problem of increased heating of the meat during grinding in emulsifier continues to be relevant, despite rather high technical level of modern models of these machines. One reason for this heating is not sufficiently high feed rate from the hopper to the cutting unit, which is due, in particular, to good adhesion of minced meat to the walls of the bunker. Despite the long use of emulsifiers in food industry, in the sources there is no information on reasonable choice of structural material for the manufacture of the bunker with the aim of weakening the adhesion interaction with the minced meat.

Adhesive properties of "Doktorskaya" and "Svynyachi" sausages are investigated. The lowest values of adhesion typical of copper MIT (126 PA for "Doktorskaya" sausage and 154,8 PA for "Svynyachi" sausage), galvanized steel 08KP (143 PA for "Doktorskaya" sausage and 174,2 PA for "Svynyachi" sausage) and structural steel St3 (146 PA for "Doktorskaya" sausage and 174,5 PA for

"Svynyachi" sausage) are established. But kerosene type steel AISI 304 (262,6 PA for "Doktorskaya" sausage and 312,12 PA for "Svynyachi" sausage), fluoroplastic-4 (345 PA for "Doktorskaya" sausage and 406,4 PA for "Svynyachi" sausage) and steel 08KP with polymeric coating (288,1 PA for "Doktorskaya" sausage and 350,6 PA for "Svynyachi" sausage) correspond to the highest value of adhesion.

Types and brands of construction materials, which are usually recommended for production of structural elements emulsifiers (corrosion resistant steel AISI 304, Teflon-4) do not improve the flow characteristics of their bins and thus reduce heating of raw material while grinding. It is appropriate to replace such structural materials.

Keywords: emulsifier, bunker, minced meat, adhesion.

Рецензенти: Штефан Є. В., д.т.н., професор,
Вітенько Т. М., д.т.н., професор

Г. В. Канашевич¹, д.т.н., професор,
М. В. Голуб¹, асистент,
С. М. Мацепа¹, аспірант,
В. С. Антонюк², д.т.н., професор

¹Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна, тел. (0472) 730261

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ МІКРОДЕФЕКТІВ І ДЕФЕКТНОГО ШАРУ В ПОВЕРХНІ ПЛАСТИН З ОПТИЧНОГО СКЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО МЕТОДУ ОБРОБКИ

Методика дозволяє виявити мікроефекти та дефектний шар на пластинах з оптичного скла К8, СТК3, БК10, ТК21, що отримані в умовах оптичного виробництва, і у подальшому поверхні яких має використовуватися для виготовлення одиночних мікролінз, мікролінзових растрів, елементів інтегральної оптики, одиночних та системи мікродзеркал з використанням технології мікроелектроніки.

За розробленою методикою мікроефекти та дефектний шар в поверхні пластини виявляються шляхом дії на неї електронного потоку, подальшого травлення у суміші HF + гліцерин та застосування оптичної, електронної і атомно-силової мікроскопії.

Дія електронного потоку забезпечує дисоціацію продуктів полірування, які заповнюють дефектний шар пластини, і підвищує їх розчинність у сумішах HF та гліцерину.

Ключові слова: оптичне скло, пластини з оптичного скла, мікролінзові растри, елементи інтегральної оптики, мікроефекти, дефектний шар, електронно-променева обробка, електронна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія.

Актуальність. При виготовленні оптичних елементів мікрометричних розмірів (одиночних мікролінз, мікролінзових растрів, елементів інтегральної оптики, одиночних та системи мікродзеркал), інтегрованих на поверхні пластин з оптичних матеріалів, необхідним є отримання даних з наявності мікроефектів та дефектного шару (ДШ) в поверхні цих пластин після їх промислового шліфування і полірування [1–5].

Виявленню та дослідженню ДШ в оптичному склі після різних видів його шліфування та полірування присвячені роботи Добичина Д. П., Буркат Т. М., Пальтієля Л. Р. [6, 7]. Використовуючи явище сорбції води та криптону поверхнею скла, вони довели наявність у оптичному склі ДШ і тріщиноподібного шару (ТШ), який залягає нижче ДШ, та оцінили глибини їх залягання залежно від різних видів шліфування і полірування (механічного, хімічного, хіміко-механічного) у 1.5...2 мкм. В їх роботах також показано, що суміші HF+ гліцерин здатні розчиняти, як продукти полірування (залишки скла, залишки миючих та травильних речовин тощо), що заповнюють цей дефектний

шар, так і самі борозни, якими утворюється цей дефектний шар. В результаті такої обробки на поверхні будуть залишатися мікронерівності (ямки травлення) з лінійними розмірами у десятки та сотні нанометрів, а ТШ не буде знищений. Це накладає особливі обмеження на застосування до цих поверхонь технологій мікроелектроніки при виготовленні оптичних мікроелементів у груповому виконанні.

Нами розроблена технологія поверхневої електронно-променевої мікрообробки, яка, на наш погляд, забезпечує найкращий результат з отримання хімічно-однорідних та бездефектних поверхонь на оптичному склі. За цією технологією знищується і ДШ і ТШ, а величина залишкових мікронерівностей на поверхні становить 1,2 ... 5 нм [9].

Проте на теперішній час відсутність спеціальних методик не дозволяє виявити та візуалізувати борозни від абразиву, які утворюють ДШ під поверхнею пластини та мікроефекти з лінійними розмірами, меншими за 1 мкм. Це накладає технологічні обмеження щодо виготовлення на таких поверхнях одиночних мікролінз, мікролінзових растрів, еле-

ментів інтегральної оптики, та мікродзеркал з застосуванням технологій мікроелектроніки.

Мета роботи. Розробити методику виявлення мікроефектів і дефектного шару в поверхні оптичного скла шляхом використання електронно-променевого методу обробки.

Матеріали і інструмент обробки. Для дослідження впливу параметрів електронного променя на властивості поверхневих шарів з оптичного скла К8, ТК21, ТФ110, СТКЗ, БК10 використовували плоскопаралельні пластини у формі дисків (діаметр 20,0 мм, товщина 6 мм) з залишковою шорсткістю поверхні $R_z = 0,025$ мкм, які виготовлені в умовах оптичного виробництва.

Експериментальна частина. Для обробки пластин ми застосували гармату Пірса, яка формує електронну стрічку з питомою потужністю $10^1 \text{ Вт/см}^2 \leq P_{\text{пит}} \leq 10^5 \text{ Вт/см}^2$. Швидкість руху стрічки по поверхні пластини змінювалась в межах 0...50 см/с. Залишковий тиск у вакуумній камері становить 10^{-3} Па.

Перед електронно-променевою обробкою проводимо очищення пластин в УЗ-ванні з розчином, склад якого, г/л: ізопропіловий спирт – 225; амоній фтористий – 4; етиленгліколь – 7,5; оцтова кислота – 1,5; фарбник метиленовий голубий – 0,005; вода дистильована – 761,995 [8].

ДІШ та борозни від абразиву виявлялися після травлення поверхні у розчині HF + гліцерин та візуалізувалися з використанням оптичної мікроскопії (Nanolab, МІІІ-4, ММР-2Р), мікроефекти з лінійними розмірами більшими за 1 мкм на поверхні пластин до і після електронно-променевої обробки візуалізувалися за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії (ЕМ-200) з використанням реплік Pt-C. Для виявлення та візуалізації мікроефектів з лінійними розмірами меншими за 1 мкм використано атомно-силовий мікроскоп NT-206V.

Отримані результати та їх обговорення. За результатами досліджень поверхонь пластин зі скла К8, СТКЗ, БК10, ТК21 до електронно-променевої обробки виявлені характерні мікроефекти (подряпини з лінійними розмірами 2...10 мкм, точки 4...25 мкм та виколки з розмірами більшими за 50 мкм). Переважна кількість виколків знаходиться на краю пластин (рис. 1) і на наш погляд, обумовлена крихкістю матеріалу, технологічними параметрами шліфування і полірування. Середня частина пластин майже бездефектна, окрім декількох крапок (рис. 1б).

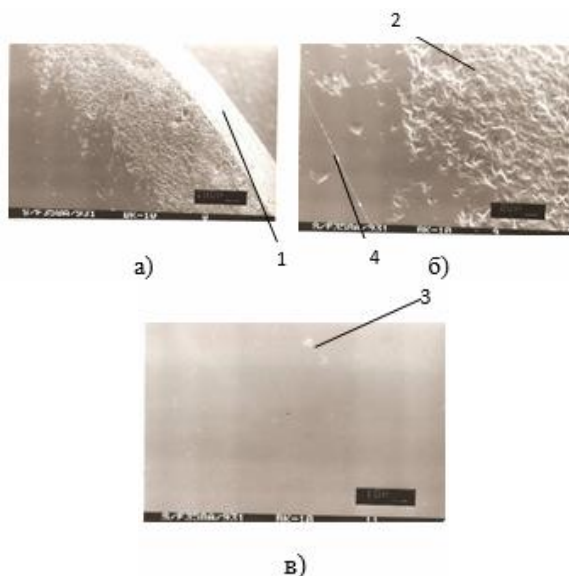


Рис. 1. Пластина зі скла БК10, яка виготовлена в умовах оптичного виробництва, Nanolab:

а) дефекти на краю пластини та торець пластини (1) x100; б) дефекти на краю пластини (2 – виколки; 4 – подряпина) x500; в) середня частина пластини (3 – крапка) x1000

Подряпини (рис. 2) переважно розташовані на ділянках між світловим діаметром пластин та їх краями і їх лінійні розміри знаходяться в межах від одиниць до десятків мікрометрів.



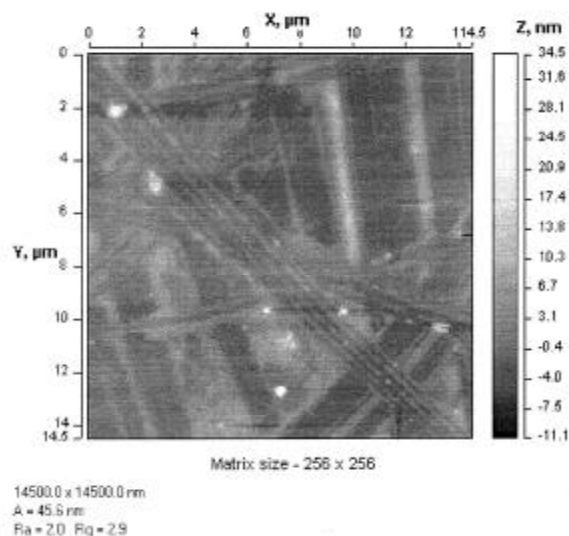
Рис. 2. Подряпина від абразиву на поверхні пластини з ТФ110 ММР-2Р, x200

Присутність цих мікроефектів після промислового шліфування та полірування можна пояснити наступним чином:

1) окреме зерно абразиву виконує функцію механічного різця та рухається за непередбаченою траєкторією;

2) зерна між собою взаємодіють, що призводить до різної глибини різку та можливого їх розколювання.

Для виявлення мікродефектів з лінійними розмірами меншими за 1 мкм ми застосували атомно-силову мікроскопію (АСМ). На рис. 3 представлені нанопрофілі поверхні на



склі К8, отримані АСМ після промислового полірування, Rz яких знаходиться в межах 25 ... 60 нм.

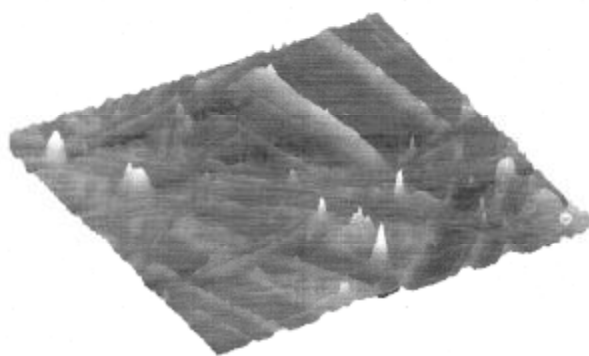


Рис. 3. АСМ-зображення поверхні скла К8 після хіміко-механічного полірування

Таким чином, дослідивши пластини зі скла К8, ТК21, ТФ110, СТК3, БК10, як виготовлялися в умовах оптичного виробництва, ми знаходимо підтвердження, що поверхні цих пластин успадковують мікродефекти з лінійними розмірами меншими за 1 мкм і дефектний шар, який знаходиться під поверхнею пластини.

Порівнявши з даними, отриманими нами в попередніх роботах [9], можна стверджувати, що електронний промінь, діючи на поверхню скла, може змінити якісний стан речовини, яка заповнює ДШ.

Модифікований ДШ має порушені хімічні зв'язки і є нестійким до розчину $\text{HF} + \text{гліцерин}$. В результаті опромінення електронами ці зв'язки ще більше руйнуються, що можна використати для очищення ДШ від залишків продуктів промислового шліфування і полірування.

Таким чином, в основу розробленої методики покладено наступну послідовність дій:

1) пластини з оптичного скла марок К8, ТК21, ТФ110, СТК3, БК10, потрібно попередньо розігріти до температури $400...520^\circ\text{C}$ у вакуумі із залишковим тиском $P = 10^{-3}$ Па.

2) поверхня пластин опромінюється електронним променем стрічкової форми з питомою потужністю $P_{\text{пл}} = 0,5 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^2 \text{ Вт/см}^2$ з переміщенням стрічки вздовж поверхні зі швидкістю $V = 0,1 \dots 50 \text{ см/с}$;

3) після опромінення проводимо травлення модифікованої поверхні на протязі 10 хвилин в розчині фтористоводневої кислоти та гліцерину у співвідношенні 1:9 на протязі часу до 10 хвилин.

4) дефектний шар, який очищений від продуктів полірування візуалізується, з використанням оптичної мікроскопії, мікродефекти з лінійними розмірами більше 1 мкм виявляються та візуалізуються за допомогою електронної мікроскопії, а мікродефекти менші за 1 мкм виявляються та візуалізуються за допомогою АСМ.

Отримані результати з виявлення дефектного шару поверхні оптичного скла К8 з використанням електронно-променевого методу обробки підтверджуються даними, наведеними в табл. 1. Загальний вигляд дефектного шару на оптичному склі К8, який виявлено за розробленою методикою, представлено на рис. 4.

Практична цінність розробленої методики полягає у виявленні та візуалізації борозен дефектного шару, які знаходяться під полірованою промисловим методом поверхнею оптичного скла.

Недоліком методики є те, що для виявлення дефектного шару використане травлення, що відноситься до руйнівних способів впливу на поверхню.

Таблиця 1

Дані з наявності дефектного шару на склі К8 після обробки різними способами

№ п/п	Спосіб обробки	Питома потужність потоку, Вт/см ²	Термін травлення, с	Наявність дефектного шару
1	Травильний розчин HF+гліцерин (1:9)	Відсутня	3	Не виявляється
2	Травильний розчин HF+гліцерин (1:9)	Відсутня	60	Не виявляється
3	Травильний розчин HF+гліцерин (1:9)	Відсутня	$3 \cdot 10^2$	Не виявляється
4	Травильний розчин HF+гліцерин (1:9)	Відсутня	$9 \cdot 10^2$	Не виявляється
5	Електронно-променева обробка	$1 \cdot 10^2$	Відсутнє	Не виявляється
6	Електронно-променева обробка	$0,5 \cdot 10^2$	Відсутнє	Не виявляється
7	Електронно-променева обробка	$5 \cdot 10^2$	Відсутнє	Не виявляється
8	Електронно-променева обробка з наступним травленням	$0,5 \cdot 10^2$	3	Слабо виявляється
9	Електронно-променева обробка з наступним травленням	$0,5 \cdot 10^2$	15	Слабо виявляється
10	Електронно-променева обробка з наступним травленням	$0,5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	Виявляється

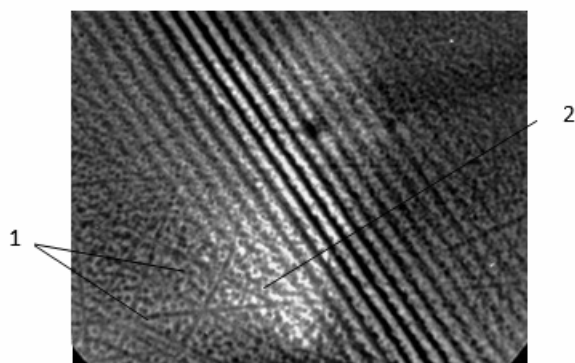


Рис. 4. Вигляд дефектного шару на поверхні оптичного скла К8, який виявлено після обробки поверхні електронним потоком та наступним травленням у розчині HF+гліцерин (1:9), МИИ-4, x500:

1 – борозни від абразиву;
2 – інтерференційні полоси, що підтверджують площинність пластини

Висновки. За результатами виконаної роботи:

1. Розроблено методику спеціальну методику, яка дозволяє виявити та візуалізувати борозни від абразиву, які утворюють ДШ під поверхнею пластин з оптичного скла внаслідок її механічного шліфування і полірування, та мікрodefekти поверхні з лінійними розмірами меншими за 1 мкм.
2. Розроблена методика дозволяє розширити існуючі технологічні можливості поверхневої електронно-променевої обробки оптичного скла і використати її для виявлення мікро дефектів і дефектного шару в оптичному склі після механічного шліфування і полірування його поверхні.

3. Розроблена методика може ефективно використовуватися в технології виготовлення на загальній основі (платі) мікролінзових растрів, елементів інтегральної оптики.

Список літератури

1. Society Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Bellingham, USA, 2014. 182 p. ISBN: 1628412925.
2. MEMS: микроэлектромеханические системы. Ч. 1, 2, 3. URL: <http://www.3dnews.ru/editorial/mems-mikroelektromekhanicheskie-sistemi-chast-1,2,3>
3. Greenwood J., Dobie G. An optical pressure sensor for an aeronautical application using white light interferometry. *Proc. SPIE*. 2000. Vol. 4075. P. 94–100.
4. Optomechatronic systems. *Proc. SPIE*. 2001. Vol. 4190. 350 p.
5. Doyle Keith B., Genberg Victor L., Michels Gregory J. Integrated optomechanical analysis. 2002. 231 p. ISBN: 0819446092.
6. Пальтиель Л. Р. Структура и адсорбционные свойства поверхности кремнесодержащих оптических материалов и их модифицирующих покрытий: автореф. ... дисс. канд. хим. наук. Ленинград, 1990. 19 с.
7. Дубровская Г. Н., Дикая С. В., Жученко М. И., Канашевич Г. В., Лисоченко В. Н. А. с. 1644458 СССР, МКИ5 C03C23/00. Раствор для очистки изделий преимущественно из оптического стекла. № 4706420/33; заявл. 19.06.89; опублик. 22.12.90, Бюл. № 33.
8. Дубровська Г. М., Канашевич Г. В., Бондаренко М. О. (Україна). Пат. 67516А Украї-

- на, МКИ C03C15/00. Спосіб виявлення дефектного приповерхневого шару оптичного скла; заявл. 09.10.2003; опубл. 15.06.2004; Бюл. № 6.
- Канашевич Г. В. Термоелектричний вплив низькоенергетичного електронного потоку на дефектний шар оптичного скла. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія Приладобудування. 2013. Вип. 45. С. 123–130.
 - Society Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Bellingham, USA, 2014. 182 p. ISBN: 1628412925.
 - MEMS: microelectromechanic systems, parts 1, 2, 3. URL: <http://www.3dnews.ru/editorial/mems-mikroelektromechanicheskie-sistemi-chast-1,2,3>.
 - Greenwod, J., Dobre, G. (2000) An optical pressure sensor for an aeronautical application using white light interferometry. *Proc. SPIE*, vol. 4075, pp. 94–100.
 - Optomechatronic systems (2001) *Proc. SPIE*, vol. 4190, 350 p.
 - Doyle, Keith B. Genberg, Victor L., Michels, Gregory J. (2002) Integrated optomechanical analysis, 231 p. ISBN: 0819446092.
 - Paltiel, L. R. (1990) The structure and adsorption properties of the surface of silicon-containing optical materials and their modifying coatings: thesis for Ph.D. in Chemistry. Leningrad, 19 p. [in Russian].
 - Dubrovskaya, G. N., Dikaya, S. V., Zhuchenko, M. I., Kanashevich, G. V., Lisichenko, V. N. (1990) The solution for brushing of items mainly made of optical glass: inventor's certificate 1644458 USSR, MKI5 C03C23/00. No. 4706420/33, bulletin № 33 [in Russian].
 - Dubrovskaya, H. M., Kanashevych, H. V., Bondarenko, M. O. (2004) The method for detecting defective near-surface layer of optical glass: patent 67516A Ukraine, MKI C03C15/00, bulletin № 6 [in Ukrainian].
 - Kanashevych, H. V. (2013) Thermoelectrical impact of low-energy electron flow on defective layer of optical glass. *Visnyk NTUU «KPI»*. *Seriya Pryladobuduvannya*, vol. 45, pp. 123–130 [in Ukrainian].

References

H. V. Kanashevych¹, *Dr.Tech.Sc., professor,*

M. V. Holub¹, *assistant,*

S. M. Matsepa¹, *postgraduate student,*

V. S. Antonyuk², *Dr.Tech.Sc., professor*

¹Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine (vp@kpi.ua)

THE METHOD FOR DETECTION OF MICRO-DEFECTS AND DEFECTIVE LAYER IN THE SURFACE OF OPTICAL GLASS PLATES USING ELECTRON BEAM PROCESSING METHOD

The technique can detect micro-defects and defective layer on plates made of optical glass K8, STK3, BK10, TK21 obtained in terms of optical manufacturing and the surface of which is further used for producing single microlenses, microlens raster elements of integrated optics, single and systems of micromirrors using microelectronics technology.

According to the developed method micro-defects and defective layer on the surface of the plate are revealed by electron flow effect on the surface, further etching in a mixture of HF + glycerin and application of optical, electron and atomic force microscopy.

The action of electron flow provides the dissociation of polishing products that fill a defective layer of the plate and increases their solubility in a mixture of HF and glycerol.

Keywords: optical glass, optical glass plates, microlens raster elements of integrated optics, micro-defects, defective layer, electron beam processing, electron microscopy, atomic force microscopy.

Статтю представляє Г. В. Канашевич, д.т.н, професор

В. І. Осипенко, д.т.н., професор,

e-mail: osip5906@rambler.ru

С. В. Коротун, аспірант

e-mail: kvi8002@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПЛАНЕТАРНО-РОЛИКОВА ГІДРОМАШИНА БАГАТОКРАТНОЇ ДІЇ

Стаття присвячена проблемі створення планетарно-роликової гідромашини багатократною дією, яка має усунути недоліки існуючих гідромашин та покращити їх характеристики, щоб розширити межі застосування гідромашин. Для її вирішення проведено аналіз попередньо розробленої ексцентричної планетарно-роликової гідромашини, що дало змогу створити планетарно-роликову гідромашину багатократною дією, яка в разі збільшує характеристики такого типу обладнання. На основі комплексу експериментальних і теоретичних досліджень запропоновано, обґрунтовано та розроблено методику визначення рівня поверхні статора для багатократною дією робочої порожнини за оберт її навколо вала. Спираючись на отримані результати, запропоновано нові принципи компенсування зношення робочих поверхонь.

Ключові слова: ексцентричний, планетарно-роликова гідромашина багатократною дією, ексцентриситет, полярні координати, компенсація зношення, траєкторія руху,

Вступ. Гідронасоси та гідродвигуни високого тиску мають величезний нерозкритий потенціал при застосуванні в техніці. Вони можуть виконувати роль плавного варіатора, мають більш ніж у 15 разів менші масо габаритні показники ніж електромотори, при тій самій потужності, але при цьому з постійним високим моментом та широким діапазоном частот обертання вала, акумулювання енергії, само охолодження, та інше. Але ці переваги майже не використовуються в техніці через величезну кількість недоліків, які мають гідроапарати високого тиску.

Деякі недоліки гідроапаратів високого тиску:

- недовговічність, через наявність тертя ковзання під значним навантаженням;
- малі частоти обертання вала;
- низький ККД;
- високий рівень вібрацій та шуму;
- високі пульсації робочої рідини;
- складність виготовлення;

Мета – вибрати, обґрунтувати та оцінити поверхню статора для планетарно-роликової гідромашини багатократною дією, яка має усунути недоліки існуючих гідромашин та покращити їх характеристики.

Постановка задачі:

1. Проаналізувати попередньо розроблену ексцентрично планетарно-роликову гідромашину [1, 2] з метою подальшого вдосконалення, зокрема визначити геометричну залежність яка забезпечує постійний контакт між роликами при будь-якому можливому їх положенні.

2. Запропонувати та обґрунтувати форму поверхні статора, що забезпечує постійний контакт між роликами при будь-якому можливому їх положенні. для планетарно-роликової гідромашини багатократною дією, яка має усунути недоліки існуючих гідромашин.

3. Спираючись на отримані результати запропонувати нові принципи компенсування зношення робочих поверхонь.

4. Проаналізувати характеристики, переваги та недоліки розробленої машини.

Таким чином вирішення поставленої задачі дає змогу усунути основні недоліки гідромашин високого тиску.

Основний матеріал. Об'ємна планетарно-роликова гідромашина (ОПРГМ) [1, 2] являє собою концептуально нову розробку з покращеними характеристиками [3, 4]. В основу конструкції покладено принцип дворядної планетарної передачі з фрикційним зачепленням та багатократною дією робочої порожнини за оберт вала. Такий підхід дає змогу суттєво спростити конструкцію всієї гідромашини, технологічність її виготовлення та складання, зменшити масу тощо. Геометричні форми основних елементів та їх взаємне розташування створюють компактний пристрій з високим моментом та частотою обертання. Описана ексцентрична планетарно-роликова гідромашина [1, 2] має потенціал у розвитку за рахунок збільшення кратності дій робочої порожнини за оберт навколо вала та впровадження систем компенсації зношення робочих поверхонь.

Для забезпечення постійного контакту між роликками при будь-якому їх положенні у планетарно-роликової гідромашини багатократної дії, визначити необхідну форму поверхні, по якій котяться роликки. Тому, що еліпсна по-

верхня не забезпечує передачу крутного моменту від валу до роликків, через те, що не забезпечується постійний контакт між усіма роликками при їх обертанні (рис. 1), так, як це забезпечує ексцентрична роликова гідромашина (рис. 2).

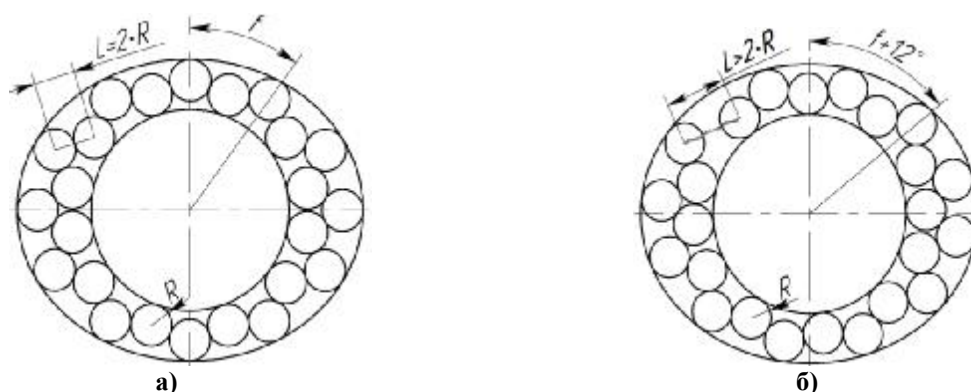


Рис. 1. Геометричні моделі об'ємної гідромашини з еліпсним статором: а) в початковому положенні; б) після повороту роликків на 12°

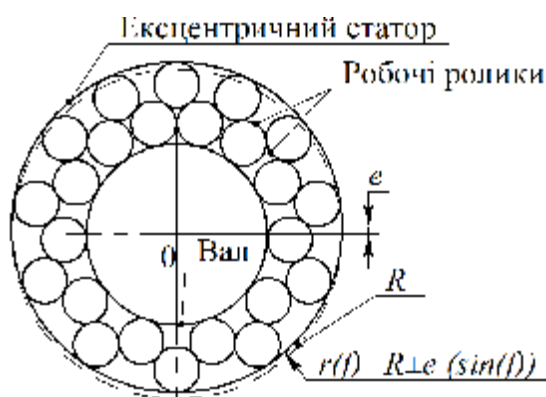


Рис. 2. Схема ексцентричного типу об'ємної гідромашини

Рівняння поверхні статора ексцентричного типу роликової гідромашини в полярних координатах з центром координат на осі вала:

$$r(f)_{\text{ексцентр.}} = R \pm e \cdot \sin(f), \quad (1)$$

де: e – ексцентриситет;

R – середній радіус ексцентричного кола від осі вала.

Для визначення принципу забезпечення постійного контакту між роликками у об'ємній гідромашині ексцентричного типу, розглянемо цю схему у вигляді послідовно з'єднаних центрів роликків та траєкторією їх руху (рис. 3).

З рис. 3 видно що геометричну залежність яка забезпечує постійний контакт між роликками, при будь-якому можливому їх положенні, знаходиться саме між траєкторіями руху центрів роликків. Тобто, постійний контакт між роликками забезпечується саме рухом центрів роликків, які котяться по статору, по лінії яку описує ексцентричне коло, а статор є

лише рівновіддалений від траєкторії руху центрів роликків, на радіус ролика, який по ньому котиться (рис. 4).

Отже, для забезпечення постійного контакту між роликками при будь-якому їхньому положенні, необхідна поверхня статора такої форми, щоб центри роликків, які по ній котяться, рухались по лінії яку описує рівняння (2) (в полярних координатах у площині перпендикулярній осі вала з центром координат у точці перетину цієї площини з віссю вала):

$$r(f) = R \pm k \cdot \sin(n \cdot f), \quad (2)$$

де: R – середній радіус руху центрів роликків які котяться по статору;

k – значення амплітуди відхилення руху центрів роликків від середнього радіусу їх руху;

n – коефіцієнт періоду повторювання робочих дій машини, тобто, за яку частину повного повороту порожнини навколо вала вона зробить повний період руху.

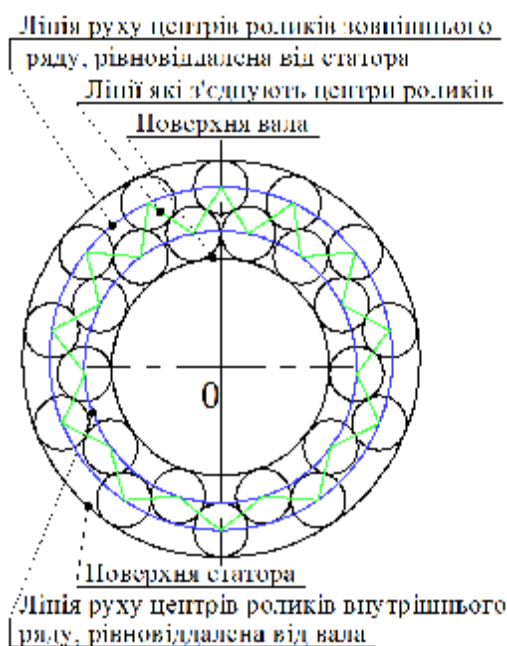


Рис. 3. Схема об'ємної гідромашини ексцентричного типу із послідовно з'єднаними центрами роликів та траєкторією їх руху

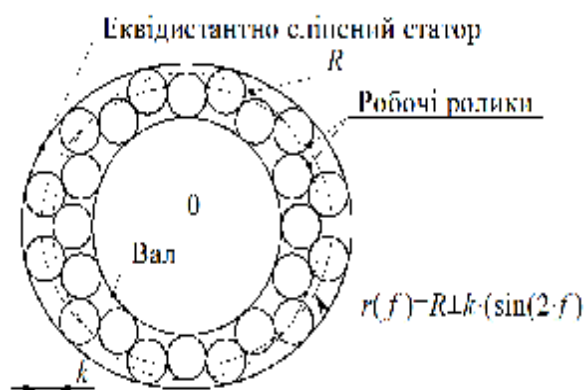


Рис. 4. Геометрична модель об'ємної гідромашини з формою статора, рівновіддаленою від еліпсної траєкторії руху центрів роликів на величину радіуса ролика, який котиться по статору

Ця функція забезпечує постійний контакт між роликами при будь-якому n більшого від одиниці, $n = 2, 3, 4, 5 \dots$ (рис. 5).

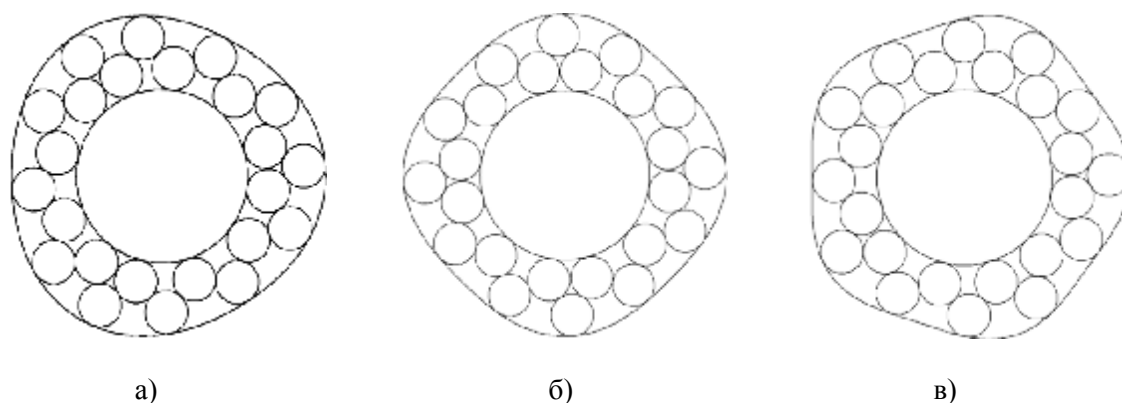


Рис. 5. Геометричні моделі об'ємної гідромашини при різних кратності дій робочої порожнини за оберт n : а) $n=3$; б) $n=4$; в) $n=5$

Сформульована вище форма статора багатократної дії робочої порожнини, також справедлива для приводу на зовнішнє кільце (рис. 6).

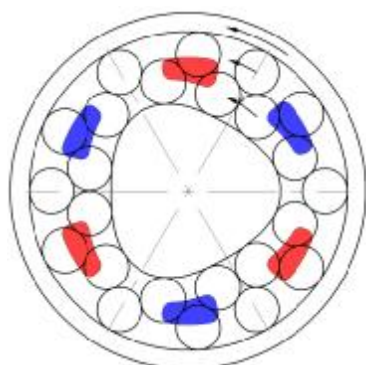


Рис. 6. Геометрична модель ОПРГМ з приводом на зовнішнє кільце

Однак проведені розрахунки та аналіз можливої конструкції ОПРГМ з приводом на зовнішнє кільце показали суттєве ускладнення реалізації кінематики та відповідної конструктивної схеми установки, також зменшення ресурсу [5]. В подальшому від реалізації та досліджень схеми з приводом на зовнішнє кільце відмовилися.

Схема гідромашини з формою статора рівновіддаленою від лінії, яку описує рівняння (2), руху центрів роликів, при $n > 1$, повністю компенсує сили, яку створюють на вал ролики, за рахунок симетрії конструкції, тому на підшипниках, які утримують вал, практично відсутні навантаження. У зв'язку з цим втрати на тертя кочення значно менші в порі-

внянні з ексцентричною роликовою гідромашиною, при $n=1$.

Дана конструкція може створювати високий моменти на валу, так як вона вже являє собою планетарний редуктор. А відсутність зубчатих передач та зворотню поступальних рухів дає змогу працювати машині на високих обертах.

Виведена формула поверхні може забезпечити часткову (секторну) дію робочої порожнини (рис. 7), що дає змогу збільшити кількість роликів між впускними і випускними вікнами, тим самим значно підвищити внутрішню герметичність ОПРГМ.

Завдяки ефекту кочення роликів відносно контактуючих деталей втрати на тертя значно скорочуються, що забезпечує високий ККД гідромашини. Подібність основних деталей до підшипникових елементів, що випускаються у масовому типі виробництва, значно підвищує технологічність конструкції і знижує собівартість виготовлення. Простота запропонованої конструкції забезпечує надійність та довговічність роботи гідромашини.

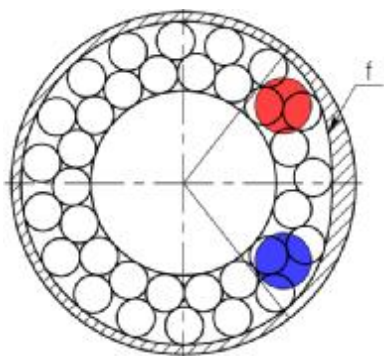


Рис. 7. Геометрична модель ОПРГМ з частковою (секторною) дією робочої порожнини

Через неідеальність роликів між ними та корпусом наявний зазор, крізь січення якого робоча рідина має можливість потрапляти з випускних до впускних вікон насосу. А при збільшенні кратності дій, при $n=2,3,4,5\dots$, збільшується кількість впускних та випускних вікон, відповідно і збільшується кількість січень перетікання між ними. Через це, збільшуються внутрішні перетікання рідини, тим самим зменшується загальний ККД гідромашини.

Виходячи з цього, гідромашини з формою статора рівновіддаленою від еліпсної траєкторії рух центрів роликів, гідромашини двократної дії робочої порожнини за оберт,

має найбільший ККД з можливих варіантів кількості дій робочої порожнини за оберт навколо вала. Саме тому цю конструкцію найбільш доцільно обрати для апарату високого тиску.

Компенсування зношення робочих поверхонь можливе за рахунок збільшення діаметра поверхні вала по якій котяться ролики, також, компенсування зношення можливе за рахунок деформації статора, а саме, зменшення значення k амплітуди відхилення руху центрів роликів від середнього радіусу їх руху формула (2).

У даний час, в рамках кандидатської дисертації, розробником цієї конструкції, ведеться створення методики розрахунку оптимальних геометричних параметрів ОПРГМ та створення параметрично оптимізуючої програм, для даного розрахунку та моделювання 3D, креслення машини під задані характеристики.

Висновки:

1. Проаналізовано попередньо розроблену ексцентрично планетарно-роликової гідромашини (стаття), та визначено шляхи її вдосконалення.

2. Запропоновано, обґрунтовано та розроблено поверхню статора що забезпечує постійний контакт між роликами при будь-якому можливому їх положенню для планетарно-роликової гідромашини багатократної дії.

3. Спираючись на отримані результати запропоновано нові принципи компенсування зношення робочих поверхонь.

4. Проаналізовано характеристики, переваги та недоліки розробленої машини.

Таким чином модернізація ексцентричної роликової гідромашини у роликову гідромашину дала змогу усунути основні недоліки гідромашин які стримують розвиток гідрофікованого обладнання як технології.

Список літератури

1. Осипенко В. І., Коротун С. В., Циба О. А. Орбітально-роликова гідромашина з задачею обертального моменту тертям кочення. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія Технічні науки*. 2015. № 2. С. 123–130.
2. Патент № 103473 Об'ємна пневмо-гідромашина. Коротун С. В., Циба О. А.
3. Веретільник Т. І., Циба О. А., Коротун С. В. Передача руху в орбітально-роликових гідромашинах способом тертя кочення. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: те-*

- зи доп. XX Міжнар. наук.-техн. конф. Київ: КПІ, 2015. С. 82.
4. Веретільник Т. І., Циба О. А., Коротун С. В. Перспективи використання орбітально-роликів гідромашин в гідроприводах мобільних машин. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці*: матеріали XX Міжнар. наук.-техн. конф. Київ: КПІ, 2015. С. 123.
 5. Оценка стоимости жизненного цикла оборудования. Экономическая эффективность в долгосрочной перспективе. *Энергоэффективное оборудование*. 2007. № 7. С. 12–13.
 2. Patent № 103473 Ob'yemna pnevmohidromashyna. Korotun, S. V., Tsyba, O. A. [in Ukrainian].
 3. Veretil'nyk, T. I., Tsyba, O. A., Korotun, S. V. (2015) Peredacha rukhu v orbital'no-rolykovykh hidromashynakh sposobom tertya kochennya. *Hidroaeromekhanika v inzhenerniy praktytsi: tezy dop. XX Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Kyiv: KPI, s. 82* [in Ukrainian].
 4. Veretil'nyk, T. I., Tsyba, O. A., Korotun, S. V. (2015) Perspektyvy vykorystannya orbital'no-rolykovykh hidromashyn v hidropryvodakh mobil'nykh mashyn. *Hidroaeromekhanika v inzhenerniy praktytsi: materialy XX Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Kyiv: KPI, s. 123* [in Ukrainian].
 5. Otsenka stoyimosti zhyznennogo tsikla oborudovaniya. Ékonomicheskaya éffektivnost' v dolgosrochnoy perspective (2007). *Énergoéffektivnoye oborudovaniye*, No. 7, s. 12–13 [in Russian].

References

1. Osypenko, V. I., Korotun, S. V., Tsyba, O. A. (2015) Orbital'no-rolykova hidromashyna zperedacheyu obertal'noho momentu tertyam kochennya. *Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky*, No. 2, s. 123–130 [in Ukrainian].

V. I. Osipenko, *Dr. Tech.Sc., professor*,
e-mail: osip5906@rambler.ru

S. V. Korotun, *postgraduate student*
e-mail: kvi8002@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PLANETARY ROLLER HYDRAULIC MACHINE OF MULTIPLE ACTION

The article is devoted to the creation of scientifically based methods for assessing the localization process of anodic dissolution in electrochemical cell with a cylindrical electrode. To solve it the possibility of applying the known approaches to assessing localization process of anodic dissolution in electrochemical cell with a cylindrical electrode is analyzed. Based on complex experimental and theoretical studies the method for determining the level of the process localization of electrochemical dissolution of medium carbon steels using processing scheme with cylindrical wire electrodes and coaxial vertical upper electrolyte feed is offered, substantiated and developed. Based on the given results, new criteria for determining the process localization, which have necessary degree of adequacy to assess the impact on the localization properties of the electrolyte and amplitude-time parameters of the power supply, are offered.

Keywords: *eccentric, planetary-roller hydraulic machine of multiple action, equidistancy, polar coordinates, service wear compensation, motion path.*

Статтю представляє В. І. Осипенко, д.т.н., професор.

В. І. Мірненко¹, д.т.н., професор,
П. М. Яблонський¹, к.т.н., доцент,
e-mail: mirnenkovi@gmail.com
А. М. Петренко², ст. викладач
e-mail: petrenko1969@ukr.net

¹Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського
Повітрофлотський просп., 28, м. Київ, 03049, Україна

²Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТИПУ ТМН, ТМГ І ТМ

У статті розроблено методику оцінювання техніко-економічної ефективності експлуатації силових трансформаторів типу ТМН, ТМГ і ТМ з використанням дифузійно-немонотонного закону розподілу їх відмов з урахуванням помилок першого і другого роду. Для стандартних умов експлуатації показано графіки залежності коефіцієнта технічного використання і питомих витрат на годину роботи трансформаторів у справному стані від основних параметрів математичної моделі.

Ключові слова: дифузійно-немонотонний розподіл, коефіцієнт технічного використання, питомі витрати, періодичність проведення профілактичних робіт.

Вступ. Силові трансформатори ТМН, ТМГ і ТМ належать до найбільш уживаних у народному господарстві і забезпечують електроенергією населення держави. Вони працюють цілодобово, за виключенням часу на аварійні відключення і профілактичні роботи. В сучасних умовах спостерігається певний дефіцит електроенергії для народного господарства. Тому забезпечення електроенергією повинно бути надійним і економічним. З різних варіантів досягнення заданого рівня технічної готовності силових трансформаторів необхідно обрати найбільш економічний.

Аналіз останніх джерел та публікацій. У наукових роботах дослідження силових трансформаторів спостерігається відносно рідко. Так, в роботі [5] обґрунтовано доцільність застосування саме дифузійно-немонотонного розподілу (ДН) для електричних установок. Використання ДН-розподілу для створення зразків електронної техніки описано в роботі [2]. Залежності коефіцієнту технічного використання (K_{TB}) від параметрів експлуатації для дифузійно-монотонного (ДМ) і дифузійно-немонотонного (ДН) розподілів відмов показано в праці [6]. Роботи [7, 8] присвячені застосуванню лише закону ДМ-розподілу.

Метою даної роботи є обґрунтування оптимальної за критерієм коефіцієнта технічного використання періодичності проведення

профілактичних робіт з урахуванням витрат на одну годину роботи силових трансформаторів ТМН, ТМГ і ТМ. За критерій ефективності експлуатації силових трансформаторів будемо використовувати коефіцієнт технічного використання (K_{TB}), рекомендовано державним стандартом України [1].

Експлуатація таких силових трансформаторів пов'язана з певними економічними витратами, які залежать від часу їх роботи, кількості і характеру відмов, періодичності і тривалості проведення профілактичних робіт, якості вбудованих систем контролю, закупівельної вартості виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження. За модель відмов силових трансформаторів будемо використовувати дифузійно-немонотонний закон розподілу, який рекомендовано державним стандартом України [1] для виробів електротехнічного типу з функцією розподілу

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + e^{2v^2} \cdot \Phi\left(-\frac{t + \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right),$$

де $\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{v^2}{2}} du$; μ – параметр масштабу; v – параметр форми.

Для дифузійно-немонотонного закону розподілу параметр масштабу співпадає з

математичним сподіванням часу роботи між відмовами, а параметр форми з коефіцієнтом варіації. Вказаним стандартом для електроте-

хнічних виробів рекомендується параметр форми $v = 0,5$. У табл. 1 наведені параметри експлуатації силових трансформаторів.

Таблиця 1

Параметри експлуатації силових трансформаторів

№ з/п		Тип трансформатора		
		ТМН	ТМГ	ТМ
1	параметр масштабу μ , год	2190	4380	8760
2	параметр форми v	0,5	0,5	0,5
3	інтенсивність надходження сигналів помилкових тривог λ , 1/год	$2,85 \cdot 10^{-6}$	$2,85 \cdot 10^{-6}$	$5,71 \cdot 10^{-5}$
4	інтенсивність проявлення відмов, що сталися у трансформаторів $\lambda_{пр}$, 1/год	$1,427 \cdot 10^{-6}$	$2,85 \cdot 10^{-6}$	$2,85 \cdot 10^{-7}$
5	ймовірність надходження інформації про відмову ρ	0,7	0,3	0,3
6	тривалість проведення профілактичних робіт t_{np} , год.	1,5	1,5	1,5
7	тривалість перевірки трансформатора пересувною системою контролю t_n , год.	2	1,5	1,5
8	тривалість перевірки трансформатора вбудованою системою контролю t_n^* , год.	0,5	0,5	0,5
9	тривалість повного відновлення трансформатора, що відмовив t_{θ} , год.	4,8	6	4
10	ймовірність правильного визначення несправного трансформатора під час проведення профілактичних робіт $d_{н2}$	0,9	0,85	0,9
11	ймовірність правильного визначення несправного трансформатора пересувними засобами контролю $d_{н2}^*$	0,8	0,8	0,8
12	ймовірність правильного визначення справного стану трансформатора пересувними засобами контролю d_2^*	0,9	0,9	0,9
13	періодичність проведення профілактичних заходів у силових трансформаторах T , год.	1000	1000	1000

У роботі [3] показано, що коефіцієнт технічного використання системи дорівнює

$$K_{TB} = \frac{\pi_1(T) \cdot B(T)}{\pi_1(T) \cdot \mu_1(T) + \pi_2(T) \cdot \mu_2(T) + \pi_3(T) \cdot \mu_3(T) + \pi_4(T) \cdot \mu_4(T) + \pi_5(T) \cdot \mu_5(T) + \pi_6(T) \cdot \mu_6(T) + \pi_7(T) \cdot \mu_7(T)}, \quad (1)$$

де

$$\left. \begin{aligned} \pi_1(T) &= \frac{M}{D}; \\ \pi_2(T) &= a_1 \cdot \frac{M}{D}; \\ \pi_3(T) &= a_2 \cdot \frac{M}{D} + a_3 \cdot \frac{a_2(1-d_{н2}) + a_4(1-d_{н2}^*)}{D}; \\ \pi_4(T) &= \frac{M[d_{н2} \cdot a_2 + d_{н2}^* \cdot a_4 + (1-d_2^*)a_6]}{D} + \frac{[d_{н2} \cdot a_2 + d_{н2}^* \cdot a_5] \cdot [a_2(1-d_{н2}) + a_4(1-d_{н2}^*)]}{D}; \\ \pi_5(T) &= a_4 \cdot \frac{M}{D} + a_5 \cdot \frac{a_2 - d_{н2} \cdot a_2 + a_4 - d_{н2}^* \cdot a_4}{D}; \\ \pi_6(T) &= a_6 \cdot \frac{M}{D}; \\ \pi_7(T) &= \frac{a_2(1-d_{н2}) + a_4(1-d_{н2}^*)}{D}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

У формулі (2): $\pi_i(T)$ – частина потрапляння Маркова до стану i , де $i = \overline{1,7}$;

$$M = 1 - (1 - d_{нз})a_3 - (1 - d_{нз}^*)a_5;$$

$$\begin{aligned} D = & (1 + a_1 + a_2 + a_4 + 2a_6 + d_{нз} \cdot a_2 + d_{нз}^* \cdot a_4 - \\ & - d_{з}^* \cdot a_6) \cdot [1 - a_3(1 - d_{нз}) - a_5(1 - d_{нз}^*)] + \\ & + [a_3 \cdot (1 + d_{нз}) + a_5(1 - d_{нз}^*) + 1] + \\ & + [a_2 \cdot (1 - d_{нз}) + a_4(1 - d_{нз}^*)]. \end{aligned}$$

Для визначення складових компонентів вектора $\pi(T)$ введемо такі позначення:

$$a_1(T) = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T};$$

$$a_2(T) = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t);$$

$$a_3(T) = e^{-\lambda_{np} T}; \quad a_4(T) = \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t);$$

$$a_5(T) = 1 - e^{-\lambda_{np} T}; \quad a_6(T) = \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt.$$

Для початкових даних табл. 1 (силового трансформатора ТМН) вектор частот потрапляння ланцюга Маркова до стану i , де $i = \overline{1,7}$ для дифузійно-немонотонного закону розподілу дорівнює

$$\begin{aligned} \pi_1(T) = 0,4745; \quad \pi_2(T) = 0,4362; \quad \pi_3(T) = 0,018; \\ \pi_4(T) = 0,0037; \quad \pi_5(T) = 0,0259; \\ \pi_6(T) = 0,001; \quad \pi_7(T) = 0,0069. \end{aligned}$$

Сума компонент вектора $\pi(T)$ дорівнює одиниці, з досить високою точністю, що свідчить про правильність виконаних розрахунків числовим методом.

Для трансформатора ТМГ вектор $\pi_{ТМГ}(T)$ буде мати такі складові:

$$\begin{aligned} \pi_1(T) = 0,4996; \quad \pi_2(T) = 0,4976; \\ \pi_3(T) = 0,0005; \quad \pi_4(T) = 0,0006; \\ \pi_5(T) = 0,0001; \quad \pi_6(T) = 0,0014; \\ \pi_7(T) = 0,0001. \end{aligned}$$

Для трансформатора ТМ вектор $\pi_{ТМ}(T)$ буде мати такі складові:

$$\begin{aligned} \pi_1(T) = 0,4986; \quad \pi_2(T) = 0,4709; \\ \pi_3(T) = 5,663 \cdot 10^{-8}; \quad \pi_4(T) = 0,0027; \\ \pi_5(T) = 2,012 \cdot 10^{-8}; \quad \pi_6(T) = 0,0276; \\ \pi_7(T) = 9,6871 \cdot 10^{-9}. \end{aligned}$$

Для визначення K_{TB} необхідно знати компоненти вектора $\mu(T)$ середніх тривалостей перебування напівмарковського процесу у станах i , де $i = \overline{1,7}$. У першому стані напівмарковський процес перебуває в середньому час $\mu_1(T)$, що дорівнює

$$\begin{aligned} \mu_1(T) = & [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T} \cdot T + \\ & + (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t) \cdot T + \\ & + \rho \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t) \cdot \int_0^T t \cdot dF_{15}(t) + \\ & + \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt \cdot \int_0^T t \cdot dF_{16}(t); \\ F_{15}(t) = & \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} dF(x)}{\int_0^T e^{-\lambda x} dF(x)}; \\ F_{16}(t) = & \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} [1 - F(x)] dx}{\int_0^T e^{-\lambda x} [1 - F(x)] dx} \end{aligned}$$

Можна показати, що для силового трансформатора ТМН решта компонент вектора $\mu(T)$ дорівнюють

$$\begin{aligned} \mu_2(T) = t_p + t_{np}; \quad \mu_3(T) = t_p - d_{нз} \cdot t_p + t_{np}; \\ \mu_4(T) = t_B; \quad \mu_5(T) = t_{np}^*; \quad \mu_6(T) = t_{np}^*; \\ \mu_7(T) = \frac{1 - e^{-\lambda_{np} T}}{\lambda_{np}}. \end{aligned}$$

Для початкових умов табл. 1 складові вектора $\mu(T)$ дорівнюють: $\mu_1(T) = 989,4200$; $\mu_2(T) = 3,5200$; $\mu_3(T) = 2,2200$; $\mu_4(T) = 4,8200$; $\mu_5(T) = \mu_6(T) = 0,5200$; $\mu_7(T) = 999,3200$.

За аналогією вектор $\mu(T)$ для трансформаторів ТМГ і ТМ дорівнює відповідно:

$$\begin{aligned} \mu_{ТМГ}(T) = [998,5; 3,1; 7,6; 0,5; 0,5; 998,6]; \\ \mu_{ТМ}(T) = [972; 3,1; 7,4; 0,5; 0,5; 999,9]. \end{aligned}$$

$B(T)$ є середнім часом перебування силового трансформатора у справному стані. Цей час являє собою математичне сподівання мінімуму двох випадкових величин, а саме $B(T) = M\{\min(\tau, \tau_n)\}$. Якщо вважати, що помилкові тривоги розподілені за експоненціальним законом, тобто $\Delta(T) = 1 - e^{-\lambda T}$, де λ – інтенсивність надходження помилкових сигналів про відмову, то

$$B(T) = M\{\min(\tau, \tau_n)\} = \int_0^T [1 - F(t)] \cdot [1 - \lambda(t)] dt = \int_0^T [1 - F(t)] \cdot e^{-\lambda t} dt = 985,5 \text{ год.}$$

За аналогією можуть бути визначені середні тривалості перебування інших силових трансформаторів у справному стані.

Для розрахунку техніко-економічної ефективності силових трансформаторів будемо вважати, що середні витрати на перебу-

вання виробу у стані h_i та вихід зі стану дорівнюють [4]

$$C_i(T) = C_{ii}(T) \cdot \mu_i(T) + \sum_{j=i}^T P_{ij}(T) \cdot C_{ij}(T), \quad (3)$$

де $C_{ij}(T)$ – витрати на перебування виробу в станах процесу технічної експлуатації, грн/год.

В подальших розрахунках вважається, що $C_{ii}(T)$ представляє собою закупівельну вартість виробу у цінах на 2017 року; $C_{ij}(T)$ – витрати на вихід виробу зі станів технічної експлуатації, грн; $P_{ij}(T)$ – матриця перехідних ймовірностей напівмарковського процесу зі стану i до стану j , де $i = \overline{1, 7}$; $j = \overline{1, 7}$.

Для моделі, що опублікована у роботі [2], матриця перехідних ймовірностей має вигляд:

$$P_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & 0 & P_{15} & P_{16} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{n2} & 0 & 0 & 1 - d_{n2} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{n2}^* & 0 & 0 & 1 - d_{n2}^* \\ d_2^* & 0 & 0 & 1 - d_2^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\lambda_{np} T} & 0 & 1 - e^{-\lambda_{np} T} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Елементи матриці дорівнюють

$$P_{12}(T) = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T};$$

$$P_{13}(T) = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t);$$

$$P_{15}(T) = \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$$

$$P_{16}(T) = \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt.$$

Можна показати, що сума елементів по кожному рядку матриці (4) дорівнює одиниці.

Для вихідних умов таблиці 1 матриця $P_{ij}(T)$ має вигляд для трансформаторів ТМН, ТМГ і ТМ відповідно:

$$P_{ij}(1000)_{TMH} = \begin{pmatrix} 0 & 0,9193 & 0,0234 & 0 & 0,0545 & 0,0028 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0,1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0,9 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,9936 & 0 & 0,0014 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_{ij}(1000)_{TMГ} = \begin{pmatrix} 0 & 0,9961 & 0,0007 & 0 & 0,0003 & 0,0028 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,85 & 0 & 0 & 0,15 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0,9 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,9971 & 0 & 0,0028 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_{ij}(1000)_{TM} = \begin{pmatrix} 0 & 0,9445 & 9,4147 \cdot 10^{-2} & 0 & 4,035 \cdot 10^{-8} & 0,0555 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0,1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 0,9 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,9997 & 0 & 0,0002 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Вектори стаціонарних ймовірностей вкладеного ланцюга Маркова дорівнюють для трансформаторів ТМН, ТМГ і ТМ відповідно:

$$P_{i_{TMН}} = (0,4745; 0,4362; 0,0181; 0,0371; 0,0259; 0,0013; 0,0047);$$

$$P_{i_{TMГ}} = (0,4996; 0,4976; 0,0005; 0,0006; 0,0001; 0,0014; 0,0001);$$

$$P_{i_{TM}} = (0,4986; 0,4709; 5,663 \cdot 10^{-8}; 0,0028; 2,01 \cdot 10^{-8}; 0,028; 9,69 \cdot 10^{-9});$$

Вартість трансформатора ТМН складає 320000 грн. За рік експлуатації трансформатора ТМН

$$C_{ii} = \frac{320000}{8760} = 36,5297 \frac{\text{грн}}{\text{год}}.$$

Можна показати, що матриця витрат для трансформатора типу ТМН стосовно моделі його експлуатації має вигляд:

$$C_{TMН} = \begin{pmatrix} 36,5297 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31523 & 36,5297 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 36,5297 & 31523 & 0 & 0 & 31523 \\ 23000 & 0 & 0 & 36,5297 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4600 & 36,5297 & 0 & 4600 \\ 4600 & 0 & 0 & 4600 & 0 & 36,5297 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 36,5297 \end{pmatrix}$$

Для трансформаторів типу ТМГ і ТМ матриці витрат дорівнюють відповідно:

$$C_{TMГ} = \begin{pmatrix} 7,9912 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31523 & 7,9912 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7,9912 & 31523 & 0 & 0 & 31523 \\ 20000 & 0 & 0 & 7,9912 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4000 & 7,9912 & 0 & 4000 \\ 4000 & 0 & 0 & 4000 & 0 & 7,9912 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7,9912 \end{pmatrix};$$

$$C_{TM} = \begin{pmatrix} 8,105 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31523 & 8,105 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8,105 & 31523 & 0 & 0 & 31523 \\ 21000 & 0 & 0 & 8,105 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4200 & 8,105 & 0 & 4200 \\ 4000 & 0 & 0 & 4200 & 0 & 8,105 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8,105 \end{pmatrix}.$$

В наведених матрицях розмірність елементів, що знаходяться на головній діагоналі – грн/год, а решта елементів мають розмірність у гривнях.

Здійсимо розрахунок витрат на перебування та вихід зі станів за формулою (3).

$$\begin{cases} C_1 = C_{11}\mu_1 + P_{12}C_{12} + P_{13}C_{13} + P_{15}C_{15} + P_{16}C_{16} \\ C_2 = C_{22}\mu_2 + P_{21}C_{21} \\ C_3 = C_{33}\mu_3 + P_{34}C_{34} + P_{37}C_{37} \\ C_4 = C_{44}\mu_4 + P_{41}C_{41} \\ C_5 = C_{55}\mu_5 + P_{54}C_{54} + P_{57}C_{57} \\ C_6 = C_{66}\mu_6 + P_{61}C_{61} + P_{64}C_{64} \\ C_7 = C_{77}\mu_7 + P_{73}C_{73} + P_{75}C_{75} \end{cases} \quad (5)$$

Вектор витрат для станів моделі силових трансформаторів буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} C_{TMH} &= (36144; 31651; 31602; 23175; 4618; 4618; 36504); \\ C_{TMГ} &= (7980; 31547; 31537; 20048; 4004; 4004; 7980); \\ C_{TM} &= (7878; 31547; 31536; 21032; 4204; 4204; 8104). \end{aligned}$$

Далі здійсимо розрахунок витрат на одиницю календарного часу за формулою

$$C_{ПИТ} = \frac{\sum_{i=1}^7 C_i(T) \cdot \pi_i(T)}{\mu_{сер}}, \quad (6)$$

де,

$$\begin{aligned} \mu_{сер}(t) &= \pi_1(T)\mu_1(T) + \pi_2(T)\mu_2(T) + \pi_3(T)\mu_3(T) + \pi_4(T)\mu_4(T) \\ &+ \pi_5(T)\mu_5(T) + \pi_6(T)\mu_6(T) + \pi_7(T)\mu_7(T) \end{aligned}$$

Можна показати, що

$$\begin{aligned} C_{ПИТ} &\approx 18 \text{ грн / год}; \quad \mu_{сер, TMГ}(t) = 500,4 \text{ год}; \\ \mu_{сер, TM}(t) &= 486,1 \text{ год}. \end{aligned}$$

Якщо підставити у формулу (6) відповідні C_i з рівняння (4) і π_i з рівняння (2), то можна визначити питомі витрати на одиницю календарного часу для силових трансформаторів ТМН, ТМГ і ТМ:

$$C_{ПИТ, TMH} = 68,5 \text{ грн / год};$$

$$C_{ПИТ, TMГ} = 39,4 \text{ грн / год};$$

$$C_{ПИТ, TM} = 39,1 \text{ грн / год}.$$

Далі здійсимо розрахунки питомих витрат на одиницю часу перебування силових трансформаторів у справному стані згідно з формулою

$$C_{1ПИТ} = \frac{\sum_{i=1}^7 C_i \cdot \pi_i}{\pi_1(T) \cdot \mu_1(T)} \quad (7)$$

Можна показати, що питомі витрати за одиницю часу перебування силових трансформаторів у працездатному стані дорівнюють:

$$C_{1ПИТ, TMH} = 70,1 \text{ грн / год};$$

$$C_{1ПИТ, TMГ} = 39,5 \text{ грн / год};$$

$$C_{1ПИТ, TM} = 39,1 \text{ грн / год}.$$

Для наочності розраховані вище характеристики розміщені у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики витрат і середні тривалості перебування напівмарковського процесу у станах моделі.

№ п/п	Характеристики		Тип силового трансформа- тора		
			ТМН	ТМГ	ТМ
1	Витрати на перебування та вихід зі станів C , грн.	C_1	36149	7980	7878
2		C_2	31651	31547	31547
3		C_3	31602	31537	31536
4		C_4	23175	20048	21032
5		C_5	4618	4004	4204
6		C_6	4618	4004	4204
7		C_7	36504	7980	8104
8	Середні тривалості перебування в станах напівмарковського процесу $\mu_{ср\text{ед}}$, год.	$\mu_{ср\text{ед}_1}$	989,4	998,5	972
9		$\mu_{ср\text{ед}_2}$	3,5	3	3
10		$\mu_{ср\text{ед}_3}$	9,2	1,7	1,7
11		$\mu_{ср\text{ед}_4}$	4,8	6	4
12		$\mu_{ср\text{ед}_5}$	0,5	0,5	0,5
13		$\mu_{ср\text{ед}_6}$	0,5	0,5	0,5
14		$\mu_{ср\text{ед}_7}$	999,3	998,6	999,9
15	Питомі витрати на одиницю календарного часу, $C_{\text{пит}}$, грн		68,5	39,4	39,1
16	Питомі витрати на одиницю часу перебування тран- сформатора у справному стані, $C_{\text{пит}}$, грн/год		70,1	39,5	39,1

За формулами (1) і (7) виконано розрахунки коефіцієнту технічного використання і питомих витрат на підтримання силових трансформаторів у справному стані для вихідних даних табл. 1 і змінних значеннях періодичності проведення профілактичних робіт. Результати розрахунків наведені на рис. 1-5, де по осі ординат зліва відкладені значення $K_{\text{те}}$, а праворуч питомі витрати на одиницю часу перебування силових трансформаторів у справному стані. По осі абсцис на рис. 1 відкладені значення періодичності проведення T профілактичних заходів, на рис. 2 – ймовірність правильного визначення профілактичних робіт $d_{\text{не}}$, на рис. 3 – тривалість відновлення трансформатора $t_{\text{в}}$, на рис. 4 – ймовірність надходження інформації про відмову ρ , на рис. 5 – тривалість проведення профілактичних робіт $t_{\text{пр}}$.

Усі розрахунки виконані при постійних значеннях параметрів, що вказані в табл. 1, крім тих, що змінюються по осі абсцис.

З рис. 1 видно, що для всіх типів силових трансформаторів існує оптимальний період проведення профілактичних робіт, при якому забезпечується максимальне значення $K_{\text{те}}$. При цьому спостерігається закономірність: що чим більше напруження на відмову, тим більшим є $K_{\text{те}}$ і рідше потрібно проводити роботи з технічного обслуговування. Так, наприклад, для трансформатора ТМН $T_{\text{опт}} \approx 600 \text{ год}$, для ТМГ $T_{\text{опт}} \approx 890 \text{ год}$, для ТМ $T_{\text{опт}} \approx 2190 \text{ год}$. Крім того, існує оптимальний період $T_{\text{опт}}$ при якому будуть мінімальні витрати на одну годину роботи трансформатора у справному стані.

Так для трансформатора ТМН $C_{\text{пит}} \approx 62 \text{ грн/год}$, для ТМГ $C_{\text{пит}} \approx 20 \text{ грн/год}$, для ТМ $C_{\text{пит}} \approx 18 \text{ грн/год}$.

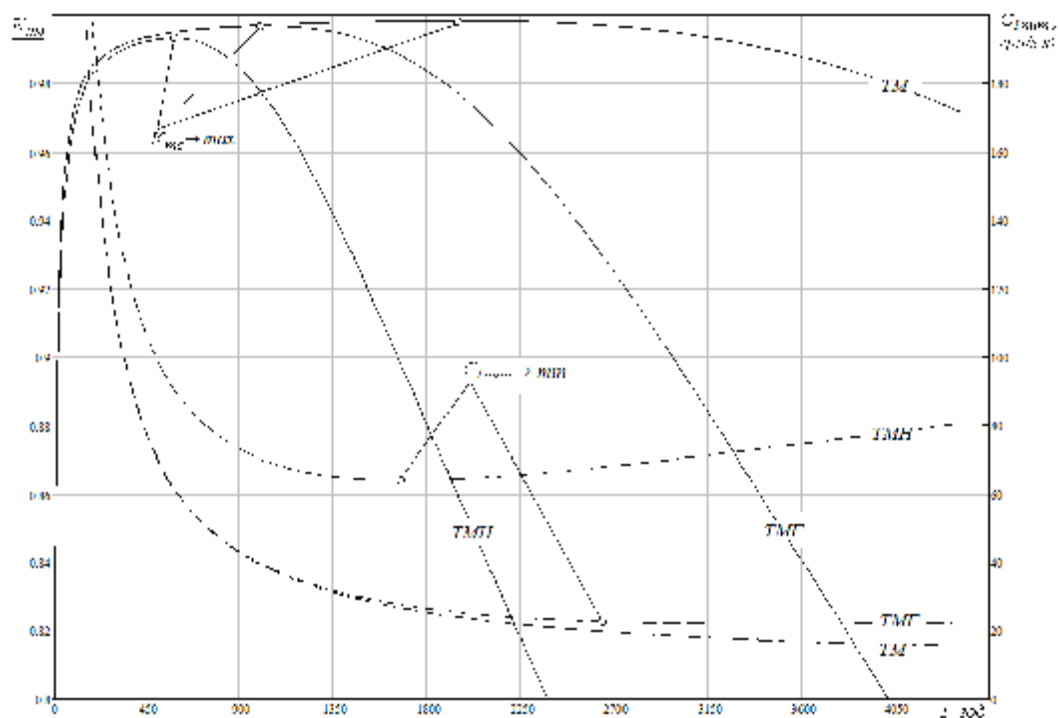


Рис. 1. Залежність коефіцієнта технічного використання K_{mv} та питомих витрат C_{1nut} на експлуатацію від періодичності проведення профілактичних робіт T

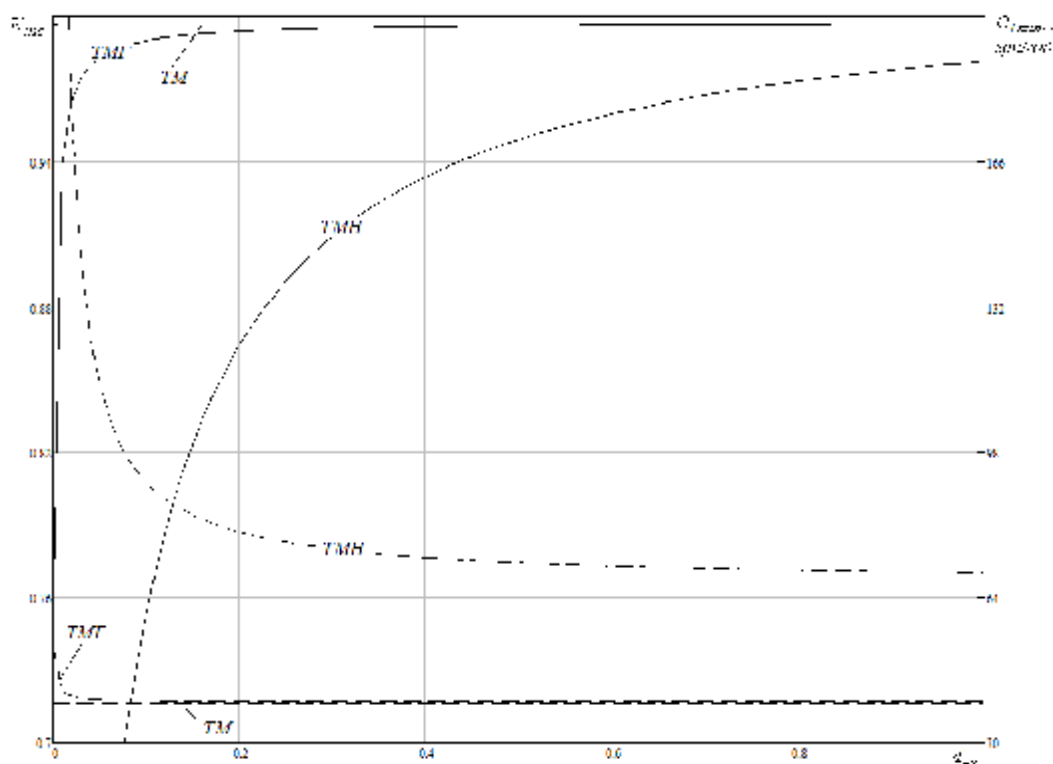


Рис. 2. Залежність K_{mv} та C_{1nut} від ймовірності правильного визначення несправного стану трансформаторів під час проведення профілактичних робіт d_{ne}

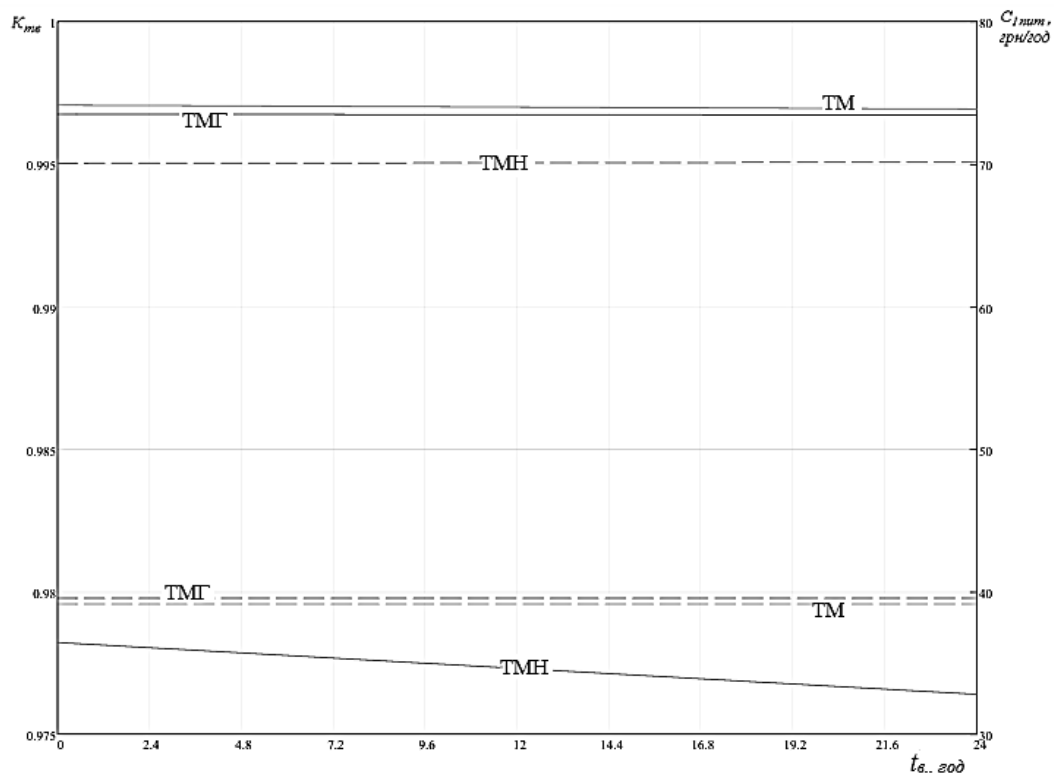


Рис. 3. Залежність K_{mt} та C_{lum} від тривалості відновлення силових трансформаторів $t_{с}$

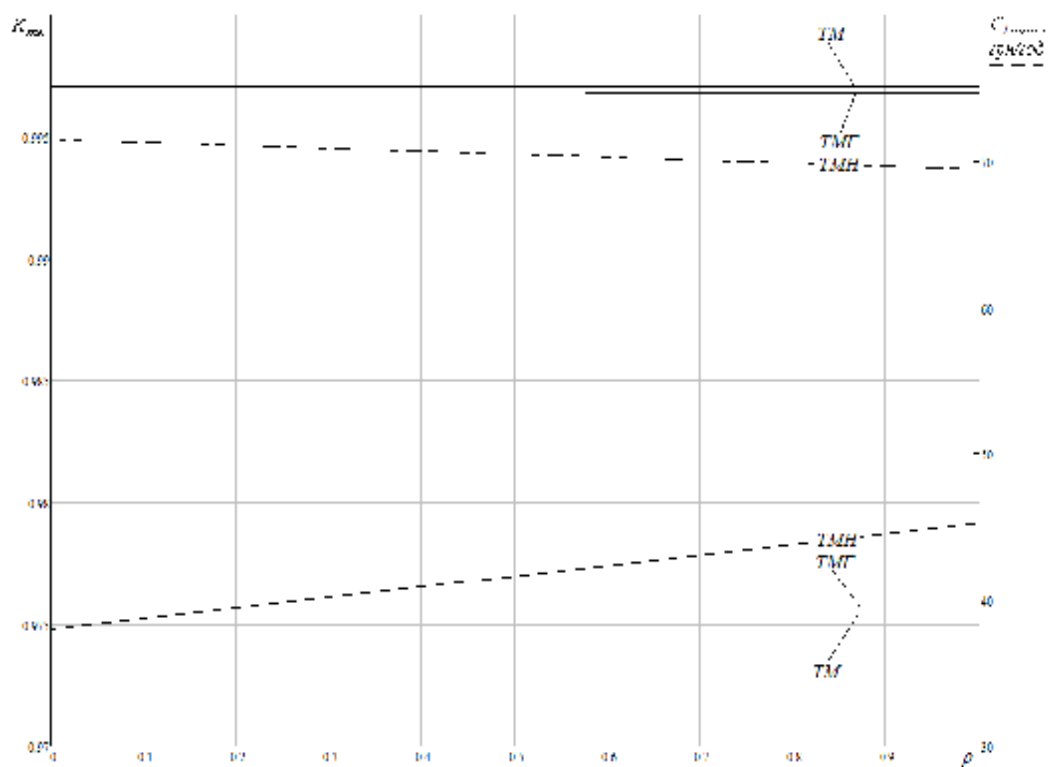


Рис. 4. Залежність K_{mt} та C_{lum} від ймовірності надходження інформації про відмову ρ

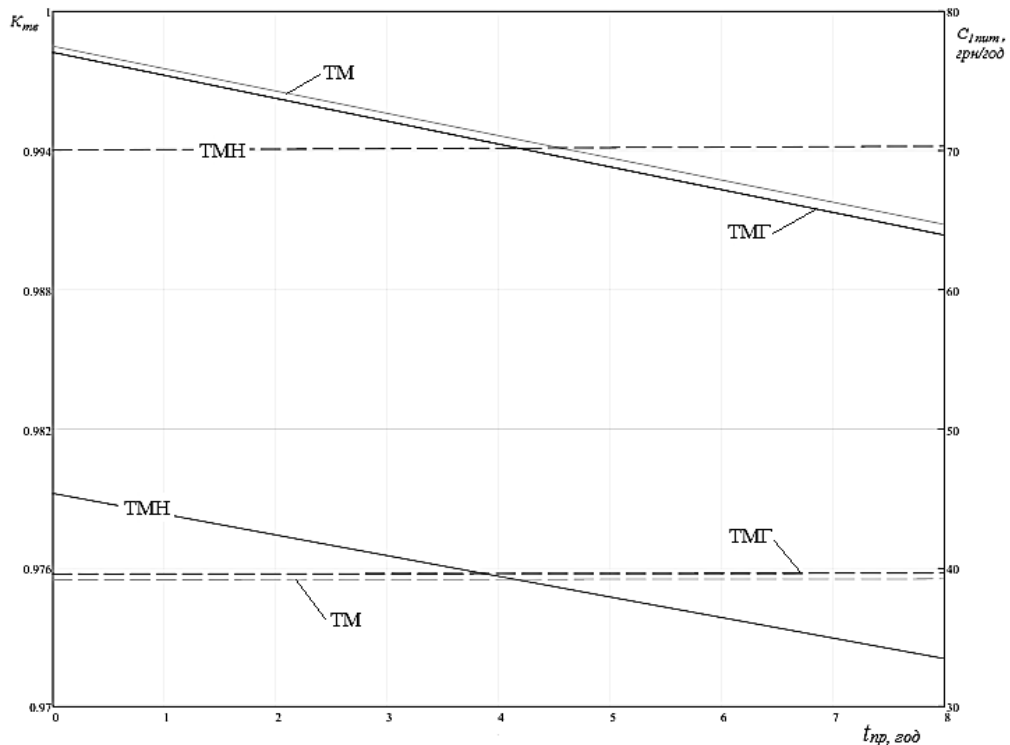


Рис. 5. Залежність K_{mt} та C_{1pit} від тривалості проведення профілактичних робіт t_{np} .

З рис. 2 видно, що зі збільшенням ймовірності d_{nc} правильного визначення несправного стану трансформатора під час проведення профілактичних робіт збільшується K_{mt} і тим більше, що менше рівень його надійності. Так, наприклад, для трансформатора ТМН така залежність є досить суттєвою. Для трансформатора ТМ і ТМГ збільшення ймовірності d_{nc} несуттєво впливає на його технічну готовність. Для трансформатора ТМН, який має найменший час напрацювання на відмову, існує оптимальне значення ймовірності d_{nc} , при якій будуть мінімальні витрати на одну годину роботи у справному стані. Такі витрати складають приблизно 60 грн/год. Для інших трансформаторів такого оптимума не існує.

З рис. 3 видно, що збільшення часу t_e на відновлення несправного трансформатора призводить до зменшення K_{mt} . Найбільш яскраво така залежність спостерігається для трансформатора ТМН, який має найменше напрацювання на відмову. Для більш надійних трансформаторів ТМ і ТМГ така залежність для умов таблиці 1 є несуттєвою.

Питомі витрати C_{1pit} на годину роботи у справному стані слабо залежать від збільшення t_e від 0 до 24 год. З рис. 4 видно, що збільшення ймовірності ρ надходження інформації про відмову призводить до збільшення K_{mt} і тим більше, що менше напрацювання трансформатора на відмову. Питомі витрати C_{1pit} від ρ залежать не суттєво.

З рис. 5 видно, що збільшення часу t_{np} на проведення профілактичних робіт призводить до зменшення K_{mt} і тим сильніше, що менше напрацювання трансформатора на відмову. Для трансформаторів ТМГ і ТМ така залежність є несуттєвою. Питомі витрати C_{1pit} від збільшення часу t_{np} від 0 до 8 год змінюються несуттєво.

Висновок. Отримані у роботі результати будуть використані під час експлуатації силових трансформаторів для обґрунтування параметрів, за яких досягаються найвищі показники технічної готовності з урахуванням вартості їх роботи у справному стані. Наведена у статті методика може бути застосована і для інших типів силових трансформаторів.

Список літератури

1. Державний стандарт України. ДСТУ 3433-96.
2. Мірненко В. І., Пустовий С. О., Яблонський П. М. Розрахунок показників надійності послідовно з'єднаних і резервованих елементів без відновлення для дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2015. № 1 (22). С. 83–89.
3. Герцбах И. Б. Модели профилактики. Москва: Сов. радио, 1969. 216 с.
4. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных аппаратов. Москва: Высшая школа, 1981. 368 с.
5. Петренко А. М. Дифузійно-немонотонний розподіл часу безвідмовної роботи як найбільш адекватний закон для електричних установок. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 2. С. 77–83.
6. Мірненко В. І., Пустовий С. О., Яблонський П. М., Авраменко О. В. Порівняння ефективності технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, що експлуатуються за технічним станом, для моделей дифузійно-монотонного і дифузійно-немонотонного розподілів відмов. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2015. № 2 (23). С. 88–93.
7. Мірненко В. І., Пустовий С. О., Яблонський П. М., Целищев Ю. П. Розрахунок надійності послідовно з'єднаних і резервованих елементів без відновлення для дифузійно-монотонного розподілу їх відмов. *Japanese Educational and Scientific Review*. 2015. № 1 (9). С. 745–754.
8. Мірненко В. І., Пустовий С. О., Яблонський П. М., Диптан В. П.. Вплив параметрів експлуатації на ефективність зберігання механічних виробів для дифузійно-монотонного закону розподілу їх відмов. *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*. 2015. № 1 (7). С. 531–538.

References

1. Derzhavnyy standart Ukrayiny. DSTU 3433-96 [in Ukrainian].
2. Mirnenko, V. I., Pustovyi, S. O., Jablonskyi, P. M. (2015) The reliability measures computation of the series connected and reserved elements without recovery for diffusion-nonmonotonic distribution of their failures. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, No. 1 (22), pp. 83–89 [in Ukrainian].
3. Hertsbakh, I. B. (1969) Modeli profilaktiki. Moscow: Sov. radio, 216 p. [in Russian].
4. Volkov, L. I. (1981) Upravleniye ekspluatatsiyey letatel'nykh apparatov. Moscow: Vysshaya shkola, 368 p. [in Russian].
5. Petrenko, A. M. (2013) Dyfuziyno-nemonotonnyy rozpodil chasu bezvidmovnoyi roboty yak naybil'sh adekvatnyy zakon dlya elektrychnykh ustanovok. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 77–83 [in Ukrainian].
6. Mirnenko, V. I., Pustovyi, S. O., Jablonskyi, P. M., Avramenko, O. V. (2015) Comparison of aerotechnics devise maintenance efficiency which are exploited with the technical condition for diffusion-monotonic and diffusion-nonmonotonic failure distribution models, *Suchasni informatsiyni tehnologiyi u sferi bezpeky ta oborony*, No. 2 (23), pp. 88–93 [in Ukrainian].
7. Mirnenko, V. I., Pustovyi, S. O., Jablonskyi, P. M., Tselyshcheyev, Yu. P. (2015) Rozrakhunok nadiynosti poslidovno z'yednanykh i rezervovanykh elementiv bez vidnovlennya dlya dyfuziyno-monotonnoho rozpodilu yikh vidmov. *Japanese Educational and Scientific Review*, No. 1 (9), pp. 745–754 [in Ukrainian].
8. Mirnenko, V. I., Pustovyi, S. O., Jablonskyi, P. M., Dyptan, V. P. (2015) Vplyv parametriv ekspluatatsiyi na efektyvnist' zberihannya mekhanichnykh vyrobiv dlya dyfuziyno-monotonnoho zakonu rozpodilu yikh vidmov, *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*, No. 1 (7), pp. 531–538 [in Ukrainian].

V. I. Mirnenko¹, *Dr.Tech.Sc., professor,*
e-mail: mirnenkovi@gmail.com

P. M. Yablonskyi¹, *Ph.D., associate professor,*

A. M. Petrenko², *senior lecturer*

e-mail: petrenko1969@ukr.net

¹National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky,
Povitroflotsky ave., 28, Kyiv, 03049, Ukraine

²Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

FEASIBILITY OPERATING EFFICIENCY OF POWER TRANSFORMERS OF TMN, TMG AND TM TYPES

In this article the methodology of evaluation of technical and economic efficiency of operation of power transformers using diffusion-nonmonotonic of the distribution of refusals based errors of the first and second kind is presented. For standard operating conditions the graphs of the coefficient of technical use and specific expenditures per hour of transformers in good condition on the basic parameters of the mathematical model are shown.

Keywords: *diffusion-nonmonotonic distribution, technical use coefficient, specific expenditures, the frequency of maintenance work.*

Статтю представляє В. І. Мірненко, д.т.н., професор.

ОФОРМЛЕННЯ ЛІТЕРАТУРИ ДО НАУКОВОЇ СТАТТІ (не менше 10 джерел)

Література: список використаної літератури мовою оригіналу, оформлений за вимогами ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання», подається наприкінці статті.

References: назви книг, статей перекладаються із зазначенням мови оригіналу. Назви журналів, конференцій тощо транслітеруються.

Оформлення посилань: у квадратних дужках вказується номер за списком джерела та, через кому, номери сторінок праці, на яку посилаються. Наприклад, [5, с. 88].

ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ СПИСКУ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

Список літератури

1. Дубовий В. М., Дерман Г. Ю., Пилипенко І. В., Байас М. М. Прийняття рішень в управлінні розгалуженими технологічними процесами. Вінниця: ВНТУ, 2013. 223 с.
2. Тимченко А. А. Системний підхід до синтезу нових законів керування. *Автоматика-2013*: матеріали XX Міжнар. конф. з автоматичного керування. Миколаїв: НУК, 2013. С. 284–285.
3. Палагин В. В., Лелеко С. А. Использование моментного критерия качества проверки статистических гипотез типа Неймана-Пирсона для построения решающих правил. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2008. № 1. С. 72–77.
4. Рудницький В. М., Миронець І. В., Бабенко В. Г. Систематизація повної множини логічних функцій для криптографічного перетворення інформації. *Системи обробки інформації*: зб. наук. праць. Вип. 8 (98). Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2011. С. 184–188.
5. Шарапов В. М., Базіло К. В., Савін В. Г. та ін. Патент на корисну модель 67638 Україна, МПК H04R 17/00. Електроакустичний перетворювач. № u201112590; заяв. 27.10.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.
6. Гальченко В. Я., Куницька Л. Г., Кісіль Т. Ю. Підвищення ефективності роботи ультразвукового небулайзера за допомогою концентрації акустичної енергії. DOI:
7. Фірсова А. А. Вплив забрудненої атмосфери на здоров'я людини. URL: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf> (дата звернення 19.05.2017).
8. Kulikov V. A., Sannikov D. V., Vavilov V. P. The use of acoustic method of free oscillations for diagnostics of reinforced concrete foundations of contact networks. *Defektoskopiya*. 1998. No. 7. P. 40–49.

References

1. Van Trees, H. L., Bell, K. L., TiTany, Z. (2013) Detection estimation and modulation theory. 2nd ed. Part I. Detection, estimation, and filtering theory, John Wiley & Sons, 279 p.
2. Senik, N. A. Simulation and calculation of electroelastic fields of piezoceramic shells and plates. URL: <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-raschet-elektroprugikh-polei-pezoeramicheskikh-obolochek-i-plastin> (дата звернення 19.05.2017).
3. Kulikov, V. A., Sannikov, D. V., Vavilov, V. P. (1998) The use of acoustic method of free oscillations for diagnostics of reinforced concrete foundations of contact networks. *Defektoskopiya*, (7), pp. 40–49 [in Ukrainian].
4. Epimakhov, V. N., Pankina, E. B., Oleinik, M. S. (2005) The study of the possibility of using Cambrian clay for reprocessing and burying radioactive wastes, in: *the 3rd Interdisciplinary Sci.-Tech. Conf. on the Problems and Prospects for Development of Chemical and Radiochemical Monitoring in Atomic Energy (Atomenergoanalitika-2005)*, Sosnovyi Bor, pp. 134–137 [in Russian].

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ
2 • 2017

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY
2 • 2017

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS
of Cherkasy State
Technological University

SERIES: ENGINEERING SCIENCES
2 • 2017

Статті друкуються в авторській редакції.

*За точність посилань та достовірність фактичного матеріалу
відповідальність несуть автори. Редакція може не поділяти погляди авторів.
Матеріали друкуються з максимальним збереженням авторської стилістики
та орфографії.*

*Технічний редактор Давиденко К. В.
Комп'ютерна обробка Вознюк Т. І.*

Видавець – Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
Виготівник – ФОП ГОРДІСНКО Є.І. (067) 444-28-94.

Формат 60x84 1/8. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 14,9. Обл.-вид. арк. 16,1. Наклад 100 прим. Зам. № 17-084.