

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія : Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

2/2016

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)

☐ КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ
І КОМПОНЕНТИ,
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

☐ МАТЕМАТИЧНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ
ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

☐ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
І АВТОМАТИКА

☐ МАШИНОБУДУВАННЯ

☐ ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
І ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Електронна версія: vtn.chdtu.edu.ua

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

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

ЗАСНОВНИК –
Черкаський державний
технологічний університет

2 • 2016

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

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

ISSN 2306-4455

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

Друкується за рішенням
Вченої ради Черкаського
державного технологічного
університету, протокол № 1
від 29.08.2016 р.

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, 2016

ЗМІСТ

<i>Первунінський С. М., Метелан В. В.</i> Випадкові модульовані процеси та їх використання у бінарних модемах з шумовими сигналами.....	5
<i>Петрищев О. Н., Базило К. В.</i> Математическая модель дискового пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи	14
<i>Тарандушка Л. А., Павлик М. Л.</i> Розрахунок паливної економічності легкових автомобілів з різними енергетичними установками.....	28
<i>Фауре Э. В.</i> Факториальное кодирование с восстановлением данных	33
<i>Нагурна Н. А., Паранько Н. Г., Осипенкова І. І., Чепурна О. Л.</i> Дослідження фільтраційних властивостей кліноптилоліту	40
<i>Демченко В. Л., Юрженко М. В., Унрод В. І.</i> Структурна організація та термомеханічні властивості зварних з'єднань різнотипних поліетиленів ПЕ-80/ПЕ-100, сформованих під дією сильного постійного магнітного поля.....	45
<i>Розломій І. О., Косенюк Г. В.</i> Основні механізми захисту електронних документів від фальсифікацій	53
<i>Манько В. М., Зотов В. М.</i> Дослідження та аналіз процесів виникнення дефектів висипної обмотки електричних машин поліграфічних комплексів.....	59
<i>Гайдаєнко О. В.</i> Аналіз статистично нестійких проектних показників.....	65
<i>Новохацька Д. В.</i> Особливості та проблеми реалізації ІТ-проектів в Україні.....	72
<i>Єгорченкова Н. Ю., Єгорченков О. В., Частоколенко І. П.</i> Особливості проектного управління на приладобудівному підприємстві	78
<i>Осипенко В. І., Плахотний О. П., Тімченко О. В.</i> Оцінка адекватності критеріїв локалізації процесу анодного розчинення при використанні циліндричних дротяних електродів.....	84
<i>Саух В. М., Оксамитна Л. П., Андрієнко В. О.</i> Інформаційно-освітнє середовище технічного університету та інструментальні засоби і технології реалізації	92
<i>Миронюк Т. В.</i> Визначення елементарних операцій базової групи перестановок, керованих інформацією	100
До 20-річчя заснування «Вісника ЧІТІ – ЧДТУ»	
Галина Миколаївна Дубровська та її наукова школа	106

CONTENTS

Pervunins'kyi S. M., Metelap V. V. Random modulated processes and their use in binary modems with noise signals	5
Petrishchev O. N., Bazilo K. V. Mathematical model of disk piezoelectric transformer with ring electrode in primary electrical circuit.....	14
Tarandushka L. A., Pavlic M. L. Fuel economy calculation for cars with different power plants	28
Faure E. V. Factorial coding with data recovery	33
Nagurna N. A., Paran'ko N. G., Osypenkova I. I., Chepurna O. L. Research of filtration properties of clinoptilolite.....	40
Demchenko V. L., Iurzhenko M. V., Unrod V. I. Structural organization and thermomechanical properties of welded joints of different types of polyethylene PE-80/PE-100 formed under effect of a strong constant magnetic field	45
Rozlomii I. O., Kosenuk G. V. The main properties of electronic document protection from falsifications	53
Manko V. M., Zotov V. M. The study and analysis of processes of winding defects precipitation in electric machines of printing complexes	59
Haydayenko O. V. The analysis of statistically unstable project performance	65
Novohatska D. V. Features and problems of IT projects in Ukraine.....	72
Yehorchenkova N. Yu., Yehorchenkov O. V., Chastokolenko I. P. Project management particular qualities at instrument-making enterprise.....	78
Osipenko V. I., Plakhotnyi O. P., Timchenko O. V. Evaluation criteria adequacy of process localization of anodic dissolution using wire cylindrical electrodes	84
Saukh V. M., Oksamytna L. P., Andriienko V. O. Information-educational environment of technical university, tools and technologies of realization	92
Myronyuk T. V. Definition of elementary operations of core group permutations, controlled by information.....	100

TO THE 20TH ANNIVERSARY OF «VISNYK CHITI – CHDTU» FOUNDATION

Halyna Mykolayivna Dubrovs'ka and her scientific school	106
---	-----

С. М. Первунінський, д.т.н., професор,

e-mail: cherkpervun@rambler.ru

В. В. Метелан, асистент

e-mail: chdtusciencemvv@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет,

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

ВИПАДКОВІ МОДУЛЬОВАНІ ПРОЦЕСИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У БІНАРНИХ МОДЕМАХ З ШУМОВИМИ СИГНАЛАМИ

Розвиток сучасного інформаційного суспільства потребує розробки та впровадження все більш нових інформаційно-комунікаційних технологій, все більш продуктивних систем обробки і передачі інформації. Різноманіття технологій інформаційного обміну – дротових високошвидкісних Ethernet, бездротових мобільних мережевих технологій – вимагає використання різного термінального обладнання і застосування нових методів аналізу, синтезу та ідентифікації сигналів. Перспективними в цьому плані є статистичні методи досліджень, що нерозривно пов'язані із забезпеченням точності, завадостійкості та надійності систем передачі інформації. Однак є цілий ряд невирішених завдань статистичних досліджень, які є спільними для інформаційних систем різних класів і призначень. Завданням розробки методів аналізу і синтезу модемів з шумовими модульованими процесами і присвячено цю статтю.

Ключові слова: шумові сигнали, бінарні модеми, випадкові процеси.

Вступ. В наш час важливим є питання розробки нових та вдосконалення існуючих телекомунікаційних систем зв'язку, що використовують для передачі інформаційних повідомлень модульовані випадкові процеси. Це пов'язано із рядом особливостей цього класу систем:

- висока завадостійкість роботи в умовах дії завад природного та штучного типів;
- висока потайливість, і, як наслідок, захищеність каналу передачі даних;
- можливість повторного використання радіочастотного діапазону;
- відносно прості алгоритми обробки сигналів.

Одночасно застосування сигналів складної форми дає можливість знайти ще одне вирішення важливої проблеми сучасних телекомунікаційних систем – захисту переданої інформації від несанкціонованого доступу (стеганографічність системи) на фізичному рівні інформаційного каналу.

Аналіз. Ідеї використання шумових сигналів як носія інформації при передачі даних набула подальшого розвитку в теоретичних і практичних розробках, особливо нині, коли в модемах телекомунікаційних систем широко використовують цифрові методи обробки.

Найбільшого поширення отримали розробки автокореляційних систем передачі ци-

фрової інформації з використанням широко-смугових шумових сигналів. Перші матеріали по таких системах надані в роботах F. Lange та W. Müller (1963 р.). Автокореляційна система телеграфного зв'язку Ланге-Мюллера базувалась на передачі опорного сигналу випадкової форми (шумового сигналу) та принципах кореляційно-часової модуляції. А. А. Воронін (1966 р.) вперше запропонував використовувати інверсію шумового сигналу в автокореляційній системі зв'язку з передачею опорного сигналу.

Значні результати в цьому напрямку досліджень досягнуті співробітниками Черкаського державного технологічного університету (ЧДТУ) [6–16]. В подальшому зробимо короткий огляд цих результатів, що відносяться до автокореляційних цифрових модемів з шумовими сигналами.

Мета роботи – аналіз можливих методів модуляції випадкових процесів та основні технічні характеристики створених на їх базі модемів інформаційно-комунікаційних систем.

Основний матеріал. Спочатку уточнимо, в якому сенсі використовується термін «випадковий процес». В математичному сенсі під випадковим процесом розуміється сукупність випадкових величин $X = \xi(t)_{t \in T}$, що

існують на часовому інтервалі $T = (-\infty, \infty)$. Якщо $T = (0, 1, 2, \dots)$, тоді $X = (\xi_0, \xi_1, \xi_2, \dots)$ називається випадковим процесом з дискретним часом, або випадковою послідовністю.

Для використання випадкових процесів як переносників інформації, що представлена аналоговими сигналами чи в цифровому вигляді (даними), слід скористатися більш конкретним уявленням про параметри носія. Такими параметрами можуть бути усереднена на деякому часовому інтервалі T послідовність моментних функцій або початкових моментів випадкового процесу. Саме зміна (модуляція) значень одного чи декількох із цих параметрів генератора випадкового процесу на боці передавача відповідно до величини інформаційного сигналу дає можливість виконати зворотну процедуру демодуляції переданої інформації на боці приймача.

Випадковість величин $\xi(t)|_{t \in T}$, що отримують від генератора випадкового процесу, і відсутність еталонів цих значень на боці приймача інформації роблять неможливим застосування когерентних методів вилучення інформації в демодуляторі. Тому основними системами з носіями на базі випадкових процесів, що мають практичне впровадження, є некогерентні методи обробки [1–5]. Саме на особливостях використання некогерентних типів демодуляторів випадкового носія інформації і буде зосереджена увага в цій роботі.

Як несуча у вигляді випадкового процесу можуть використовуватись різні сигнали. Як переносник може застосовуватися будь-який тривалий процес, обумовлений тими чи іншими параметрами, що можуть змінюватися в результаті модуляції. Залежно від характеристик промодульованої несучої визначається і алгоритм обробки сигналу в демодуляторі та його структура. Тому в подальшому зупинимось на розгляді систем, що побудовані на випадкових процесах шумового типу, а модульований інформаційним сигналом випадковий процес будемо називати шумовим. Як основний шумовий процес будемо розуміти так званий «білий» гауссовий шум типу $N[0, \sigma^2]$, де σ^2 – дисперсія шуму, значення 0 позначає центрованість шуму. Звичайно смуга частот, в якій зосереджена шумова несуча, обмежена смугою виділеного для передачі каналу. Таке фізичне обмеження на спектр шуму обмежує і величину його потужності σ^2 .

Аналіз можливостей систем з шумовими сигналами вперше наведений у роботі академіка А. А. Харкевича [1]. В цій роботі описано принципи побудови систем зв'язку, що використовують найпростіші методи модуляції окремих параметрів шуму. Одна з них побудована на принципах систем з амплітудною модуляцією, коли змінюється дисперсія шуму залежно від інформації, що передається. Це система з амплітудно-шумовою модуляцією (АШМ).

Інші види модуляції можна одержати, модулюючи ті чи інші параметри, що визначають вид спектра потужності $G(\omega)$ шуму, який визначається через його функцію кореляції $B(\tau)$ відомим співвідношенням

$$G(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} B(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (1)$$

Якщо переносник обраний як білий шум у смузі частот від ω_1 до ω_2 , тоді

$$G(\omega) = \begin{cases} G_0, & \omega_1 < \omega < \omega_2 \\ 0, & \text{поза вказаної смуги.} \end{cases} \quad (2)$$

У цьому випадку параметрами передавача є граничні частоти ω_1 і ω_2 , і модуляція може полягати в зміні кожного з цих параметрів. Якщо ж змінювати одночасно ω_1 і ω_2 , але так, щоб різниця $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ залишалася постійною, то модуляція буде характеризуватися тим, що спектр шуму, не змінюючи своєї форми, буде переміщатися по смузі частот, разом за змінами переданого повідомлення. Це буде частотно-шумовою модуляцією (ЧШМ).

Серед особливостей систем з шумовою модуляцією заслуговує на увагу їх стійкість стосовно завмирання сигналів. Мається на увазі загальне завмирання інтерференційного походження, обумовлене багатопроменевим поширенням сигналів. Це впливає з аналізу такого прикладу [1].

Розглянемо для спрощення схематизований випадок об'єднання двох гармонійних променів однакової частоти ω_0 з часовим зсувом τ , інтенсивність обох променів будемо вважати однаковою. При додаванні двох синусоїдних коливань потужністю P_0 кожне будемо мати для потужності результуючого коливання потужність

$$P = 2P_0(1 + \cos \omega_0 \tau), \quad (3)$$

тобто при $\omega_0 \tau = (2n+1)\pi$ результуюча потужність дорівнює нулю. При додаванні ж двох центрованих шумових процесів типу білого шуму, зсунутих за часом на τ , маємо потужність

$$\begin{aligned} P &= M[\xi(t) + \xi(t + \tau)]^2 = M[\xi^2(t)] + \\ &+ M[\xi^2(t + \tau)] + 2M[\xi(t)\xi(t + \tau)] = \\ &= 2B(0) + 2B(\tau) = 2P_0[1 + b(\tau)], \end{aligned} \quad (4)$$

де $M[x]$ – операція обчислення математичного сподівання від x ;

$b(\tau)$ – нормована функція автокореляції.

З виразу (4) випливає, що чим менша кореляція, тим менше шумовий сигнал піддається завмиранню. Аналізуючи значення потужності з (4), можна показати, що при використанні шумового носія зі смугою, більшою 16 кГц, потужність сумарного шумового сигналу при двопробневому прийомі під впливом завмирання буде зменшуватись не більш ніж на 10% (а середньоквадратичне значення напруги – не більш ніж на 5,14%). Відзначена стійкість шумових сигналів до змінних параметрів каналу приваблює розробників таких систем.

Фазова модуляція шумових сигналів (ФШМ) в [1] не обговорювалась, хоча виконати фазову маніпуляцію шуму на величину, що дорівнює значенню π , достатньо просто. Для цього слід скористатися операцією інвертування (зміни знака) реалізації шумового процесу, що приведе до обертання напрямку всіх спектральних компонент реалізації на зворотний. Саме цей спосіб систем з ФШМ і набув у подальшому широкого застосування при побудові модулаторів дискретних бінарних повідомлень.

Принципи побудови автокореляційних модемів з шумовими сигналами. Як базову розглянемо бінарну дискретну систему, запропоновану Ланге та Мюллером [3], структурна схема модулатора модема якої зображена на рис. 1. Назвемо умовно таку систему 1-м типом. Модулятор цієї системи формує на тактовому інтервалі T з шумового процесу $\xi(t)$, що отриманий від генератора шуму, сигнал

$$\begin{aligned} y(t) &= \xi(t) + \xi(t - \alpha), \\ \alpha &= \begin{cases} \tau_1, & \lambda = 0 \\ \tau_2, & \lambda = 1. \end{cases}, \quad t = \overline{0, T}. \end{aligned} \quad (5)$$

На рисунку використані такі позначення: Γ – генератор шуму, λ – бінарне інформаційне повідомлення, τ_1 і τ_2 – лінії затримки відповідно на час τ_1 і τ_2 , K – комутатор.

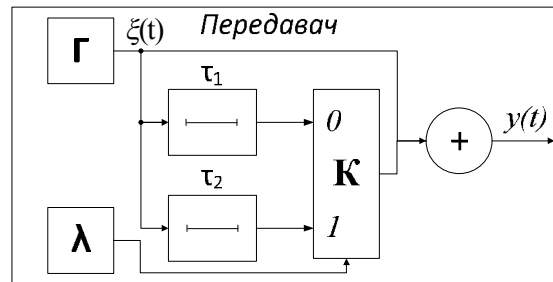


Рис. 1. Структурна схема модулатора модема 1-го типу

В момент початку кожного тактового інтервалу T комутатор K перемикається в положення 0 або 1 відповідно до значення нового поточного біта інформаційного повідомлення λ і залишається у фіксованому положенні протягом наступного інтервалу часу T .

З метою зменшення впливу власних системних завад А. А. Вороніним запропоновано модулятор з фазовою маніпуляцією шумових сигналів, структурна схема якого зображена на рис. 2 (система 2-го типу).

Відмінність полягає в тому, що лінія затримки в кодувальному пристрої лише одна, натомість наявний пристрій обертання фази (інвертор), позначений на рисунку ΦO . В результаті на виході маємо сигнал

$$\begin{aligned} y(t) &= \xi(t) + \alpha \xi(t - \tau_1), \\ \alpha &= \begin{cases} 1, & \lambda = 0 \\ -1, & \lambda = 1. \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

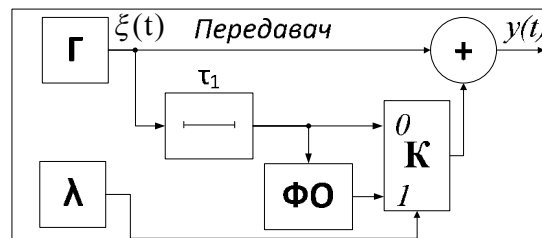


Рис. 2. Схема модулатора модема 2-го типу

В пошуках шляхів підвищення завадостійкості систем з шумовими сигналами в ЧДТУ запатентовано нові схеми модемів і виконано порівняння показників їх завадостійкості між собою та з відповідними показниками традиційних систем типу 1 і 2.

На рис. 3 зображено схему кодувально-го пристрою передавача 3-го типу, в якому виконано об'єднання схем модемів 1-го та 2-го типів. В результаті на виході модулятора маємо сигнал

$$y(t) = \xi(t) + \alpha \xi(t - \tau),$$

$$\alpha = \begin{cases} 1, & \lambda_{i,j} = \{00, 10\} \\ -1, & \lambda_{i,j} \neq \{00, 10\} \end{cases}; \quad (7)$$

$$\tau = \begin{cases} \tau_1, & \lambda_{i,j} = \{00, 01\} \\ \tau_2, & \lambda_{i,j} \neq \{00, 01\}. \end{cases}$$

Це дозволяє за один символний інтервал передавати два біти інформаційного повідомлення. Тому при збереженні швидкості передачі даних (при відповідному значенні інтервалу T) маємо можливість вдвічі збільшити символний інтервал.

Наступні дві схеми характеризуються відсутністю суматора. В них сигнали з виходів ліній затримки та пристроїв обертання фази не додаються до основного каналу з шумом $\xi(t)$, а в певні періоди часу заміщують його у вихідному сигналі $y(t)$.

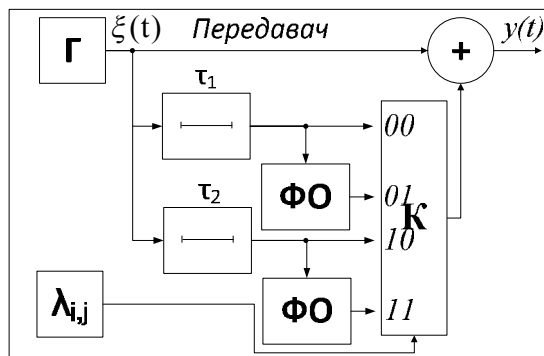


Рис. 3. Схема модулятора модема 3-го типу

Такий підхід дещо зменшує захищеність інформації в каналі зв'язку від несанкціонованого доступу, однак при цьому вплив власних шумів системи зводиться практично до нуля, як результат – очікується підвищення завадостійкості.

Схема модулятора модема 4-го типу (рис. 4) є модифікацією 1-го типу.

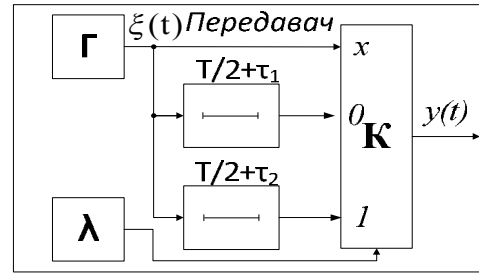


Рис. 4. Схема модулятора модема 4-го типу

Принцип його роботи наступний: протягом першої частини символного інтервалу комутатор знаходиться в положенні X , і на вихід схеми надходить сигнал $\xi(t)$ з генератора G ; залежно від поточного значення $\lambda = \{0; 1\}$, в момент часу $T/2$ на проміжок часу $T/2$ комутатор перемикається в положення 0 або 1. В результаті на виході маємо сигнал

$$y(t) = \xi(t) + \alpha \xi(t - T/2 - \tau_i),$$

$$\alpha = \begin{cases} 1, & \lambda = 0 \\ -1, & \lambda = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Схема 5-го типу (рис. 5) відрізняється тим, що друга лінія затримки з рис. 4 замінена пристроєм обертання фази.

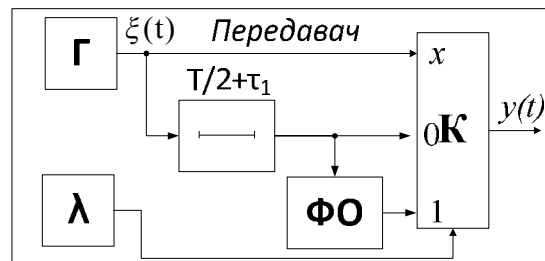


Рис. 5. Схема модулятора модема 5-го типу

В результаті роботи описаних вище пристроїв отримуємо сигнал, що має додатковий пік кореляційної функції наприкінці тактового інтервалу, місце та знак якого є інформаційним параметром, оцінку якого і робить демодулятор.

Моделювання модемів з шумовими сигналами в каналі зі сталими параметрами. В каналі зв'язку сигнал $y(t)$ зазнає шкідливого впливу завад $n(t)$. Таким чином, на вході приймача спостерігаємо сигнал, що є адитивною сумішшю корисного сигналу і завади

$$z(t) = y(t) + n(t).$$

Автокореляційний прийом сигналів передбачає обробку в демодуляторі прийнятої суми корисного сигналу і завади за допомогою автокорелятора, структурна схема якого (рис. 6) включає перемножувач, лінію затримки (ЛЗ) та інтегратор.

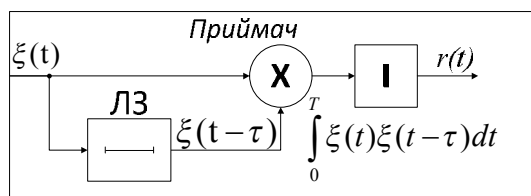


Рис. 6. Блок-схема автокорелятора

На вхід корелятора в схемі демодулятора модема надходить добуток сигналів $z(t)$ і $z(t - \tau)$, що надходять на перемножувач безпосередньо і через лінію затримки на час τ . Для отримання найбільш точної оцінки $\hat{\lambda}$ інформаційного повідомлення λ з вхідного сигналу потрібна відповідна побудова демодулятора на приймальній стороні.

На рис. 7, а зображено схему демодулятора для модемів систем типу 1, 3, 4, а на рис. 7, б – для систем типу 2 і 5.

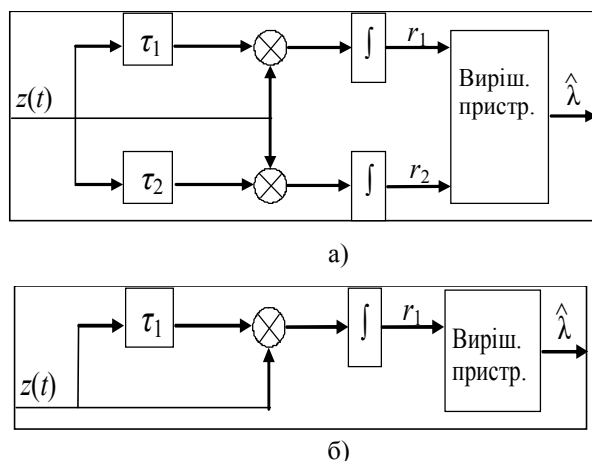


Рис. 7. Структурні схеми демодуляторів:

а) модеми 1, 3 та 4-го типу,

б) модеми 2 та 5-го типу

На рисунках $r_1 = r(\tau_1)$, $r_2 = r(\tau_2)$. Слід відзначити, що для модемів типів 1, 2 і 3 кореляційна функція $r(\tau)$ обчислюється інтегруванням по часу в межах від 0 до T . Модем типу 3 має таку особливість: для неї T вибирається вдвічі більшим, ніж для модемів типу 1 і 2. Для модемів типу 4 і 5 нижня межа інтегралу – $T/2$. Отже, час інтегрування для двох

останніх типів модемів є меншим порівняно з аналогами типу 1 і 2, але вони мають простішу апаратну побудову.

Обчислені кореляторами числові значення r_1 та r_2 (або лише r_1) надходять до розв'язувального пристрою. Блок-схеми таких алгоритмів зображені на рис. 8.

Проаналізуємо завадостійкість описаних вище модемів з метою відбору оптимального за співвідношенням складності структури та її завадостійкості. Оскільки отримати аналітичні співвідношення, що вирішували б цю задачу, досить складно, застосуємо методи математичного моделювання та обчислювального експерименту.

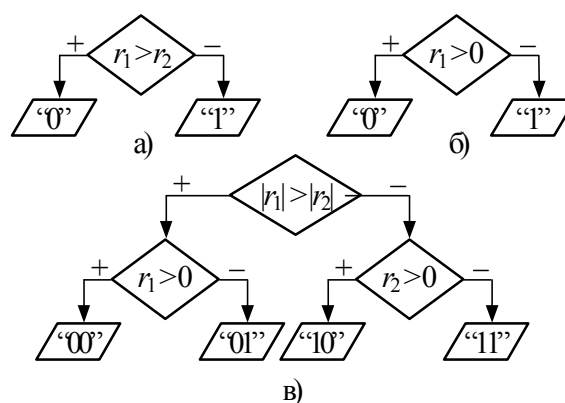


Рис. 8. Блок-схеми алгоритмів роботи розв'язувальних пристроїв: а) модеми 1 і 4-го типу, б) модеми 2 і 5-го типу, в) модем 3-го типу

Методика досліджень. Як математичну модель інформаційного повідомлення λ використовуємо випадкову величину з розподілом бінарної альтернативи

$$f_{\lambda}(x) = 0,5 \cdot \delta(x) + 0,5 \cdot \delta(1 - x),$$

де $\delta(x)$ – дельта-функція Дірака.

В результаті генерації (реалізації) цієї випадкової величини отримаємо послідовність $m = 10^5$ чисел, в якій приблизно однакова кількість нулів і одиниць

$$\lambda_i = \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Як математичну модель виходу $x(t)$ генератора «Г» оберемо стаціонарний гауссовий випадковий процес (гауссовий білий шум). Щільність розподілу одновимірного часового перерізу такого процесу має опис

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D}} e^{-\frac{x^2}{2D}},$$

де D – дисперсія шуму.

Кореляційна функція цього процесу є

$$R(\tau) = D \cdot \delta(\tau).$$

В подальшому визначимо дисперсію шуму для генератора $D = 1$.

Будемо користуватися цифровими реалізаціями процесу у вигляді послідовності чисел на інтервалі T .

Встановимо, що символний інтервал T (час, необхідний для передачі одного символу інформаційної послідовності λ) відповідає $k = 50$ відлікам тактового генератора. Тоді мінімальний необхідний об'єм послідовності x_j визначиться з розрахунку $M = k \cdot m = 5 \cdot 10^6$ (за умов, що часові затримки τ_1 і τ_2 не перевищують T). Отже, отримаємо нормально розподілену послідовність з незалежними відліками, що моделює роботу генератора «Г», ξ_j , $j = 1, M$.

Шумовий сигнал генератора $\xi(t)$, представлений у моделі послідовністю ξ_j , разом з керуючим інформаційним повідомленням λ (в моделі – послідовність λ_i) надходить до модулятора.

Моделюючи завади $n(t)$ отримаємо аналогічно до моделі процесу $\xi(t)$ з тією особливістю, що дисперсію D_n виберемо з умов забезпечення необхідного значення перевищення сигнал/шум $h^2 = \frac{D_y k}{2D_n}$ [9]. Для модуляторів з суматором (тип 1–3) $D_y = D_\xi + D_\xi = 2$, а

$D_n = \frac{D_y k}{2h^2} = \frac{k}{h^2}$. Для модуляторів без суматора (тип 4 і 5) маємо $D_y = D_\xi = 1$, отже $D_n = \frac{k}{h^2}$.

Розробивши програму алгоритмічної моделі модемів, за результатами моделювання підраховуємо кількість помилок, що відбулася при передачі,

$$E = \sum_{i=1}^m |\tilde{\lambda}_i - \lambda_i|.$$

Тоді оцінкою імовірності помилки приймача буде $p = E/m$. В такий спосіб мо-

жемо оцінювати імовірності, не менші ніж 10^{-4} .

Програмну реалізацію математичної моделі та проведення обчислювального експерименту виконано за допомогою системи Mathcad 15. Результати моделювання зображено на рис. 9 залежностями імовірності помилки приймача p як функції від відношення сигнал/шум h^2 .

На рис. 9 номер залежності відповідає типу модема. Як видно з рисунка, найгіршу завадостійкість має модем типу 1. Це пояснюється надзвичайно високим рівнем власних шумів системи. Модем типу 3 показує дещо кращі результати, однак це досягається за рахунок значного ускладнення схеми модема. Отже, модеми 3-го типу видаються малоперспективними для практичного використання.

Більш значне підвищення завадостійкості досягається при використанні систем 2-го типу. Ці системи видаються перспективнішими, тому що в них досягається суттєве спрощення схем модулятора і демодулятора.

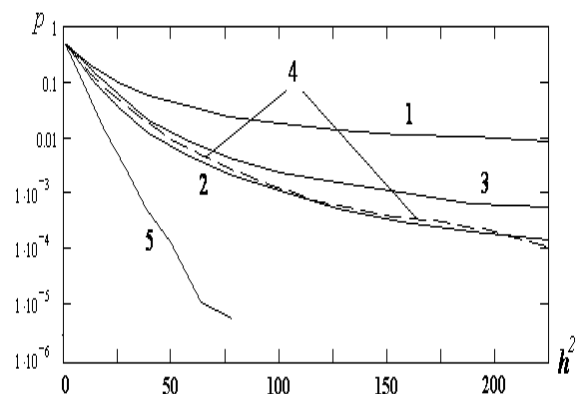


Рис. 9. Залежність імовірності помилки демодулятора від перевищення сигнал/шум

Цих недоліків позбавлені системи 4 і 5. При малих h^2 4-та система показує завадостійкість проміжну між рівнем 2 та 3-ї. Однак при збільшенні h^2 її завадостійкість стає кращою, ніж у системи 2.

Найкращі результати отримуємо для модема 5-го типу. Його структура є модифікацією модема 2-го типу, що, крім того, забезпечує і апаратне спрощення. Однак вигравш завадостійкості отриманий у цьому дослідженні за рахунок деяких втрат у захищеності інформації.

Висновки:

1. Шумові широкосмугові сигнали з кореляційно-часовою модуляцією дозволяють будувати інформаційно-комунікаційні системи, що забезпечують високу стійкість у каналах зі змінними параметрами та підвищують захист інформації від несанкціонованого доступу при достатньо простих апаратних структурах модемів.

2. Наведено структурні схеми модемів автокореляційного типу з шумовими сигналами. Методом імітаційного моделювання отримано експериментальні дані щодо завадостійкості досліджуваних автокореляційних модемів з шумовими сигналами.

3. В інформаційних системах, для яких критичним є рівень захищеності інформації, що передається, оптимальним є використання модемів 2-го типу з фазовою модуляцією шумових сигналів. У системах, які не висувають жорстких вимог до захищеності інформації, можна досягти значного поліпшення завадостійкості завдяки використанню модифікованих систем з протилежними сигналами (модеми 5-го типу).

Список літератури

1. Харкевич А. А. Передача сигналов модулированным шумом / А. А. Харкевич // Электросвязь. – 1957. – № 11. – С. 42–46.
2. Воронин А. А. Шумоподобные сигналы – эффективный метод борьбы с замираниями / А. А. Воронин // Электросвязь. – 1966. – № 7.
3. Парфенов В. И. Вероятностные модели и статистический анализ стохастических модулированных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности : дисс. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.04.03 / В. И. Парфенов. – Воронеж, 2002. – 297 с.
4. Лега Ю. Г. Принципы построения и исследования систем связи с использованием шумовых сигналов : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.12.14 / Ю. Г. Лега. – Черкассы, 2001. – 342 с.
5. Мазурков М. И. Системы широкополосной радиосвязи : учеб. пособие для студ. вузов / М. И. Мазурков. – О. : Наука и техника, 2010. – 340 с.
6. Первунінський С. М. Завадостійкість бінарного автокореляційного приймача асиметричного шумового сигналу / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2012. – № 1. – С. 82–86.
7. Журавель П. Д. Определение значений задержек сигнала в системах передачи данных с корреляционно-временной шумовой модуляцией / П. Д. Журавель, С. М. Первунинский // Вестник СибГУТИ. – 2013. – № 1. – С. 21–28.
8. Первунінський С. М. Завадостійкість бінарного автокореляційного приймача шумових ортогоналізованих сигналів з двома лініями затримки / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 212–218.
9. Лега Ю. Г. Централізована система зв'язку множинного доступу з фазовою маніпуляцією шумового сигналу / Ю. Г. Лега, С. М. Первунінський, Р. М. Дідковський // Комп'ютерні технології друкарства. – Вип. 27. – Львів : Укр. акад. друкарства, 2012. – С. 139–151.
10. Первунінський С. М. Дослідження завадостійкості бінарного автокореляційного приймача шумових сигналів з фазовою маніпуляцією / С. М. Первунінський, Р. М. Дідковський, В. В. Метеллап // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – № 1(3). – С. 56–63.
11. Дідковський Р. М. Моделювання систем зв'язку з фазовою маніпуляцією шумового сигналу / Р. М. Дідковський, С. М. Первунінський // Праці Одеського політехнічного університету. – 2012. – Вип. 1 (38). – С. 198–202.
12. Патент України 74464, МПК H04B 7/00. Пристрій для передачі інформації шумовими сигналами / С. М. Первунінський, О. В. Вовченко, П. Д. Журавель ; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201205356 ; заявл. 03.05.2012 ; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.
13. Патент України 75721, МПК H04B 7/00. Пристрій для передачі інформації шумовими сигналами з ортогоналізацією опорного сигналу / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель, О. В. Вовченко ; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201206745 ; заявл. 01.06.2012 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

14. Патент України 68639, МПК H04B 7/00. Пристрій для передачі інформації шумовими сигналами / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201107502; заявл. 14.06.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.
15. Патент України 74692, МПК H04B 7/00. Пристрій для передачі інформації шумовими сигналами / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201204237; заявл. 05.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.
16. Патент України 79666, МПК H04B 7/00. Пристрій організації багатокористувацького доступу при передачі інформації шумовими сигналами / С. М. Первунінський, П. Д. Журавель; власник Черкаський державний технологічний університет – № u201213119; заявл. 19.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.
8. Pervunins'kyj, S. M. and Zhuravel', P. D. (2012) Noise stability of binary autocorrelation receiver of noise orthogonalized signals with two delay lines. *Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 2, pp. 212–218 [in Ukrainian].
9. Lega, Yu. G., Pervunins'kyj, S. M. and Didkovs'kyj, R. M. (2012) Centralized communication system of conjunctive access with phase manipulation of noise signal. *Kompyuterni tekhnolohiyi drukarstva*, (27). L'viv: Ukr. akad. drukarstva, pp. 139–151 [in Ukrainian].
10. Pervunins'kyj, S. M., Didkovs'kyj, R. M. and Metelap, V. V. (2008) The research of noise stability of binary autocorrelation receiver of noise signals with phase manipulation. *Naukovi zapysky UNDIZ*, No. 1 (3). pp. 56–63 [in Ukrainian].
11. Didkovs'kyj, R. M. and Pervunins'kyj, S. M. (2012) Modeling of communication systems with phase manipulation of noise signal. *Praci Odes'kogo politehnichnogo universytetu*, No 1 (38), pp. 198–202 [in Ukrainian].
12. Pervunins'kyj, S. M., Vovchenko, O. V. and Zhuravel', P. D. (2012) Patent of Ukraine 74464, MPK H04B 7/00. A device for data transmission by noise signals. The owner Cherkasy State Technological University, No. u201205356; stated 03.05.2012; publ. 25.10.2012, Bul. No. 20 [in Ukrainian].
13. Pervunins'kyj, S. M., Zhuravel', P. D. and Vovchenko, O. V. (2012) Patent of Ukraine 75721, MPK N04V 7/00. A device for data transmission by noise signals with reference signal orthogonalization. The owner Cherkasy State Technological University, No. u201206745; stated 01.06.2012; publ. 10.12.2012, Bul. No. 23 [in Ukrainian].
14. Pervunins'kyj, S. M. and Zhuravel', P. D. (2012) Patent of Ukraine 68639, MPK H04B 7/00. A device for data transmission by noise signals. The owner Cherkasy State Technological University, No. u201107502; stated 14.06.2011; publ. 10.04.2012, Bul. No. 7 [in Ukrainian].
15. Pervunins'kyj, S. M. and Zhuravel', P. D. (2012) Patent of Ukraine 74692, MPK H04B 7/00. A device for data transmission by noise signals. The owner Cherkasy State Technological University, No. u201204237; stated 05.04.2012; publ. 12.11.2012, Bul. No. 21 [in Ukrainian].

References

1. Kharkevich, A. A. (1957) Signal transmission by modulated noise. *Elektrosvyaz'*, No. 11, pp. 42–46 [in Russian].
2. Voronin, A. A. (1966) Noise-like signals – efficient method of decays control. *Elektrosvyaz'*, No. 7 [in Russian].
3. Parfenov, V. I. (2003) Probabilistic models and statistical analysis of stochastic modulated processes in the conditions of parametric prior uncertainty: theses for D.Sc.: 01.04.03. Voronezh, 297 p. [in Russian].
4. Lega, Yu. G. (2001) Principles of construction and investigation of communication systems with the use of noise signals: theses for D.Sc.: 05.12.14. Cherkassy, 342 p. [in Russian].
5. Mazurkov, M. I. (2010) Systems of broadband radio communication. Odessa: Nauka i tekhnika, 340 p. [in Russian].
6. Pervunins'kyj, S. M. and Zhuravel', P. D. (2012) Noise stability of binary autocorrelation receiver of asymmetrical noise signal. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 1, pp. 82–86 [in Ukrainian].
7. Zhuravel', P. D. and Pervuninskij, S. M. (2013) Determination of values of signal delays in systems of data transmitting with correlation-time noise modulation. *Vestnik SibGUTI*, No. 1, pp. 21–28 [in Russian].

16. Pervunins'kyi, S. M. and Zhuravel', P. D. (2012) Patent of Ukraine 79666, MPK N04V 7/00. A device of multiuser access organization during data transmission by noise sig-

nals. The owner Cherkasy State Technological University, No. u201213119; stated 19.11.2012; publ. 25.04.2013, Bul. No. 8. [in Ukrainian].

S. M. Pervunins'kyi, *Dr. Tech.Sc., professor*,

e-mail: cherkpervun@rambler.ru

V. V. Metelap, *lecturer*

e-mail: chdtusciencemvv@ukr.net

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RANDOM MODULATED PROCESSES AND THEIR USE IN BINARY MODEMS WITH NOISE SIGNALS

The development of modern information society requires the development and implementation of new information-communication technologies, more productive systems of data processing and transmission.

The variety of information sharing technologies – high-speed wired Ethernet, wireless mobile network technologies – requires the use of various terminal equipment and the application of new methods of signals analysis, synthesis and identification. Statistical research methods that are inseparably linked with ensuring of the accuracy, noise immunity and reliability of data transmission systems are promising in this regard. However, there is a number of unsolved problems of statistical studies that are common for information systems of various classes and purposes. This article is just devoted to the development of methods of analysis and synthesis of modems with noise modulated processes.

As a result of the work of described devices a signal is received that has an additional peak of correlation function at the end of clock interval, the place and sign of which are information parameter, the estimation of which is made by demodulator.

In the search of ways to improve noise immunity of noise signal the new schemes of ChSTU modems are patented and comparisons of noise immunity among themselves and with those of traditional systems are made.

Keywords: noise signals, binary modems, random processes.

Статтю представляє д.т.н., професор С. М. Первунінський, Черкаський державний технологічний університет.

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

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

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКОВОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ В ПЕРВИЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Актуальность применения различных функциональных элементов пьезоэлектроники в силовых и информационных системах объясняется, прежде всего, их высокой надежностью. Одним из основных элементов таких систем является пьезокерамический трансформатор. Пьезокерамический трансформатор является альтернативой электромагнитным трансформаторам в тех сферах их применения, где необходима высокая надежность, стабильность, автономность, максимальная длительность безотказной работы. Однако в настоящее время отсутствуют надежные и достоверные методики построения математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов, которые могли бы использоваться в качестве теоретических основ расчета характеристик и параметров этого класса функциональных элементов современной пьезоэлектроники. Основные результаты настоящей работы можно сформулировать следующим образом:

– построена математическая модель пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи;

– показана высокая чувствительность частотной характеристики пьезоэлектрического трансформатора к значениям выходного сопротивления источника электрического сигнала в первичной электрической цепи.

Ключевые слова: пьезоэлектрический трансформатор, осесимметричные колебания, физические процессы, математическая модель.

Введение. Актуальность применения различных функциональных элементов пьезоэлектроники в силовых и информационных системах объясняется, прежде всего, их высокой надежностью [1] – интенсивность отказов составляет 10^{-6} , т.е. сопоставима с показателями интегральных микросхем, а также малыми габаритами, что решает проблему миниатюризации таких систем.

Один из основных элементов таких систем – пьезокерамический трансформатор (ПТ) [2], который является альтернативой электромагнитным трансформаторам в тех сферах их применения, где необходима высокая надежность, стабильность, автономность, максимальная длительность безотказной работы [3]. Объектами, где необходимо применение таких сверхнадежных трансформаторов напряжения, являются: автоматические межпланетные станции; автономные глубоководные плавающие объекты; любые другие объекты, доступ к которым сильно затруднен, невозможен или

чрезвычайно опасен для человека (ядерные реакторы; химически опасные объекты, станции в Антарктиде и Арктике, подземные объекты, орбитальные спутники и т.д.).

Пьезоэлектрический трансформатор имеет ряд преимуществ по сравнению с электромагнитным, а именно [4-6]: высокую удельную мощность; отсутствие электромагнитных помех; высокую эффективность; возможность миниатюризации; широкий частотный диапазон; огнестойкость; простую технологию изготовления [7].

Чрезвычайно широкие возможности пьезотрансформаторов позволяют использовать их при создании разнообразных аналоговых и дискретных устройств преобразования сигналов.

Следует отметить, что на основе пьезотрансформаторов возможно создание разнообразных управляющих устройств, способных выполнять различные функции преобразования сигналов. Для этого в элемент пьезотранс-

форматора вводится дополнительная секция электродов и связь между секциями осуществляется только механическим путем [8].

В настоящее время пьезотрансформаторы находят все большее применение в областях, где требуется получение высоких напряжений. Практика применения пьезотрансформаторов показывает, что они достаточно эффективно работают на первой или на второй моде колебаний в области частот от нескольких десятков до сотен килогерц [9].

Пьезотрансформаторы находят широкое применение в современной светотехнической аппаратуре и приборах. Они позволяют минимизировать габариты устройств зажигания и питания различного класса газоразрядных ламп, создавать высокоэффективные высокочастотные источники питания с КПД до 95 %, обеспечивающие повышение долговечности ламп в 5-10 раз и светоточность более чем в 1,4 раза. В настоящее время одними из наиболее динамично развивающихся электронных устройств являются тонкие дисплеи с ЖК-экранами (типа FED) [10-12].

Пьезотрансформаторы являются высокочастотными резонансными устройствами, параметры которых изменяются от изменения нагрузки. Поэтому возникает задача разработки адекватной математической модели, описывающей изменения параметров ПТ от изменения нагрузки. Для получения такой модели необходимо иметь методику определения экспериментальных характеристик ПТ. Однако использование пьезотрансформаторов сдерживается сложностью адекватного аналитического описания их моделей [13].

В настоящее время отсутствует целостная методика построения математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов, которые могли бы использоваться в качестве теоретических основ расчета их характеристик и параметров [16], создание которой и является *целью* данной работы.

1. Расчет коэффициента трансформации пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи. Рассмотрим дисковый пьезоэлектрический трансформатор (рис. 1), первичная электрическая цепь которого состоит из генератора разности электрических потенциалов $U_1 e^{i\omega t}$ (U_1 – амплитудное значение разности электрических потенциалов; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; ω – круговая час-

тота смены знака потенциала; t – время) с выходным электрическим импедансом Z_r и кольцевого электрода (позиция 1 на рис. 1). Вторичная электрическая цепь состоит из электрода в форме круга (позиция 2) с подключенной к нему электронной схемой со входным электрическим импедансом Z_n , на котором формируется разность электрических потенциалов $U_2 e^{i\omega t}$. Первичная и вторичная электрические цепи пьезоэлектрического трансформатора не имеют гальванической связи. Энергообмен между первичной и вторичной электрическими цепями осуществляется с помощью осесимметричных радиальных колебаний материальных частиц пьезоэлектрики в объеме поляризованного по толщине диска (позиция 3 на рис. 1).

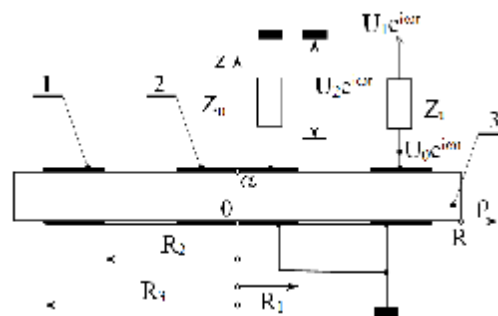


Рис. 1. Расчетная схема дискового пьезоэлектрического трансформатора

Очевидно, что работа функционального элемента пьезоэлектроники, который схематически показан на рис. 1, полностью описывается коэффициентом трансформации $K(\omega, \Pi) = U_2/U_1$ (символом Π обозначен набор электрических, геометрических и физико-механических параметров трансформатора), который, следуя определению А. Н. Тихонова [14], является математической моделью рассматриваемого устройства. Схема построения математической модели пьезоэлектрического трансформатора в общих чертах изложена в работе [14].

Амплитудное значение U_2 потенциала на выходе пьезоэлектрического трансформатора определяется, очевидно, как падение электрического напряжения на нагрузочном сопротивлении Z_n , т. е.

$$U_2 = I_2 Z_n, \quad (1)$$

где I_2 – амплитудное значение тока во вторичной электрической цепи.

В работе [15] показано, что $I_2 = -i\omega Q_2$, где Q_2 – амплитуда поляризационного заряда под электродом во вторичной электрической цепи трансформатора, причем

$$Q_2 = 2\pi \int_0^{R_1} \rho D_z^{(1)}(\rho) d\rho, \quad (2)$$

$$D_z^{(1)}(\rho) = e_{31}^* (\epsilon_{\rho\rho}^{(1)} + \epsilon_{\phi\phi}^{(1)}) - \chi_{33}^\sigma \frac{U_2}{\alpha} = e_{31}^* \left[\frac{\partial u_\rho^{(1)}}{\partial \rho} + \frac{u_\rho^{(1)}}{\rho} \right] - \chi_{33}^\sigma \frac{U_2}{\alpha} =$$

$$= \frac{e_{31}^*}{\rho} \frac{\partial u_\rho^{(1)}}{\partial \rho} [\rho u_\rho^{(1)}] - \chi_{33}^\sigma \frac{U_2}{\alpha}, \quad (3)$$

где e_{31}^* и χ_{33}^σ – пьезоэлектрический модуль и компонент тензора диэлектрической проницаемости пьезокерамики для режима планарных колебаний, причем $e_{31}^* = e_{31} - e_{33} c_{12}^E / c_{33}^E$, $\chi_{33}^\sigma = \chi_{33}^E + e_{33}^2 / c_{33}^E$; e_{31} , e_{33} , c_{12}^E , c_{33}^E и χ_{33}^E – справочные значения пьезомодулей, модулей упругости и диэлектрической проницаемости поляризованной по толщине пьезокерамической пластинки; $\epsilon_{\rho\rho}^{(1)}(\rho)$, $\epsilon_{\phi\phi}^{(1)}(\rho)$ и $u_\rho^{(1)}(\rho)$ – амплитудные значения изменяющихся во времени по закону $e^{i\omega t}$ компонентов тензора малых деформаций и радиального компонента вектора смещения материальных частиц пьезокерамики в области № 1.

Подставляя определение электрической индукции $D_z^{(1)}(\rho)$ в соотношение (2), получаем выражение для расчета амплитуды электрического заряда Q_2 в следующем виде:

$$Q_2 = 2 \frac{\alpha e_{31}^*}{R_1 \chi_{33}^\sigma} C_1^\sigma u_\rho^{(1)}(R_1) - C_1^\sigma U_2, \quad (4)$$

где $C_1^\sigma = \pi R_1^2 \chi_{33}^\sigma / \alpha$ – статическая электрическая емкость электрода во вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. Подставляя выражение (4) в определение амплитуды тока I_2 , а полученный результат – в соотношение (1), получаем формулу для расчета амплитудного значения разности электрических потенциалов на выходе пьезоэлектрического трансформатора

$$U_2 = -2f_e(\omega) \frac{\alpha e_{31}^*}{R_1 \chi_{33}^\sigma} u_\rho^{(1)}(R_1), \quad (5)$$

где символом $f_e(\omega)$ обозначена функция включения электрода во вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора.

Числовые значения функции включения рассчитываются по формуле

$$f_e(\omega) = \frac{i\Omega^*}{1 - i\Omega^*}, \quad (6)$$

где $\Omega^* = \omega \tau_n$ – безразмерная величина; $\tau_n = C_1^\sigma Z_n$ – постоянная времени вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. На рис. 2 показан график модуля функции включения $f_e(\omega)$ в зависимости от значений безразмерной величины Ω^* .

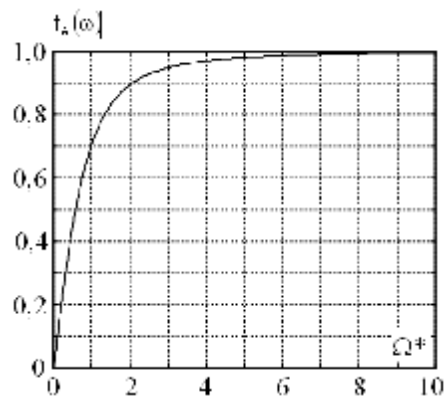


Рис. 2. Изменение модуля функции включения электрода во вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора

В работе [16] показано, что потенциалы U_2 и U_0 (амплитудное значение разности электрических потенциалов на электроде в первичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора) являются взаимосвязанными величинами. Связность потенциалов U_2 и U_0 обеспечивается связностью напряженно-деформированного состояния в различных областях объема колеблющегося пьезокерамического диска. Отсюда следует,

что амплитудный множитель смещения $u_p^{(1)}(\rho)$ одновременно определяется как потенциалом U_2 , так и потенциалом U_0 .

Выясним, как связаны между собой потенциалы U_2 и U_0 .

В работе [16] определены упругие напряжения и смещения материальных частиц пьезокерамики в областях, которые находятся под электродами, и в областях, где электроды отсутствуют. Следуя изложенной в работе [16] методике, можем записать, что

$$\sigma_{\rho\rho}^{(1)}(\rho) = c_{11} \frac{\partial u_p^{(1)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12} \frac{u_p^{(1)}(\rho)}{\rho} + e_{31}^* \frac{U_2}{\alpha}, \quad (7)$$

$$\sigma_{\rho\rho}^{(2)}(\rho) = c_{11}^D \frac{\partial u_p^{(2)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12}^D \frac{u_p^{(2)}(\rho)}{\rho}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\rho\rho}^{(3)}(\rho) = c_{11} \frac{\partial u_p^{(3)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12} \frac{u_p^{(3)}(\rho)}{\rho} + e_{31}^* \frac{U_0}{\alpha}, \quad (9)$$

$$\sigma_{\rho\rho}^{(4)}(\rho) = c_{11}^D \frac{\partial u_p^{(4)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12}^D \frac{u_p^{(4)}(\rho)}{\rho}, \quad (10)$$

где $c_{11} = c_{11}^E - (e_{31}^E)^2 / c_{33}^E$; $c_{12} = c_{12}^E (1 - e_{31}^E / c_{33}^E)$; $c_{11}^D = c_{11} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^\sigma$; $c_{12}^D = c_{12} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^\sigma$ – модули упругости для режима осесимметричных радиальных колебаний материальных частиц пьезокерамического диска в областях под электродами (это область № 1, где $\rho \in [0, R_1]$, и область № 3, где $\rho \in [R_2, R_3]$) и в областях без электродирования (это область № 2, где $\rho \in [R_1, R_2]$, и область № 4, где $\rho \in [R_3, R]$).

Амплитудные значения радиальных компонентов векторов смещений материальных частиц в областях № 1, ..., № 4 определяются следующим образом:

$$u_p^{(1)}(\rho) = A_1 J_1(\gamma \rho), \quad (11)$$

$$u_p^{(2)}(\rho) = A_2 J_1(\gamma_1 \rho) + A_3 N_1(\gamma_1 \rho), \quad (12)$$

$$u_p^{(3)}(\rho) = A_4 J_1(\gamma \rho) + A_5 N_1(\gamma \rho), \quad (13)$$

$$u_p^{(4)}(\rho) = A_6 J_1(\gamma_1 \rho) + A_7 N_1(\gamma_1 \rho), \quad (14)$$

где $A_1, \dots, A_7$ – частотно зависимые константы (амплитудные множители) радиальных смещений материальных частиц в различных областях; $J_1(z)$, $N_1(z)$ ($z = \gamma \rho$; $z = \gamma_1 \rho$) – функции Бесселя и Неймана [17] первого порядка; $\gamma = \omega / \sqrt{c_{11} / \rho_0}$ и $\gamma_1 = \omega / \sqrt{c_{11}^D / \rho_0}$ – волновые числа радиальных колебаний в областях под электродами и без электродного покрытия; ρ_0 – плотность пьезокерамики.

На условных границах разделов областей амплитудные значения смещений и напряжений должны удовлетворять условиям динамического и кинематического сопряжения, которые записываются следующим образом:

$$\sigma_{\rho\rho}^{(1)}(R_1) - \sigma_{\rho\rho}^{(2)}(R_1) = 0, \quad (15)$$

$$u_p^{(1)}(R_1) - u_p^{(2)}(R_1) = 0, \quad (16)$$

$$\sigma_{\rho\rho}^{(2)}(R_2) - \sigma_{\rho\rho}^{(3)}(R_2) = 0, \quad (17)$$

$$u_p^{(2)}(R_2) - u_p^{(3)}(R_2) = 0, \quad (18)$$

$$\sigma_{\rho\rho}^{(3)}(R_3) - \sigma_{\rho\rho}^{(4)}(R_3) = 0, \quad (19)$$

$$u_p^{(3)}(R_3) - u_p^{(4)}(R_3) = 0. \quad (20)$$

Если граница $\rho = R$ пьезокерамического диска свободна от механических контактов с другими материальными объектами, то на контуре $\rho = R$ должно выполняться условие

$$\sigma_{\rho\rho}^{(4)}(R) = 0. \quad (21)$$

Подставляя в условия (15) – (21) выражения (7) – (14), получаем неоднородную систему линейных алгебраических уравнений, которая состоит из семи уравнений, в которых содержится семь искомых констант $A_1, \dots, A_7$. Очевидно, что эта система уравнений разрешается относительно искомых констант единственным способом. В общем виде указанную систему уравнений можно записать следующим образом:

$$\sum_{k=1}^7 m_{jk} A_k = P_j, \quad (j, k = 1, 2, \dots, 7). \quad (22)$$

Коэффициенты m_{jk} и правые части P_j системы уравнений (22) имеют следующий вид:

$$m_{11} = J_0(\gamma R_1) - (1 - k) J_1(\gamma R_1) / (\gamma R_1); \quad k = c_{12} / c_{11};$$

$$m_{12} = \xi [J_0(\gamma_1 R_1) - (1 - k_1) J_1(\gamma_1 R_1) / (\gamma_1 R_1)];$$

$$\xi = \sqrt{1 + K_{31}^2}; \quad K_{31}^2 = (e_{31}^*)^2 / (\chi_{33}^\sigma c_{11});$$

$$k_1 = c_{12}^D / c_{11}^D;$$

$$m_{13} = \xi [N_0(\gamma_1 R_1) - (1 - k_1) N_1(\gamma_1 R_1) / (\gamma_1 R_1)];$$

$$m_{14} = m_{15} = m_{16} = m_{17} = 0; \quad P_1 = -q U_2 / \Omega;$$

$$q = e_{31}^* R / (c_{11} \alpha); \quad \Omega = \gamma R; \quad m_{21} = J_1(\gamma R_1);$$

$$m_{22} = J_1(\gamma_1 R_1);$$

$$m_{23} = N_1(\gamma_1 R_1); \quad m_{24} = m_{25} = m_{26} = m_{27} = 0;$$

$$P_2 = 0; \quad m_{31} = 0;$$

$$m_{32} = \xi [J_0(\gamma_1 R_2) - (1 - k_1) J_1(\gamma_1 R_2) / (\gamma_1 R_2)];$$

$$m_{33} = \xi [N_0(\gamma_1 R_2) - (1 - k_1) N_1(\gamma_1 R_2) / (\gamma_1 R_2)];$$

$$m_{34} = J_0(\gamma R_2) - (1 - k) J_1(\gamma R_2) / (\gamma R_2);$$

$$\begin{aligned}
m_{35} &= N_0(\gamma R_2) - (1-k)N_1(\gamma R_2)/(\gamma R_2); \\
m_{36} &= m_{37} = 0; P_3 = qU_0/\Omega; m_{41} = 0; \\
m_{42} &= J_1(\gamma_1 R_2); \\
m_{43} &= N_1(\gamma_1 R_2); m_{44} = J_1(\gamma R_2); m_{45} = N_1(\gamma R_2); \\
m_{46} &= m_{47} = 0; P_4 = 0; m_{51} = m_{52} = m_{53} = 0; \\
m_{54} &= J_0(\gamma R_3) - (1-k)J_1(\gamma R_3)/(\gamma R_3); \\
m_{55} &= N_0(\gamma R_3) - (1-k)N_1(\gamma R_3)/(\gamma R_3); \\
m_{56} &= \xi[J_0(\gamma_1 R_3) - (1-k_1)J_1(\gamma_1 R_3)/(\gamma_1 R_3)]; \\
m_{57} &= \xi[N_0(\gamma_1 R_3) - (1-k_1)N_1(\gamma_1 R_3)/(\gamma_1 R_3)]; \\
P_5 &= -qU_0/\Omega; \\
m_{61} &= m_{62} = m_{63} = 0; m_{64} = J_1(\gamma R_3); \\
m_{65} &= N_1(\gamma R_2); m_{66} = J_1(\gamma_1 R_3); m_{67} = N_1(\gamma_1 R_3); \\
P_6 &= 0; \\
m_{71} &= m_{72} = m_{73} = m_{74} = m_{75} = 0; \\
m_{76} &= J_0(\gamma_1 R) - (1-k_1)J_1(\gamma_1 R)/(\gamma_1 R); \\
m_{77} &= N_0(\gamma_1 R) - (1-k_1)N_1(\gamma_1 R)/(\gamma_1 R); P_7 = 0.
\end{aligned}$$

Решения для констант A_1 , A_4 и A_5 , которые определяют радиальные смещения материальных частиц диска под электродами

первичной и вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
A_1 &= -\frac{q}{\Omega}(U_2 A_{11} + U_0 A_{12}); A_{11} = \frac{B_{11}}{D_0}; \\
A_{12} &= \frac{B_{12}}{D_0}; \quad (23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_4 &= \frac{q}{\Omega}(U_2 A_{41} + U_0 A_{42}); A_{41} = \frac{B_{41}}{D_0}; \\
A_{42} &= \frac{B_{42}}{D_0}; \quad (24)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_5 &= -\frac{q}{\Omega}(U_2 A_{51} + U_0 A_{52}); A_{51} = \frac{B_{51}}{D_0}; \\
A_{52} &= \frac{B_{52}}{D_0}; \quad (25)
\end{aligned}$$

где D_0 – определитель системы уравнений (22), а B_{11} , ..., B_{52} – определители следующих матриц:

$$\begin{aligned}
B_{11} &= \begin{vmatrix} -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_{32} & m_{33} & -m_{34} & -m_{35} & 0 & 0 \\ m_{42} & m_{43} & -m_{44} & -m_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{54} & m_{55} & -m_{56} & -m_{57} \\ 0 & 0 & m_{64} & m_{65} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{vmatrix}; \\
B_{12} &= \begin{vmatrix} -m_{12} & -m_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_{32} & m_{33} & -m_{34} + m_{54} & -m_{35} + m_{55} & -m_{56} & -m_{57} \\ m_{42} & m_{43} & -m_{44} & -m_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{64} & m_{65} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{vmatrix}; \\
B_{41} &= \begin{vmatrix} m_{21} & -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{32} & m_{33} & -m_{35} & 0 & 0 \\ 0 & m_{42} & m_{43} & -m_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{55} & -m_{56} & -m_{57} \\ 0 & 0 & 0 & m_{65} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{vmatrix}; \\
B_{42} &= \begin{vmatrix} m_{11} & -m_{12} & -m_{13} & 0 & 0 & 0 \\ m_{21} & -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{32} & m_{33} & -m_{35} + m_{55} & -m_{56} & -m_{57} \\ 0 & m_{42} & m_{43} & -m_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{65} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{vmatrix};
\end{aligned}$$

$$B_{51} = \begin{pmatrix} m_{21} & -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{32} & m_{33} & -m_{34} & 0 & 0 \\ 0 & m_{42} & m_{43} & -m_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{54} & -m_{56} & -m_{57} \\ 0 & 0 & 0 & m_{64} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{pmatrix};$$

$$B_{52} = \begin{pmatrix} m_{11} & -m_{12} & -m_{13} & 0 & 0 & 0 \\ m_{21} & -m_{22} & -m_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{32} & m_{33} & -m_{34} + m_{54} & -m_{56} & -m_{57} \\ 0 & m_{42} & m_{43} & -m_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{64} & -m_{66} & -m_{67} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{76} & m_{77} \end{pmatrix}.$$

Подставляя определение (23) константы A_1 в соотношение (11), а полученный результат – в формулу (5) для расчета потенциала U_2 , приходим к выводу, что

$$U_2 = 2f_e(\omega) \frac{e_{31}^* \alpha q}{\chi_{33}^\sigma R_1 \Omega} (U_2 A_{11} + U_0 A_{12}) J_1(\gamma R_1),$$

откуда следует, что

$$U_2 = U_0 K_2(\Omega, \Pi); \quad (26)$$

$$K_2(\Omega, \Pi) = \frac{2f_e(\omega) K_{31}^2 A_{12} [J_1(\Omega R_1/R)/(\Omega R_1/R)]}{1 - 2f_e(\omega) K_{31}^2 A_{11} [J_1(\Omega R_1/R)/(\Omega R_1/R)]};$$

символом Π обозначен набор геометрических, электрических и физико-механических параметров трансформатора; $K_{31}^2 = (e_{31}^*)^2 / (c_{11} \chi_{33}^\sigma)$ – квадрат коэффициента электромеханической связи для режима радиальных колебаний материальных частиц поляризованного по толщине пьезокерамического диска.

$$Q_3 = 2\pi \int_{R_2}^{R_3} \rho D_z^{(3)}(\rho) d\rho = C_3^\sigma U_0 \left\{ \frac{2\alpha e_{31}^*}{R_3 \chi_{33}^\sigma (1 - \beta^2)} U_0 [u_p^{(3)}(R_3) - u_p^{(3)}(R_2)] - 1 \right\}, \quad (28)$$

где $C_3^\sigma = \pi \chi_{33}^\sigma (R_3^2 - R_2^2) / \alpha$ – статическая электрическая емкость кольцевого электрода; $\beta = R_2/R_3$ – геометрический параметр кольца.

$$u_p^{(3)}(\rho) = \frac{U_0 R e_{31}^*}{\Omega c_{11} \alpha} \{ [K_2(\Omega, \Pi) A_{41} + A_{42}] J_1(\Omega \rho/R) + [K_2(\Omega, \Pi) A_{51} + A_{52}] N_1(\Omega \rho/R) \}. \quad (29)$$

После вычисления значений $u_p^{(3)}(R_2)$ и $u_p^{(3)}(R_3)$ по формуле (29) можно записать, что $Q_3 = C_3^\sigma U_0 K_3(\Omega, \Pi)$, где

$$K_3(\Omega, \Pi) = \frac{2K_{31}^2}{1 - \beta^2} \{ [K_2(\Omega, \Pi) A_{41} + A_{42}] J(\Omega) + [K_2(\Omega, \Pi) A_{51} + A_{52}] N(\Omega) \} - 1;$$

Определим амплитудное значение U_0 разности электрических потенциалов на электроде первичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора.

Очевидно, что

$$U_0 = \frac{U_1 Z_3}{Z_r + Z_3}, \quad (27)$$

где Z_3 – электрический импеданс области № 3 под кольцевым электродом первичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. В соответствии с законом Ома для участка электрической цепи $Z_3 = U_0/I_3$, где I_3 – амплитуда переменного электрического тока в проводнике, который соединяет генератор разности электрических потенциалов с кольцевым электродом. Как и ранее, будем полагать, что $I_3 = -i\omega Q_3$, где Q_3 – амплитудное значение поляризационного заряда под кольцевым электродом, которое определяется следующим образом:

Подставляя выражения (24) и (25) для расчета констант A_4 и A_5 в определение (13) и учитывая при этом выражение (26), получаем следующую формулу для расчета смещений $u_p^{(3)}(\rho)$:

$$J(\Omega) = [J_1(\Omega R_3/R) - \beta J_1(\beta \Omega R_3/R)]/(\Omega R_3/R); \quad N(\Omega) = [N_1(\Omega R_3/R) - \beta N_1(\beta \Omega R_3/R)]/(\Omega R_3/R).$$

После определения заряда Q_3 электрический импеданс Z_3 определяется выражением $Z_3 = -1/[i\omega C_3^e K_3(\Omega, \Pi)]$, откуда следует определение разности потенциалов на кольцевом электроде

$$U_0 = \frac{U_1}{1 - i\omega C_0^\sigma Z_r K_3(\Omega, \Pi)}. \quad (30)$$

Подставляя выражение (30) в соотношение (26), приходим к выводу, что

$$U_2 = U_1 \frac{K_2(\Omega, \Pi)}{1 - i\omega C_0^\sigma Z_r K_3(\Omega, \Pi)},$$

откуда следует формула для расчета коэффициента трансформации

$$K(\omega, \Pi) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{K_2(\Omega, \Pi)}{1 - i\omega C_0^\sigma Z_r K_3(\Omega, \Pi)}. \quad (31)$$

Аналитическая конструкция (31) является математической моделью пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи.

2. Теоретическое исследование математической модели пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи. Выражение (31), определяющее коэффициент передачи пьезоэлектронного устройства с электрического входа на электрический выход, имеет конструкцию, которая типична для электронных устройств с отрицательной обратной связью. Отчетливо видно, что глубина обратной связи прямо пропорциональна значению выходного сопротивления источника сигнала, т. е. импедансу Z_r . При значении $Z_r = 0$ обратная связь исчезает, и коэффициент трансформации полностью определяется частотно зависимой функцией $K_2(\Omega, \Pi)$.

Физическое содержание обратной связи, которая существует в пьезоэлектрических трансформаторах, практически очевидно. На частоте электромеханического резонанса радиальных колебаний существенно возрастают уровни смещений материальных частиц пьезоэлектрического диска. Это сопровождается увеличением деформаций и, как следствие, уровней поляризационных зарядов на электродах первичной электрической цепи. Из-за этого увеличивается амплитуда электрического тока в первичной электрической цепи, что сопровождается увеличением падения напряжения на сопротивлении Z_r и, соответствен-

но, уменьшением разности потенциалов U_0 (см. рис. 1).

С целью определения влияния выходного импеданса источника электрического сигнала на коэффициент трансформации пьезоэлектрического трансформатора была выполнена серия расчетов, результаты которых показаны на рис. 3–6.

Все расчеты были выполнены для свободного пьезокерамического диска радиусом $R = 25 \cdot 10^{-3}$ м и толщиной $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-3}$ м. Материал диска – поляризованная по толщине пьезокерамика типа ЦТС со следующими параметрами: $\rho_0 = 7400$ кг/м³; $c_{11}^E = 112$ ГПа; $c_{12}^E = 62$ ГПа; $c_{33}^E = 100$ ГПа; $e_{33} = 20$ Кл/м²; $e_{31} = -9$ Кл/м²; $\chi_{33}^E = 1800 \chi_0$; $\chi_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная. В расчетах, результаты которых показаны на рис. 3–5, добротность пьезокерамики $Q_m = 100$. При построении кривых, показанных на рис. 3 и 4, было принято значение электрической нагрузки $Z_n = 1000$ Ом. Значение модуля электрического импеданса источника электрического сигнала показано в поле рисунков. По осям ординат на рис. 3–6 отложены числовые значения модуля коэффициента трансформации. По осям абсцисс – безразмерная величина $\Omega = \omega \tau_0$, где $\tau_0 = R/\sqrt{c_{11}^E/\rho_0}$ – постоянная времени рассматриваемого пьезокерамического диска. Значению $\Omega = 1$ соответствует частота $f = 20072$ Гц. Как следует из результатов, представленных на рис. 3 и 4, изменение параметра Z_r сопровождается существенными изменениями частотной характеристики пьезокерамического дискового трансформатора. Те же тенденции наблюдаются и на рис. 5. На рис. 6 показано влияние механической добротности Q_m материала диска на изменение коэффициента трансформации в узкой полосе частот в окрестности частоты первого электромеханического резонанса радиальных колебаний свободного (не закрепленного по контуру $\rho = R$) пьезокерамического диска. Числовые значения добротностей указаны в поле рисунков цифрами возле соответствующих кривых. Отчетливо видно, что увеличение выходного сопротивления источника электрического сигнала сопровождается

существенным уменьшением влияния механической добротности материала диска на

коэффициент трансформации.

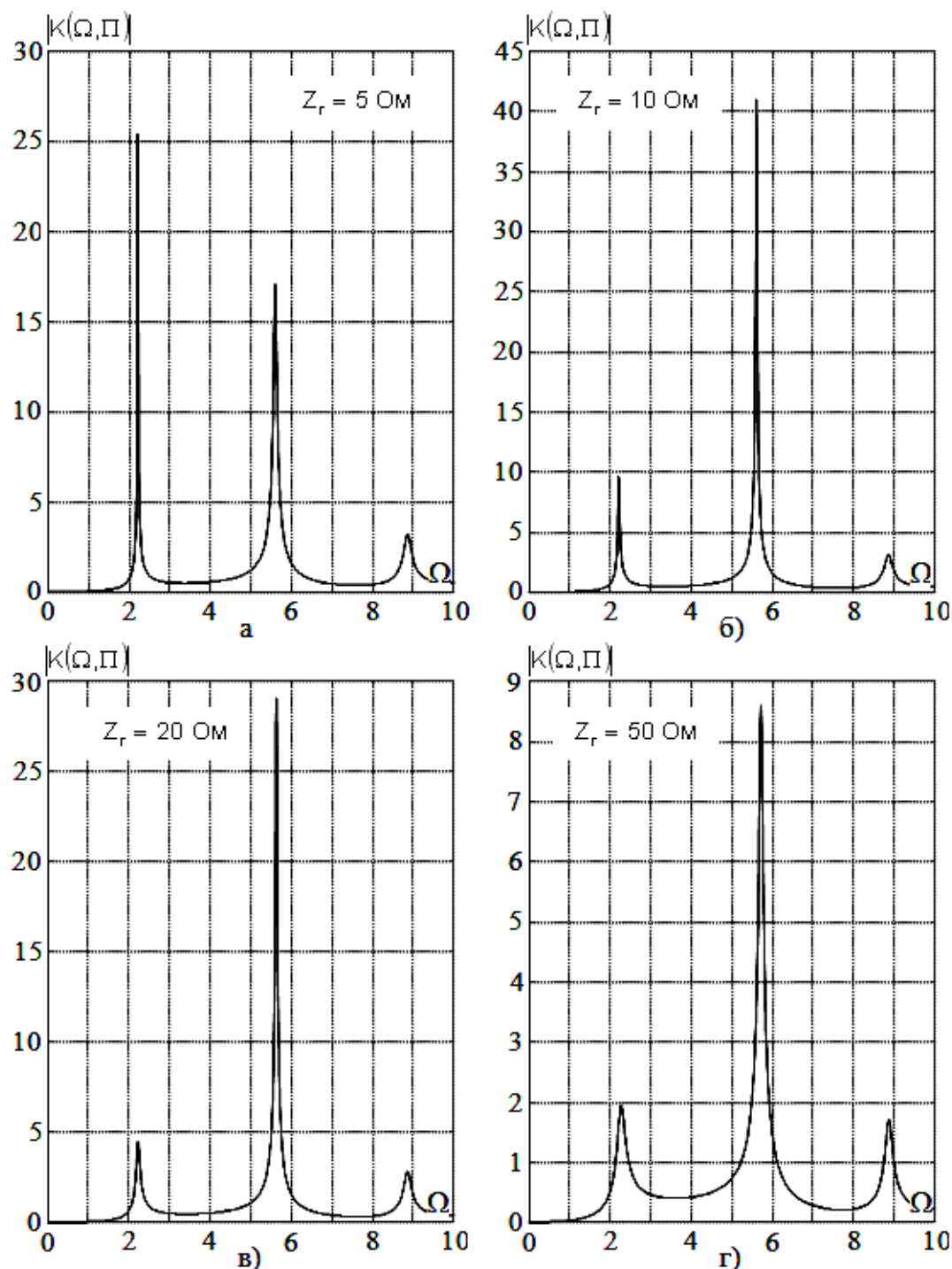


Рис. 3. Влияние выходного сопротивления источника сигнала на частотно зависимое изменение модуля коэффициента трансформации при относительных размерах электродов $R_1/R = 0,2$, $R_2/R = 0,25$ и $R_3/R = 0,999$

Из результатов расчетов, которые показаны на рис. 3–6, можно сделать вывод, что каждому набору физико-механических пара-

метров пьезоэлектрика, каждой конфигурации электродов первичной и вторичной электрической цепи и фиксированной электрической

нагрузке пьезоэлектрического трансформатора соответствует свое фиксированное значение выходного сопротивления Z_r источника

электрического сигнала, при котором реализуется максимальный коэффициент трансформации в заданном диапазоне частот.

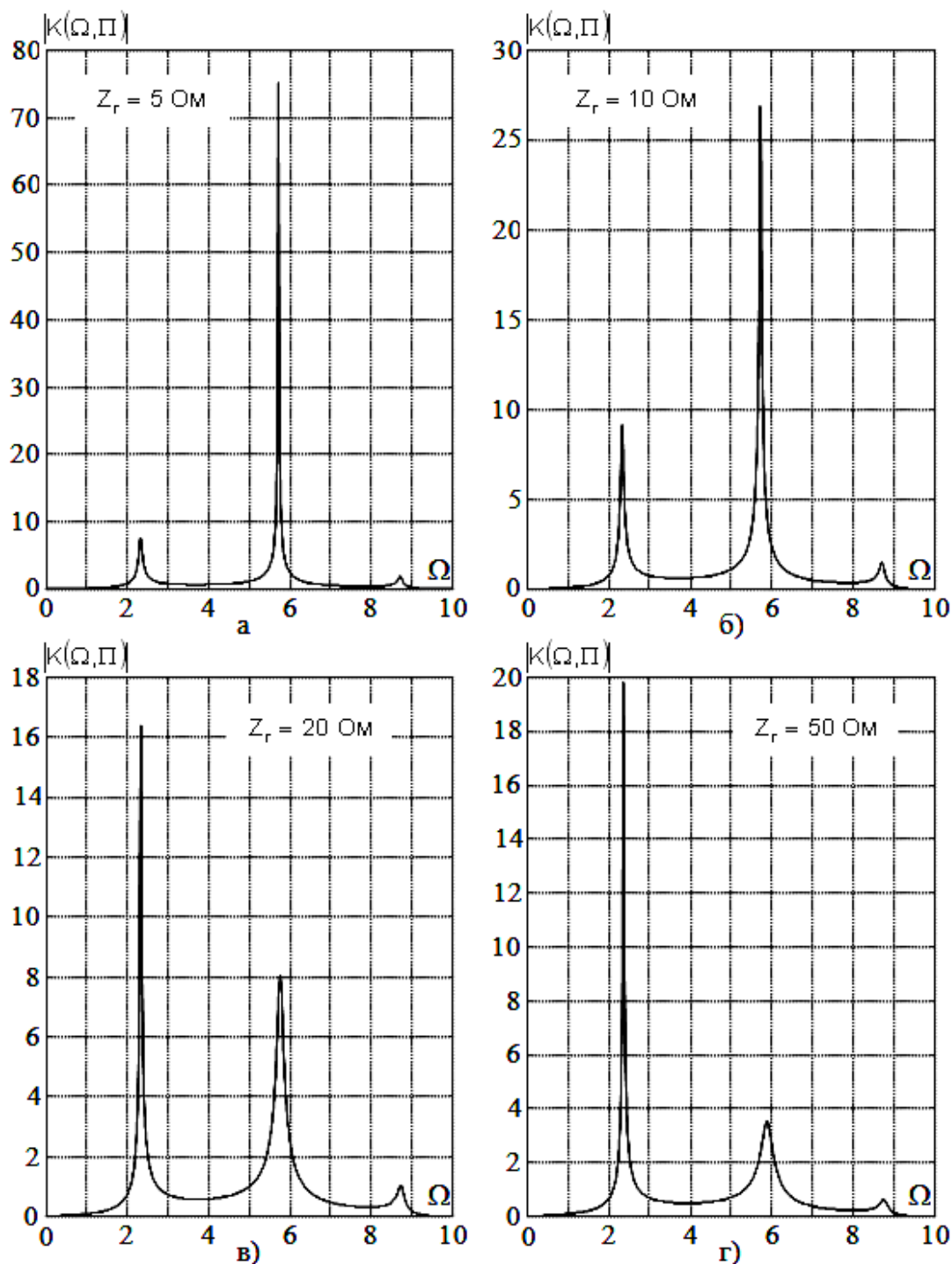


Рис. 4. Влияние выходного сопротивления источника сигнала на частотно зависимое изменение модуля коэффициента трансформации при относительных размерах электродов $R_1/R = 0,4$, $R_2/R = 0,45$ и $R_3/R = 0,999$

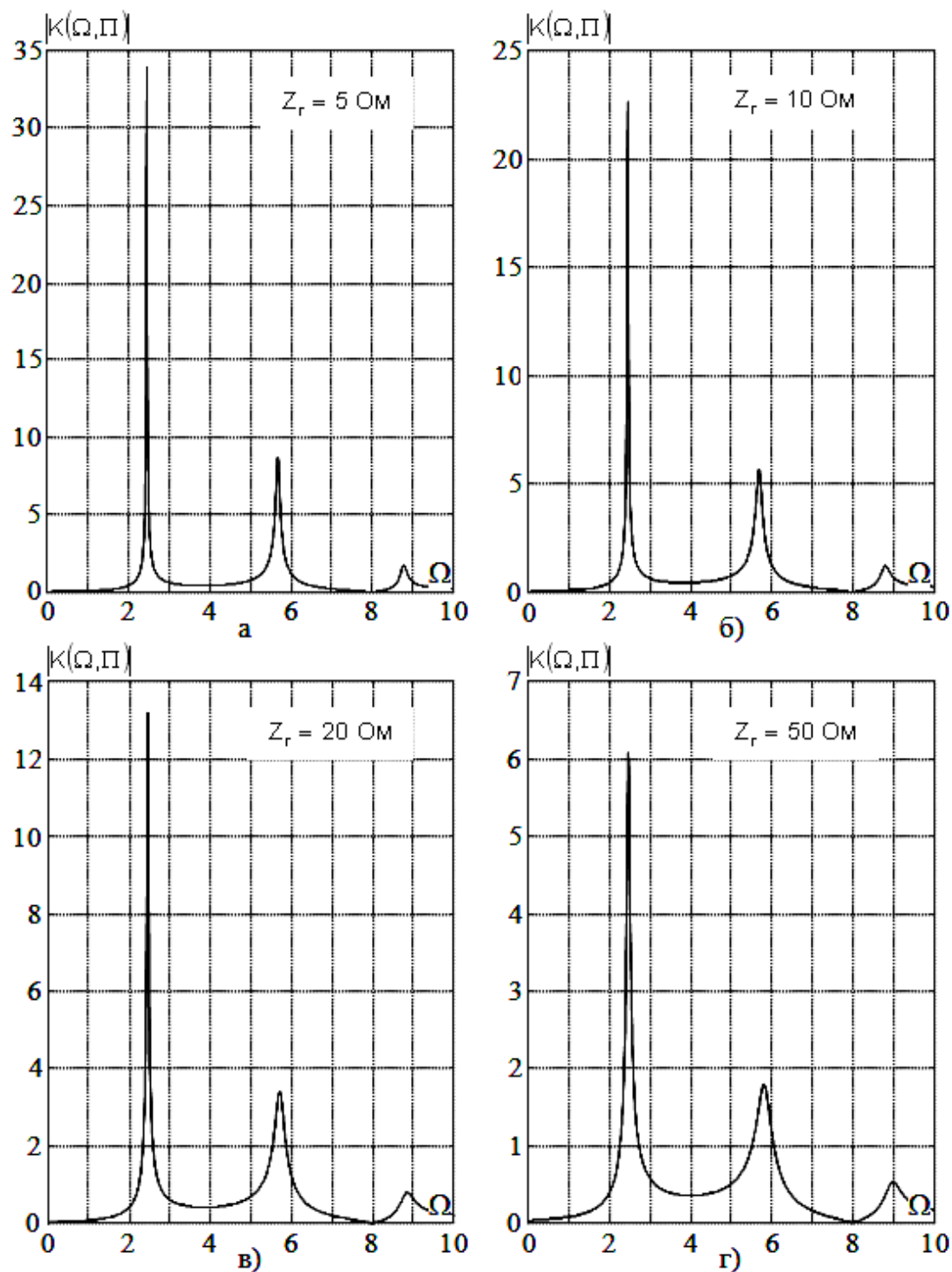


Рис. 5. Влияние выходного сопротивления источника сигнала на частотно зависимое изменение модуля коэффициента трансформации при относительных размерах электродов $R_1/R = 12/25$, $R_2/R = 15/25$, $R_3/R = 0,999$ и электрической нагрузке $Z_H = 10 \text{ кОм}$

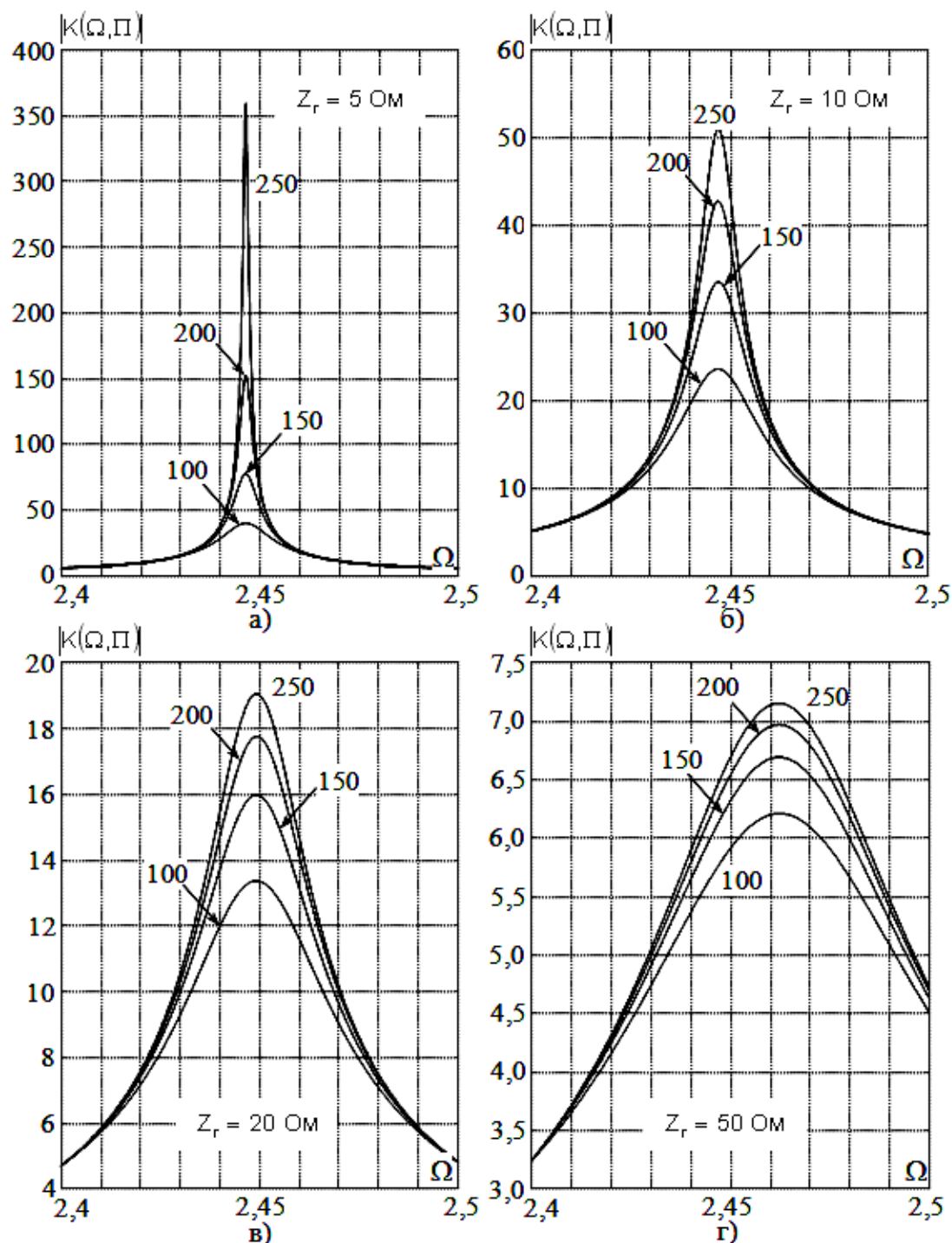


Рис. 6. Влияние выходного сопротивления источника сигнала на частотно зависимое изменение модуля коэффициента трансформации при относительных размерах электродов $R_1/R = 12/25$, $R_2/R = 15/25$, $R_3/R = 0,999$ и электрической нагрузке $Z_n = 10 \text{ кОм}$

Выводы. Основные результаты настоящей работы можно сформулировать следующим образом:

– построена математическая модель пьезоэлектрического трансформатора с коль-

цевым электродом в первичной электрической цепи;

– показана высокая чувствительность частотной характеристики пьезоэлектрического трансформатора к изменениям значений

выходного сопротивления источника электрического сигнала в первичной электрической цепи;

– проведено компьютерное моделирование характеристик пьезоэлектрического трансформатора с кольцевым электродом в первичной электрической цепи при различных значениях выходного сопротивления источника электрического сигнала.

Список литературы

1. Джагунов Р. Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления / Р. Г. Джагунов, А. А. Ерофеев. – С.Пб.: Политехника, 1994. – 608 с.
2. Исследование характеристик пьезоэлектрического трансформатора на основе радиальных колебаний в тонких пьезокерамических дисках / А. В. Богдан, О. Н. Петрищев, Ю. И. Якименко, Ю. Ю. Яновская // Электроника и связь. Темат. вып. «Электроника и нанотехнологии». – 2009. – Ч. 1. – С. 269–274.
3. Математическое моделирование колебаний тонких пьезокерамических дисков для создания функциональных элементов пьезоэлектроники / А. В. Богдан, О. Н. Петрищев, Ю. И. Якименко, Ю. Ю. Яновская // Электроника и связь. Темат. вып. «Электроника и нанотехнологии». – 2009. – Ч. 2. – С. 35–42.
4. Лавриненко В. В. Пьезоэлектрические трансформаторы / В. В. Лавриненко. – М.: Энергия, 1975. – 112 с.
5. Yu-Hsiang Hsu. Electrical and mechanical fully coupled theory and experimental verification of Rosen-type piezoelectric transformers / Yu-Hsiang Hsu, Chih-Kung Lee, Wen-Hsin Hsiao // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. – 2005. – Vol. 52, No. 10.
6. Flynn A. M. Fundamental limits on energy transfer and circuit considerations for piezoelectric transformers / Anita M. Flynn, Seth R. Sanders // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2002. – Vol. 17, No. 1.
7. Заболотный А. М. Исследование характеристик пьезоэлектрического трансформатора, совместимого с микросистемными технологиями [Электронный ресурс] / А. М. Заболотный. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/konfer26/194.pdf>
8. Сеник Н. А. Моделирование и расчет электроупругих полей пьезокерамических оболочек и пластин [Электронный ресурс] / Н. А. Сеник. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-raschet-elektrouprugikh-polei-pezoeramicheskikh-obolochek-i-plastin>
9. Паэранд Ю. Э. Влияние места закрепления пьезотрансформатора на эффективность его работы / Ю. Э. Паэранд, П. В. Охрименко, К. Ю. Филоненко // Современные информационные и электронные технологии: междунар. науч.-практ. конф. – 2014. – С. 69–70.
10. Новые области применения пьезотрансформаторов / В. М. Климашин, В. Г. Никифоров, А. Я. Сафронов, В. К. Казаков // Компоненты и технологии. – 2004. – № 1. – С. 56–60.
11. Day M. Understanding piezoelectric transformers in CCFL backlight applications / Michael Day, Bang S. Lee // Analog Applications Journal. – 2002.
12. Wells E. Comparing magnetic and piezoelectric transformer approaches in CCFL applications / Eddy Wells // Analog Applications Journal. – 2002.
13. Експериментальні частотні характеристики п'єзотрансформатора поперечно-поперечного типу для стабілізації струму люмінесцентної лампи / Шкодзінський О., Беякова І., Пісьціо В., Медвідь В. // Вісник ТНТУ. – 2011. – Т. 16, № 3. – С. 142–148.
14. Тихонов А. Н. Математическая модель / А. Н. Тихонов // Математическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1982. – Т. 3, Коо – Од. – С. 574–575.
15. Петрищев О. Н. Принципы и методы расчета передаточных характеристик дисковых пьезоэлектрических трансформаторов. Ч. 1. Принципы математического моделирования трансформаторов, работающих на планарных осесимметричных колебаниях пьезокерамических дисков / О. Н. Петрищев, К. В. Базило // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – № 3. – С. 10–20.
16. Петрищев О. Н. Принципы и методы расчета передаточных характеристик дисковых пьезоэлектрических трансформаторов. Ч. 2. Методика расчета параметров и характеристик простейшего дискового пьезоэлектрического трансформатора / О. Н. Петрищев, К. В. Базило // Вісник

- Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – № 4. – С. 10–23.
17. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / [под ред. М. Абрамовица и И. Стиган]. – М. : Наука, 1979. – 832 с.
- ### References
1. Dzhagupov, R. G. and Yerofeev, A. A. (1994) Piezoelectronic devices of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politehnika, 608 p. [in Russian].
 2. Bogdan, A. V., Petrishchev, O. N., Yakimenko, Yu. I. and Yanovskaya, Yu. Yu. (2009) Investigation of characteristics of piezoelectric transformer on the basis of radial oscillations in thin piezoceramic disks. *Elektronika i svyaz. Temat. vyp. "Elektronika i nanotehnologiyi"*, P. 1, pp. 269–274 [in Russian].
 3. Bogdan, A. V., Petrishchev, O. N., Yakimenko, Yu. I. and Yanovskaya, Yu. Yu. (2009). Mathematical modeling of vibrations of thin piezoceramic disks to create functional piezoelectronics elements. *Elektronika i svyaz. Temat. vyp. "Elektronika i nanotehnologiyi"*, P. 2, pp. 35–42 [in Russian].
 4. Lavrinenko, V. V. (1975) Piezoelectric transformers. Moscow: Energiya, 112 p. [in Russian].
 5. Yu-Hsiang Hsu, Chih-Kung Lee, Wen-Hsin Hsiao (2005) Electrical and mechanical fully coupled theory and experimental verification of Rosen-type piezoelectric transformers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, Vol. 52, No. 10.
 6. Anita M. Flynn, Seth R. Sanders (2002) Fundamental limits on energy transfer and circuit considerations for piezoelectric transformers. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 17, No. 1.
 7. Zabolotnii, A. M. The investigation of characteristics of piezoelectric transformer, which is compatible with microsystem technologies, available at: <http://www.sworld.com.ua/konfer26/194.pdf>
 8. Senik, N. A. Simulation and calculation of electroelastic fields of piezoceramic shells and plates, available at: <http://www.dissercat.com/content/modelirovaniye-i-raschet-elektroprugikh-polei-piezokeramicheskikh-obolochek-i-plastin>
 9. Paerand, Yu. E, Okhrimenko, P. V. and Filonenko, K. Yu. (2014) The influence of piezoelectric transformer's fixing place on its efficiency. *Sovremennyye informatsionnyye i elektronnyye tehnologiyi: mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, pp. 69–70 [in Russian].
 10. Klimashin, V. M., Nikiforov, V. G., Safonov, A. Ya. and Kazakov, V. K. (2004) New applications of piezoelectric transformers. *Komponenty i tehnologiyi*, No. 1, pp. 56–60 [in Russian].
 11. Day, Michael and Lee, Bang S. (2002) Understanding piezoelectric transformers in CCFL backlight applications. *Analog Applications Journal*.
 12. Wells, Eddy (2002) Comparing magnetic and piezoelectric transformer approaches in CCFL applications. *Analog Applications Journal*.
 13. Shkodzinskii, O., Beliakova, I., Pistisio, V. and Medvid, V. (2011) Experimental frequency characteristics of transverse-transverse type piezoelectric transformer for stabilizing fluorescent lamp current. *Visnyk TNTU*, Vol. 16, No. 3, pp. 142–148 [in Ukrainian].
 14. Tikhonov, A. N. (1982) Mathematical model. In: *Mathematical encyclopedia*. Moscow: Sovetskaya entsiklopedia, Vol. 3, pp. 574–575 [in Russian].
 15. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2015) Principles and methods for calculation of transfer characteristics of disk piezoelectric transformers. Part 1. Principles of mathematical modeling of transformers that operate on planar axisymmetric vibrations of piezoceramic disks. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 10–20 [in Russian].
 16. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2015) Principles and methods for calculation of transfer characteristics of disk piezoelectric transformers. Part 2. The procedure of calculation of parameters and characteristics of the simplest disk piezoelectric transformer. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 10–23 [in Russian].
 17. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables (1979) In: Milton Abramowitz and Irene A. Stegun (eds.). Moscow: Science, 832 p. [in Russian].

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

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

¹National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

²Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF DISK PIEZOELECTRIC TRANSFORMER WITH RING ELECTRODE IN PRIMARY ELECTRICAL CIRCUIT

Power electronic electromagnetic transformers have been the dominating component for converting and transforming of electrical power. The trend of power converters goes in the direction of higher efficiency and smaller volume. Research has shown that piezoelectric transformers (PT) can compete with traditional electromagnetic transformers on both efficiency and power density. PTs are therefore an interesting field of research. PTs are advantageous in DC-DC converter applications and in cold cathode fluorescent lamps (CCFL) drivers. The favorable attributes of the PT are low weight and size and potentially low cost. One additional important characteristic is the high voltage isolation of ceramic materials used to build PTs. The advantages of using piezoelectric transformers to light LCD monitor backlights include its thin thickness, a small temperature rise, and a low electromagnetic interference (EMI) noise. In addition, a piezoelectric transformer is more suitable for mass production than traditional, coil-based transformers.

With the help of a personal computer it is possible in a few hours to model many combinations of geometric, physical and mechanical parameters of specific design of piezoelectric transformer, and to find a combination thereof, which provides an implementation of the devices specified parameters. This allows to sharply reduce the number of natural experiments, which inevitably are carried out in the process of the development of new devices. In addition, using a mathematical model it is easy to determine the characteristics sensitivity of piezoelectric transformer to variations of elements parameters of its design. With access to these dependences, we can implement a rational choice of products manufacturing technology, i.e. choose the least expensive technology from a number of ones. Thus, high-quality mathematical model can significantly reduce the time and cost of developing of piezoelectric transformers new models.

In most papers the described methods for constructing of piezoelectric transformers models are mostly based on the use of equivalent electrical circuits and it does not allow to analyze stress-strain state of solids with piezoelectric effects.

Based on the above, it can be argued that currently there are no reliable and valid methods for 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.

We can formulate the main results of this work as follows:

- mathematical model of piezoelectric transformer with ring electrode in primary electrical circuit is constructed;*
- high sensitivity of frequency characteristic of piezoelectric transformer to the values of output impedance of electrical signal source in primary electrical circuit is demonstrated.*

Keywords: *piezoelectric transformer, axially symmetric oscillations, physical processes, mathematical model.*

Статтю представляє д.т.н., професор О. М. Петріщев, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Л. А. Тарандушка, к.т.н., доцент,
e-mail: Tarandushkalyuda@rambler.ru

М. Л. Павлик, студент

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

РОЗРАХУНОК ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ

Паливна економічність та екологічна чистота автотранспортних засобів стають ключовою проблемою розвитку сучасного автомобілебудування. У сучасних автомобілях екологічна та економічна ефективність впроваджується за рахунок використання електричного привода. Стаття має за мету підвищення ефективності використання електромобілів за рахунок визначення витрат на їх енергоресурси в Україні.

У статті проведено аналіз паливної економічності автомобілів «Skoda Superb», «Honda Accord» і «Tesla Model S». Проведено порівняльний розрахунок еквівалентної витрати енергоресурсів для них. Також визначено, що впровадження екологічно чистих технологій на автомобілях дозволить підвищити їх паливну економічність і знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, гібридний автомобіль, електромобіль, витрати енергоресурсів, енергетичні установки, енергоносії.

Постановка проблеми. Автомобіль XXI ст. має бути екологічно чистим. В усіх розвинених країнах світу реалізуються державні програми з розвитку екологічного, ресурсозберігаючого та економічного транспорту. Паливна економічність та екологічна чистота автотранспортних засобів стають ключовою проблемою розвитку сучасного автомобілебудування. У сучасних автомобілях екологічна та економічна ефективність впроваджується за рахунок використання електричного привода. До таких автомобілів відносяться електромобілі та гібридні автомобілі.

У зв'язку з цим аналіз та розрахунок паливної економічності легкових автомобілів з різними енергетичними установками є актуальними для різних країн світу.

Аналіз останніх джерел. Перспективним екологічно чистим автотранспортним засобом з нульовими викидами шкідливих речовин (Zero Emission Vehicle) є електромобіль.

Питаннями паливної економічності легкових автомобілів займаються О. П. Смирнов, О. Б. Богаєвський, В. Я. Двадненко, А. О. Смирнова.

Корпорації Сполучених Штатів Америки (США) – «Tesla Motors» та «Phoenix Motorcars», Японії – «Nissan» і «Mitsubishi», а також багато інших корпорацій розробили та продають на ринках США, Європи та Азії се-

рійні електромобілі «Tesla Model S», «Mitsubishi I-MiEV», «Nissan Leaf» тощо.

Мета роботи – підвищення ефективності використання електромобілів за рахунок проведення розрахунків витрат на їх енергоресурси в Україні.

Завданнями дослідження є розрахунок паливної економічності легкових автомобілів з різними енергетичними установками, такими як: автомобіль з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) «Skoda Superb», гібридний автомобіль «Honda Accord» та електромобіль «Tesla Model S», визначення паливної економічності легкових автомобілів з різними енергетичними установками в Україні, формулювання висновків щодо найбільш економічних автомобілів серед запропонованих з різними енергетичними установками.

Виклад основного матеріалу. ДВЗ автомобіля в міському режимі руху працює в неоптимальному режимі і з невисоким коефіцієнтом корисної дії (ККД). Це пов'язано з тим, що 75 % легкових автомобілів в Європі проїжджають в день не більше 100 км, а близько 50 % – до 70 км [5]. Для автомобіля це фактично означає, як мінімум, дві поїздки по 10...20 км в кожну сторону. Характерним режимом використання легкового автомобіля є поїздки на роботу і назад. При середній швидкості близько 60 км/год. це означає, що тривалість поїздки становить всього 20...40 хв. У

зв'язку з цим виникає необхідність визначення найбільш економічного міського автомобіля [1].

Створення екологічно чистих авто-транспортних засобів є одним із найбільш перспективних напрямків сучасного автомобілебудування. Впровадження екологічно чистих технологій на автомобілях дозволить підвищити їх паливну економічність і знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу. Екологічно чистий автомобіль, поряд з підвищенням економічності, переходить на новий якісний рівень – рух на електроприводі. Це автомобіль з електричною енергетичною установкою, що має такі позитивні характеристики: низьку собівартість проїзду, підвищений ККД силової установки, низьку або повну відсутність шкідливих викидів в атмосферу, високий рівень інтерфейсу й інші позитивні якості [2].

Електромобілі мають значні перспективи розвитку.

Японська компанія «Mitsubishi Motors» у 2009 р. розпочала промислове виробництво електромобілів на базі «Colt». На ньому були встановлені літій-іонні акумулятори. Існуючі прототипи мали дальність пробігу 200 км.

Ведуться роботи над створенням акумуляторних батарей з малим часом зарядження (близько 15 хв), в тому числі й із застосуванням нано-матеріалів. На початку 2005 р. компанія «Altairnano» оголосила про створення інноваційного матеріалу для електродів акумуляторів. У травні 2006 р. успішно завершилися випробування автомобільних акумуляторів з $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ електродами. Акумулятори мають час зарядження 10-15 хв. [6].

Розглядається також можливість використання як джерел струму не акумуляторів, а іоністорів (суперконденсаторів), що мають дуже малий час зарядження, високу енергоефективність (більше 95%) і набагато більший ресурс циклів зарядження-розрядження (до кількох сотень тисяч). Дослідні зразки іоністорів на графені мають питому енергоємність 32 Вт·год/кг, порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами (30-40 Вт·год/кг) [7].

Розробляються електричні автобуси на повітряно-цинкових (Zinc-air) акумуляторах.

У серпні 2006 р. міністр економіки, торгівлі і промисловості Японії затвердив план розвитку електромобілів, гібридних автомобілів і акумуляторів для них. Планом було пе-

редбачено до 2010 р. розпочати в Японії масове виробництво двомісних електромобілів з дальністю пробігу 80 км на одному зарядженні, а також збільшити виробництво гібридних автомобілів [3].

За прогнозами «Price Waterhouse Coopers», до 2017 р. світове виробництво електромобілів зросте до 500 тис. од. на рік.

Всі сучасні електромобілі створені на основі концепт-карів. Для прикладу, «General Motors» у січні 2007 р. представив концепт-кар «Chevrolet Volt», здатний проїжджати в режимі електромобіля 185 км. На франкфуртському автосалоні було представлено електричний концепт-кар «Trabant NT», покликаний відродити славетну марку «Trabant».

Також відомим став прототип «Eliica» (Electric Lithium-Ion Car), що дебютував у 2003 р. під назвою «KAZ» як 8-місний 8-колісний концепт лімузинно-вагонної компоновки довжиною 6,7 м. Він встановив кілька світових рекордів швидкості. Згодом концепт-кар було доопрацьовано і представлено споживачам під назвою «Eliica». Машина довжиною 5,1 м оснащена літій-іонним акумулятором і здатна розганятися до 100 км/год. за 4 с, максимальна швидкість становить 370 км/год. (рекорд продемонстрований на італійському автодромі «Нардо»).

Позитивним фактором для електромобілів буде те, що в Україні відкриваються 34 нові електрозаправні пункти для електромобілів. Всі заправні станції знаходяться на території АЗС «ОККО» при мережі дорожніх ресторанів «La Minute» і розкидані по всій Україні. Заряджати електроавтомобілі на цих станціях можна абсолютно безкоштовно.

Станції будуть універсальними для всіх моделей електромобілів і встановлюються на основних автомобільних артеріях країни. У Київській області всього сім пунктів електрозаправлення. Ще сім – у Львівській, п'ять – у Дніпропетровській, три – в Рівненській, по дві – у Волинській, Одеській, Харківській та Черкаській і по одній – в Житомирській, Закарпатській, Кіровоградській та Полтавській областях. Подивитися їх розміщення можна на карті сервісу «Plug Share» [4].

Також у США компанія «Тесла» впровадила експрес-заміну акумуляторних батарей. Процес виглядає таким чином: електромобіль зупиняється над технологічним отвором на

станції, де сенсори вирівнюють його таким чином, щоб автоматизована система змогла, відкрутивши болти, витягти розряджену батарею і встановити на її місце нову. Таким чином, жодної участі ні самого водія, ні «заправника» не потрібно. Витрачений час на заміну акумулятора становить приблизно 90 с.

Для автомобілів з ДВЗ та гібридних автомобілів розрахунок паливної економічності визначається шляхом витрати палива на 100 км пробігу в змішаному циклі руху. Дані по витратах палива беруть з технічних характеристик автомобілів.

«Skoda Superb» (2015 р. в.) витрачає 7,1 л палива в змішаному циклі руху (бензин А-95) на 100 км пробігу (далі – л/100 км).

«Honda Accord» (2014 р. в.) у змішаному циклі руху витрачає (бензин А-95) 4,5 л/100 км.

Середня вартість бензину А-95 на заправних станціях України у квітні 2016 р. досягла 20,17 грн. за 1 л.

Розраховуємо витрати на паливо $B_{100 \text{ км. пр.}}$ для автомобіля з ДВЗ та гібридного автомобіля на 100 км пробігу (далі – км пробігу).

Для автомобіля з ДВЗ («Skoda Superb» 2015 р. в.):

$$B_{100 \text{ км. пр.}} = C_{1 \text{ л. п.}} \cdot W_{\text{л. п./100 км}} = 20,17 \cdot 7,1 = 143,21 \text{ (грн.)}, \quad (1)$$

де $B_{100 \text{ км. пр.}}$ – витрати на бензин на 100 км пробігу, грн.;

$C_{1 \text{ л. п.}}$ – середня ціна 1 л бензину в Україні на квітень 2016 р., грн.;

$W_{\text{л. п./100 км}}$ – витрата бензину на 100 км пробігу, л/100 км.

Для гібридного автомобіля («Honda Accord» 2014 р. в.):

$$B_{100 \text{ км. пр.}} = C_{1 \text{ л. п.}} \cdot W_{\text{л. п./100 км}} = 20,17 \cdot 4,5 = 90,76 \text{ (грн.)}. \quad (2)$$

Отже, ми визначили, що для подолання 100 км шляху автомобіля з бензиновим ДВЗ («Skoda Superb» 2015 р. в.) потрібно витратити 143 грн. 21 коп., а гібридному автомобілю («Honda Accord» 2014 р. в.) – 90 грн. 76 коп.

Для визначення паливної економічності електромобіля потрібно визначити: тариф на електроенергію на квітень 2016 р., витрату електроенергії акумуляторної батареї елект-

ромобіля для подолання 1 км шляху, вартість електроенергії, яку витрачає електромобіль на 1 км пробігу, та вартість електроенергії, яку витрачає електромобіль на 100 км пробігу.

Середнє значення вартості 1 кВт·год. електроенергії, що відпускається населенню та населеним пунктам (з урахуванням ПДВ), на квітень 2016 р. становить від 57 до 156 коп. Для розрахунку приймемо середнє значення тарифу за електроенергію для населення 0,99 грн./кВт·год. за обсяг, спожитий до 600 кВт·год. електроенергії на місяць, тому що зарядження тягової акумуляторної батареї електромобіля потребує значних витрат електричної енергії.

З урахуванням ККД зарядного пристрою (ЗП) η ККД ЗП для «Tesla Model S» становить понад 90% (приймаємо 90%), визначаємо вартість 1 кВт·год. енергії $C_{\text{Ел.ТАБ}}$, що запасється в тяговій акумуляторній батареї електромобіля від стаціонарної електричної мережі 220 В, 50 Гц.

$$C_{\text{Ел.ТАБ}} = (C_{\text{кВт}} / \eta) \cdot 100\% = (0,99 / 90) \cdot 100\% = 1,1 \text{ (грн./кВт·год.)}, \quad (3)$$

де $C_{\text{кВт}}$ – тариф на електроенергію за 1 кВт·год. на квітень 2016 р., грн.;

η – ККД зарядного пристрою (90 %).

Вартість електроенергії $C_{\text{Ел.енерг.}}$, що витрачає електромобіль на 1 км пробігу,

$$C_{\text{Ел.енерг.}} = W_{\text{Ел.енерг.}} \cdot C_{\text{Ел.ТАБ}} = 0,239 \cdot 1,1 = 0,26 \text{ (грн./км)}, \quad (4)$$

де $W_{\text{Ел.енерг.}}$ – витрата електроенергії акумуляторної батареї електромобіля на 1 км пробігу, кВт·год./км.

Вартість електроенергії $C_{\text{Ел.енерг.(100)}}$, що витрачає електромобіль на 100 км пробігу,

$$C_{\text{Ел.енерг.(100)}} = C_{\text{Ел.енерг.}} \cdot 100 = 0,26 \cdot 100 = 26 \text{ (грн./100 км)}. \quad (5)$$

Результати досліджень. Проводимо порівняння витрат на енергоресурси для автомобіля з ДВЗ («Skoda Superb» 2015 р. в.), гібридного автомобіля («Honda Accord» 2014 р. в.) та електромобіля («Tesla Model S» 2015 р. в.).

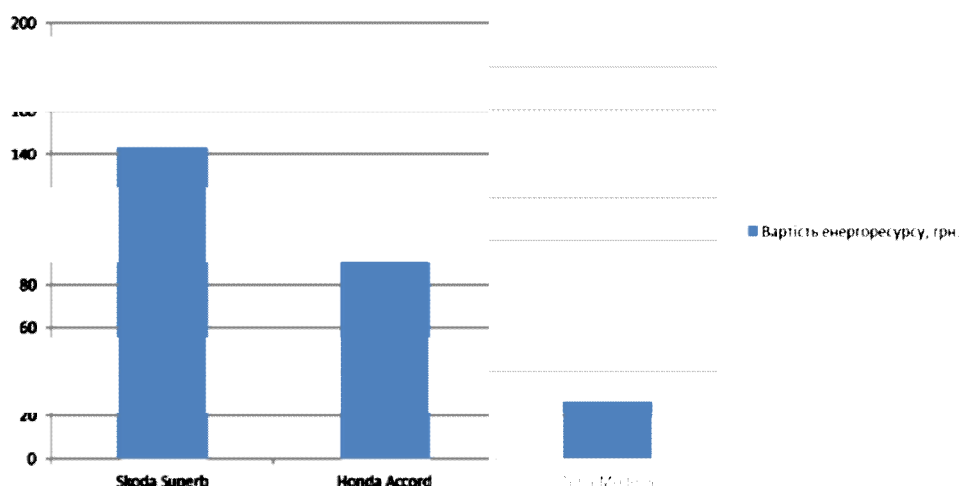
Для порівняння вищезазначених розрахунків заносимо розраховані дані в табл. 1. Для наочного порівняння розрахункових даних показуємо їх на рис. 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунку паливної економічності легкових автомобілів
з різними енергетичними установками**

Параметр	Розмірність	Автомобіль		
		Skoda Superb	Honda Accord	Tesla Model S
Вартість енергоресурсів для кожного типу автомобіля	(грн./1 л.п.) (грн./188т-год)	20,17	20,17	0,99
Витрата енергоресурсів на 1 км. пробігу	(л./1 км) (кВт-год/1 км)	0,071	0,045	0,239
Витрата енергоресурсів на 100 км. пробігу	(л./100 км) (кВт-год/100 км)	7,1	4,5	23,9
Вартість енергоресурсів на 100 км пробігу	(грн./100 км.)	141,71	90,76	26

Вартість енергоресурсів на 100 км. пробігу



**Рис. 1. Результати розрахунку паливної економічності легкових автомобілів
з різними енергетичними установками**

Результати розрахунку показують, що:

- витрати електроенергії на 100 км пробігу для електромобіля майже у 3,5 (3,49) разу менші, ніж витрати палива у гібридного автомобіля;

- витрати електроенергії на 100 км пробігу для електромобіля у 5,5 разу менші, ніж у автомобіля з ДВЗ.

Висновки. У статті було виконано аналіз переваг та недоліків використання електромобілів, гібридних автомобілів та автомобілів з ДВЗ і розрахунок паливної економічності легкових автомобілів з ДВЗ, гібридного автомобіля та електромобіля. Розрахунки та отримані дані було порівня-

но і встановлено, що електромобіль значно вигідніший в експлуатації, ніж автомобіль з ДВЗ та гібридний автомобіль.

Список літератури

1. Смирнов О. П. Розрахунок еквівалентних витрат палива електромобілями у різних країнах / О. П. Смирнов, О. Б. Богаєвський // Вид. ХНАДУ. – 2013. – № 1. – С. 25–31.
2. Pesaran, A. Addressing the impact of temperature extremes on large format Li-Ion batteries for vehicle applications / Ahmad Pesaran, Shriram Santhanagopalan,

- and Gi-Heon Kim // 30th International Battery Seminar, Ft. Lauderdale, FL; March 11-14, 2013. NREL Report No. PR-5400-58145.
3. <http://hybroid.ru/honda-accord.hybrid.html>
 4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S
 5. <http://vseazs.com/>
 6. <http://www.nerc.gov.ua/?id=14359>
 7. <http://motocarrello.ru/jelektromobili-tesla/1131-zarjadka-tesla-model-s.html>
- countries. *Vyd. KhNADU*, No. 1, pp. 25–31 [in Ukrainian].
2. Pesaran, Ahmad, Santhanagopalan, Shriram and Kim, Gi-Heon (2013) Addressing the impact of temperature extremes on large format Li-Ion batteries for vehicle applications. Presented at 30th International Battery Seminar, Ft. Lauderdale, FL; March 11-14. NREL Report No. PR-5400-58145.
 3. <http://hybroid.ru/honda-accord.hybrid.html>
 4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S
 5. <http://vseazs.com/>
 6. <http://www.nerc.gov.ua/?id=14359>
 7. <http://motocarrello.ru/jelektromobili-tesla/1131-zarjadka-tesla-model-s.html>

References

1. Smyrnov, O. P. and Bohayevs'kyi, O. B. (2013) The calculation of equivalent fuel consumption by electric cars in various

L. A. Tarandushka, Ph.D., associate professor,
e-mail: Tarandushkalyuda@rambler.ru

M. L. Pavlic, student
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

FUEL ECONOMY CALCULATION FOR CARS WITH DIFFERENT POWER PLANTS

Introduction. The car of the XXI century should be environmentally safe. State programs on the development of ecological, resource saving and efficient transport are being implemented in all developed countries. Fuel efficiency and environmental safety of motor vehicles become a key problem of the development of modern motor industry. In modern motor vehicles environmental and economic efficiency is introduced by the use of electric drive. Such vehicles include electric vehicles and hybrid cars. In this regard, the analysis and calculation of fuel economy for cars with different electric power plants are relevant for different countries.

The purpose of the study, statement of the problem. This work aims at the increase of efficiency of the use of electric vehicles by determining the costs of their energy resources in Ukraine.

The task of the study is to calculate fuel economy of cars with various power plants, such as: a vehicle with combustion engine (Skoda Superb), hybrid car (Honda Accord) and electric car (Tesla Model S).

Presentation of the basic material. The creation of environmentally safe vehicles is one of the most promising areas of modern motor industry. The introduction of environmentally safe technologies on motor vehicles will improve their fuel efficiency and reduce the emission of harmful substances into the atmosphere.

Results. The design of passenger cars with different power plants is examined. Fuel economy of Skoda Superb, Honda Accord and Tesla Model S is analyzed. A comparative calculation of equivalent cost of energy for different types of cars is made.

Insights. It is established that electric cars are much more economically advantageous to operate than hybrid ones and cars with combustion engine.

Key words: engine, hybrid car, electric car, energy consumption, power plants, energy sources.

Рецензенти: О. М. Пилипенко, д.т.н., професор,
Г. В. Канашиевич, д.т.н., професор

Э. В. Фауре, к.т.н., доцент

e-mail: faureemil@gmail.com

Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

ФАКТОРИАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ДАННЫХ

В работе предложен и подробно рассмотрен метод факториального кодирования с восстановлением данных по перестановке. Предложенный метод направлен на комплексное решение задач криптографической защиты и защиты данных от ошибок канала связи. Факториальный код с восстановлением данных по перестановке является несистематическим кодом, предусматривающим замену информационной последовательности на перестановку чисел, вычисленную по всем информационным битам. Определены основные свойства предложенного кода, для которого выполнена оценка достоверности передачи, крипто- и имитостойкости. Изучены зависимости оценок вероятностей необнаруженной ошибки, энергетического выигрыша и скорости кода от длины информационного вектора на входе кодера. Выполнен сравнительный анализ известных факториальных кодов, приведена их классификация, даны рекомендации по применению.

Ключевые слова: факториальный код, перестановка, контроль целостности информации, криптозащита, помехоустойчивое кодирование, достоверность передачи, стойкость.

Постановка проблемы. В настоящее время при разработке и сопровождении информационно-телекоммуникационных систем и сетей необходимым условием является обеспечение конфиденциальности и контроля целостности передаваемой информации (КЦИ). Отметим, что КЦИ предусматривает комплексную защиту от навязывания ложных данных и обнаружение ошибок, вносимых каналом связи в процессе передачи сообщения.

Методы кодирования, обеспечивающие комплексное решение задач криптозащиты, имитозащиты и защиты данных от ошибок канала связи, позволяют повысить эффективность средств обработки информации за счет уменьшения вводимой избыточности и используемых вычислительных ресурсов, а разработка таких методов является актуальным направлением исследований.

Анализ источников и публикаций. Полученные в [1–3] результаты показывают эффективность применения факториального кодирования для задач КЦИ. При этом под факториальным кодированием информации понимается кодирование, использующее факториальную систему счисления для формирования кодового слова [3].

Так, в работе [2] исследованы свойства полного факториального кода (ПФК) [3], который в качестве проверочной части кодового слова использует перестановку чисел, опреде-

ляющуюся информационной последовательностью и алгоритмом кодирования. Здесь и далее под перестановкой порядка M понимается упорядоченный набор символов $\{0; 1; 2; \dots; M-1\}$.

Работа [2] направлена на исследование комбинированного факториального кода (КФК). В качестве проверочной части кодового слова КФК использует контрольную сумму циклического избыточного кода (CRC), вычисленную по проверочной части кодового слова ПФК.

Следует отметить, что ПФК и КФК являются систематическими избыточными кодами, которые направлены на решение задач КЦИ и не обеспечивают криптографической защиты передаваемой информации.

Целью данной работы является разработка и анализ метода факториального кодирования информации, реализующего в себе функции обнаружения ошибок в канале связи и криптозащиты данных, а также оценка его характеристик в системах передачи данных с решающей обратной связью (РОС). При этом оценке подлежат:

- скорость кода;
- вероятность не обнаруженной кодом ошибки;
- вероятность взлома кода методом «грубой силы».

Решение задачи. В силу того, что разрабатываемый код должен решать задачу

криптографической защиты передаваемого сообщения, он не может быть систематическим и содержать в кодовом слове информацию в открытом виде. Поэтому открытые данные с помощью хранящегося в тайне ключа должны быть преобразованы в шифртекст, который, помимо криптографической защиты, должен дополнительно обеспечить функции помехоустойчивого кодирования.

В качестве кода, удовлетворяющего предъявленным требованиям, предлагается факториальный код с восстановлением данных по перестановке.

Определение 1. Факториальным кодом с восстановлением данных по перестановке (ФКВД) называется несистематический код, предусматривающий замену информационной последовательности из k бит на перестановку чисел порядка M ($M! \geq 2^k$), вычисленную по всем k информационным битам.

Концепция метода. Как и в [2, 3], используем широко принятый [4, с. 601; 5, с. 232; 6, с. 361] подход к рассмотрению векторов над полем F_2 в виде элементов алгебры многочленов с коэффициентами из F_2 .

ФКВД (FCDR – Factorial Code with Data Recovery by Permutation) предусматривает замену информационной последовательности из k бит (вектора $A(x)$) на перестановку $R_{FCDR}(x)$ порядка M . При кодировании символов перестановки равномерным двоичным кодом ее длина $r = r_{FCDR} = M \cdot (\text{entier}(\log_2 M) + 1)$ бит, функция $\text{entier}(a)$ определяет наибольшее целое, меньшее, чем a . Перестановка в двоичном виде передается по каналу связи получателю. На станции приема выполняется обратное преобразование, что приводит к восстановлению k бит исходного блока данных и обеспечивает скорость кода:

$$v_{FCDR} = k/r_{FCDR}. \quad (1)$$

График зависимости скорости ФКВД от размера блока данных k на входе кодера показан на рис. 1. При этом значение M выбирается таким образом, чтобы $(M-1)! < 2^k \leq M!$.

Очевидно, что максимальная скорость ФКВД достигается при $(M! - 2^k) \rightarrow 0$ и $(\log_2 M - (\text{entier}(\log_2 M) + 1)) \rightarrow 0$. Поэтому с этой целью параметры кода целесообразно

выбирать таким образом, чтобы $\log_2 M \in \mathbb{Z}$, а длина блока данных k на входе кодера удовлетворяла условию $2^k \leq M! < 2^{k+1}$.

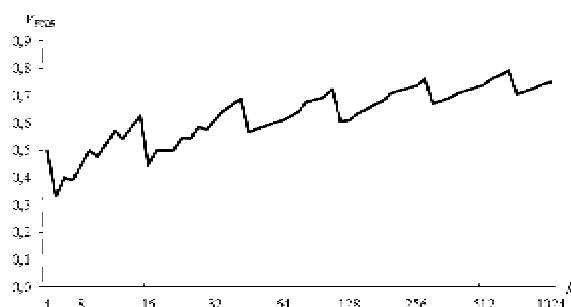


Рис. 1. График зависимости скорости ФКВД от размера блока данных на входе кодера

Заметим, что для обеспечения возможности восстановления данных по перестановке отображение $A(x) \leftrightarrow R_{FCDR}(x)$ должно быть биективным: каждому значению информационного вектора должна соответствовать одна перестановка, а каждой перестановке должно соответствовать одно значение информационного вектора. Следовательно, множества информационных векторов и перестановок должны быть равномощными. Поскольку $\log_2(M!) \notin \mathbb{Z}$ при $M \geq 3$, равенство $M! = 2^k$ справедливо только для $M=2$ и $k=1$. Поэтому в других случаях, которые представляют значительно больший интерес, необходимо соблюдать условие $M! > 2^k$, при этом $(M! - 2^k)$ перестановок должны быть запрещенными. В этом случае множество значений информационных векторов и множество разрешенных перестановок равномощны.

Соблюдение указанного условия может быть достигнуто следующим образом. Преобразование $f_{FCDR}: A(x) \rightarrow R_{FCDR}(x)$ заключается в преобразовании числа $A(x)$, представленного в двоичной системе счисления, в число A_F , представленное в факториальной системе счисления, с последующим его преобразованием в синдром S_F и перестановку π (см. [1, 7, 8, 9]) и кодированием ее символов равномерным двоичным кодом. Тогда $f_{FCDR}: A(x) \rightarrow A_F \rightarrow S_F \rightarrow \pi \rightarrow R_{FCDR}(x)$, а $f_{FCDR}^{-1}: R_{FCDR}(x) \rightarrow \pi \rightarrow S_F \rightarrow A_F \rightarrow A(x)$. Преобразования $A_F \leftrightarrow S_F \leftrightarrow \pi \leftrightarrow R_{FCDR}(x)$ для определенной выше процедуры формирования

перестановки по ее синдрому при фиксированной базовой перестановке $\pi(0)$ являются взаимно-однозначными. В свою очередь, преобразование $A_F \leftrightarrow A(x)$, предусматривающее преобразование числа A_F из факториальной в двоичную $(A(x))$ систему счисления и наоборот, также является взаимно-однозначным. Тогда численное значение $R_{FCDR}(x)$ не превышает значения $(2^k - 1)$, а все значения, большие $(2^k - 1)$, являются запрещенными.

Для разрушения статистической связи между информационной последовательностью $A(x)$ и соответствующей ей перестановкой $R_{FCDR}(x)$ последовательность $A(x)$ целесообразно подвергнуть скремблированию. Параметры скремблера могут храниться в секрете, что дополнительно повышает криптографическую стойкость преобразования.

Представление двоичного вектора $A(x)$ в факториальной системе счисления A_F решает задачу формирования проверочной части (перестановки) в зависимости от всех информационных символов, исключая при этом коллизии. Недостатком такого представления является невысокая скорость формирования перестановки за счет необходимости обработки двоичных чисел большой размерности. Альтернативой прямому преобразованию $A(x) \rightarrow A_F$ может служить следующая процедура:

- в память однократно записываются числа 2^j , $j \in [0, k-1]$, в факториальной системе счисления $\{A_F(2^{k-1}), A_F(2^{k-2}), K, A_F(2^1), A_F(2^0)\}$;
- по правилам сложения факториальных чисел $A_F = \sum_{i=0}^{k-1} a_i \cdot A_F(2^i)$, где a_i – i -й бит информационной последовательности. По полученному значению A_F легко определяется синдром S_F и перестановка π .

Такая процедура позволяет сократить время преобразования $A(x) \rightarrow A_F$, однако требует дополнительной памяти для хранения чисел $A_F(2^j)$, $j \in [0, k-1]$.

Оценка достоверности передачи. Все характеристики предложенного метода кодирования будем определять для простейшей

системы передачи данных с РОС, где прямой канал – двоичный симметричный с переходной вероятностью p_0 ($q_0 = 1 - p_0$), обратный канал – идеальный, а символы, составляющие сообщение, являются элементами поля $F_2 = \{0; 1\}$.

Прежде всего, отметим, что в приемнике выполняется проверка корректности принятой из канала последовательности. Если в этой последовательности каждый из символов $\{0; 1; 2; \dots; M-1\}$ встречается ровно по одному разу, то полученная последовательность представляет собой перестановку и поступает на вход декодера. Если в принятой из канала последовательности пропущены или повторно применены какие-либо символы, то эта последовательность символов не является перестановкой и такой блок в системе с РОС подлежит переспросу.

Вероятность не обнаруженной декодером ФКВД ошибки $P_{ud}(FCDR, p_0)$ определяется вероятностью появления в канале связи такого вектора ошибок, который преобразует переданную перестановку в какую-либо из $(2^k - 1)$ других разрешенных перестановок. Если же все перестановки разрешены и обратное преобразование $f_{FCDR}^{-1}: R_{FCDR}(x) \rightarrow A(x)$ сюръективно, вероятность необнаруженной ошибки определяется вероятностью преобразования перестановки в какую-либо из $(M! - z)$ других перестановок, где z – количество перестановок, которые в результате обратного преобразования $f_{FCDR}^{-1}: R_{FCDR}(x) \rightarrow A(x)$ формируют переданную последовательность.

Поскольку $\begin{cases} 2^k - 1 \leq M! - 1, \\ M! - z \leq M! - 1, \end{cases}$ справедлива

оценка $P_{ud}(FCDR, p_0) \leq p_r$, где p_r вычислено в [2] (см. формулы (5–7), (10)) и определяет вероятность преобразования перестановки в другую перестановку при ее передаче по каналу связи:

$$P_{ud}(FCDR, p_0) \leq \sum_{i=1}^{m_1} f_{per}(2i) p_0^{2i} q_0^{r-2i} + \Delta_{per}(m_1), \quad (2)$$

где $f_{per}(0) = 1$; $f_{per}(2) \leq l_r \cdot M/2$;

$$f_{per}(4) \leq l_r \cdot M \cdot (l_r \cdot (M + 8) - 10)/8, \quad (3)$$

$$\Delta_{per}(m_1) \leq e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^{2(m_1+1)}}{(2(m_1+1))!} \times \frac{(2m_1+3)^2}{(2m_1+3)^2 - \lambda^2}, \quad (4)$$

$$l_r = \text{entier}(\log_2 M) + 1;$$

$$r = l_r \cdot M, \quad \lambda = r \cdot p_0;$$

m_1 выбирается таким образом, чтобы $m_1 > (\lambda - 3)/2$ и оценка $\Delta_{per}(m_1)$ не превышала заданной максимальной погрешности вычислений.

Пример. Оценим энергетический выигрыш ФКВД для некогерентного приема при $k = 716$, $p_0 = 10^{-3}$. Для $M = 128$ скорость кода $v_{FCDR} = 716/896 = 0.799$, а $P_{ud}(FCDR, p_0) \leq 4.814 \cdot 10^{-4}$. Энергетический выигрыш $\Delta P \geq 3.08$ дБ.

На рис. 2, а приведен график зависимости оценки вероятности необнаруженной ошибки от размера блока данных k на входе кодера в результате применения ФКВД при $p_0 = 10^{-3}$ и $M : (M-1)! < 2^k \leq M!$. На рис. 2, б дополнительно точками отображены оценки вероятности необнаруженной ошибки, достигаемые в результате применения ПФК при идентичных ФКВД длине информационной части блока k и скорости кода.

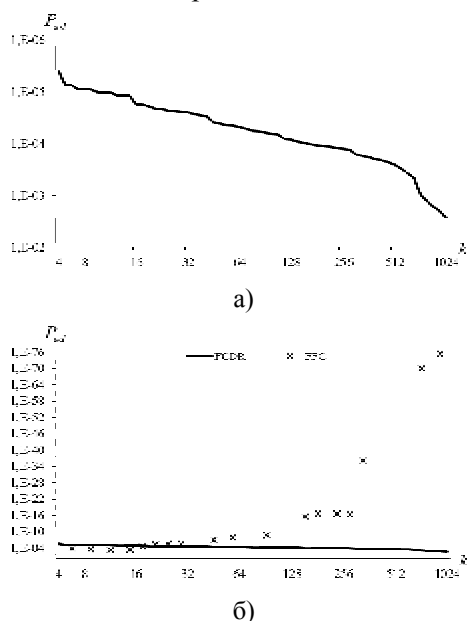


Рис. 2. Графики зависимостей оценок вероятностей необнаруженной ошибки от размера блока данных на входе кодера для ФКВД (а); ФКВД и ПФК (б) при $p_0 = 10^{-3}$

На рис. 3, а показан график зависимости оценки энергетического выигрыша ФКВД от размера блока данных k на входе кодера при $p_0 = 10^{-3}$ и $M : (M-1)! < 2^k \leq M!$. На рис. 3, б дополнительно точками отображены оценки энергетического выигрыша ПФК при идентичных значениях длины информационной части блока k и скорости кода.

Рис. 2 и 3 свидетельствуют о том, что при малых значениях k ($k \leq 18$ для $p_0 = 10^{-3}$) энергетический выигрыш ФКВД превышает соответствующий энергетический выигрыш ПФК ($\Delta P_{FCDR} - \Delta P_{FFC} \leq 1.5$ дБ) при одинаковых скоростях кодов и кодировании символов перестановок равномерным двоичным кодом. В остальных случаях обнаруживающая способность ФКВД уступает обнаруживающей способности ПФК.

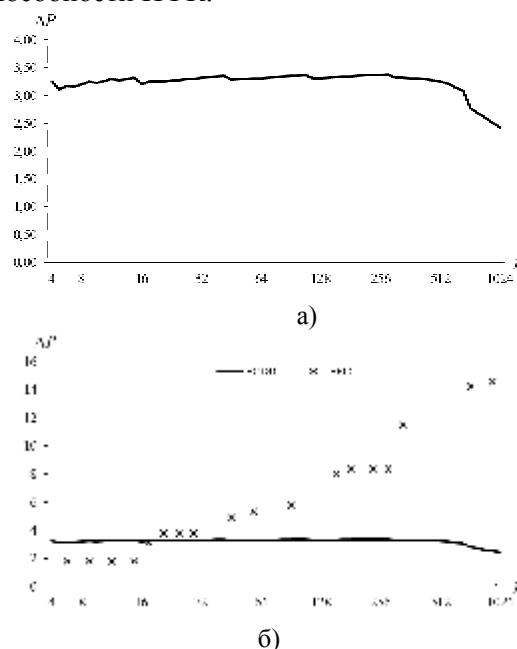


Рис. 3. Графики зависимостей оценок энергетического выигрыша от размера блока данных на входе кодера для ФКВД (а); ФКВД и ПФК (б) при $p_0 = 10^{-3}$

Оценка крипто- и имитостойкости ФКВД. Выполним количественную оценку стойкости ФКВД от несанкционированного чтения и/или навязывания ложных данных при атаке только на передаваемые данные и взломе методом «грубой силы» путем перебора множества значений ключевого пространства.

Вероятность взлома ФКВД методом грубой силы при однократной попытке подбора ключа $P_{UR}(FCDR) \leq (M!)^{-2}$.

Учитывая, что перестановка может быть легко модифицирована криптоаналитиком, ФКВД не обеспечивает имитозащиты сообщения.

Среднее время взлома системы КЦИ (системы защиты от НСД, подбора имитовставки) определяется выражением $T_{br} = 0.5 / (P_{br} \cdot N)$ с, где P_{br} – вероятность взлома системы КЦИ (системы защиты от

НСД, подбора имитовставки) для анализируемого кода, N – производительность компьютерной группировки, выполняющей процедуру взлома (ключей/с).

Классификация методов факториального кодирования. Выполним сравнительную оценку факториальных кодов и CRC-кода. Результаты анализа приведем в табл. 1.

Таблица 1

Свойства помехоустойчивых кодов

Код	Систематический	Помехоустойчивый	Криптостойкий	Имитостойкий	Самосинхронизирующийся
ПФК	+	+	-	+	+
КФК	+	+	-	+	-
ФКВД	-	+	+	-	+
CRC	+	+	-	-	-

Анализ свойств представленных помехоустойчивых кодов позволяет сформулировать следующие рекомендации по их применению:

1) при необходимости обеспечения КЦИ при ее передаче или хранении можно использовать ПФК или КФК. Причем, если не требуется самосинхронизации кода, более эффективно использовать КФК;

2) при необходимости совмещения свойств обнаружения ошибок в канале связи и защиты информации от несанкционированного доступа можно использовать ФКВД.

Выводы. Выполненная работа позволила разработать метод факториального кодирования с восстановлением данных по перестановке, который направлен на защиту информации от несанкционированного доступа и ошибок канала связи.

Свойства ФКВД:

– обеспечивает защиту от несанкционированного чтения, поскольку ключ формирования перестановки по информационной последовательности хранится в секрете;

– обеспечивает защиту от ошибок в канале связи;

– не обеспечивает имитозащиту;

– при одинаковых длине кодовой комбинации и скорости кода обнаруживающая способность ФКВД при малой длине блока данных на входе кодера ($k \leq 18$ для $p_0 = 10^{-3}$) выше, чем ПФК, однако ниже CRC-кода;

– обладает свойством самосинхронизации, которое обусловлено тем, что символы

$\{0; 1; \dots; M-1\}$ встречаются в перестановке ровно по одному разу, а их сумма равна $\sigma = 0,5M(M-1)$;

– исключает коллизии.

Список литературы

1. Фауре Э. В. Метод формирования имитовставки на основе перестановок [Электронный ресурс] / Э. В. Фауре, В. В. Швыдкий, В. А. Щерба // Захист інформації. – 2014. – № 4, т. 16. – С. 334–340. – Режим доступа: <http://jml.nau.edu.ua/index.php/ZI/article/view/334/8755>
2. Фауре Э. В. Контроль целостности информации на основе факториальной системы счисления / Э. В. Фауре, В. В. Швыдкий, В. А. Щерба // Journal of Qafqaz University. Mathematics and computer science. – 2016. – № 2, т. 4. – (В печати).
3. Фауре Э. В. Комбинированное факториальное кодирование и его свойства / Э. В. Фауре, В. В. Швыдкий, В. А. Щерба // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 3. – (В печати).
4. Лидл Р. Конечные поля : в 2 т. / Р. Лидл, Г. Нидеррайтер ; пер. с англ. под ред. Нечаева В. И.]. – М. : Мир, 1988. – Т. 2. – 822 с. – (Редакция литературы по математическим наукам).
5. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон ; пер. с англ. под ред. Р. Л. Добрушина, С. И. Самойленко] – М. : Мир, 1976. – 590 с. – (Редакция литературы по новой технике).

6. Прокис Д. Цифровая связь / Джон Прокис ; пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского]. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
7. Фауре Э. В. Метод формирования воспроизводимой непредсказуемой последовательности перестановок [Электронный ресурс] / Э. В. Фауре, В. В. Швидкий, А. И. Щерба // Безпека інформації. – 2014. – № 3, т. 20. – С. 253–258. – Режим доступа : <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/Infosecurity/article/view/7552/8608>
8. Пат. 106668 Україна, МПК G06F 7/58 (2006.01). Спосіб формування випадкової послідовності перестановок / Фауре Е. В., Швидкий В. В., Щерба А. І. ; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № а201505933; заявл. 16.06.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
9. Пат. 106669 Україна, МПК G06F 21/64 (2013.01). Спосіб формування імітовставки / Фауре Е. В., Швидкий В. В., Щерба А. І. ; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № а201505934; заявл. 16.06.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
3. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, V. A. (2016). Combined factorial coding and its properties. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnya*, (3), (in print) [in Russian].
4. Lidl, Rudolf, and Niederreiter, Harald (1997) Finite fields. Cambridge: Cambridge UP.
5. Peterson, W. W. and Weldon, E. J. (1972) Error-correcting codes. 2nd ed. Cambridge (Mass.); London : M.I.T., 1972.
6. Proakis, John G. (2001) Digital communications. Boston: McGraw-Hill.
7. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. (2014). Method of forming reproducible and unpredictable sequence of permutations. *Bezpeka Informatsiyi*, 3 (20), pp. 253–258, available at: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/Infosecurity/article/view/7552/8608>
8. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. (2016) Patent of Ukraine 106668. MPK G06F 7/58 (2006.01) The method of formation of random permutations sequence. The owner Cherkasy State Technological University, No. a201505933, stated 16.06.2015; publ. 10.05.2016, Bul. No. 9.
9. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. (2016) Patent of Ukraine 106669. MPK G06F 21/64 (2013.01). The method of message authentication code formation. The owner Cherkasy State Technological University, No. a201505934, stated 16.06.2015; publ. 10.05.2016, Bul. No. 9.

References

1. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, V. A. (2014). Method of message authentication code formation based on permutations. *Zakhyst informatsiyi*, (4), pp. 334–340, available at: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ZI/article/view/334/8755>
2. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. (2016). Information integrity control

E. V. Faure, *Ph.D., associate professor*,
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: faureemil@gmail.com

FACTORIAL CODING WITH DATA RECOVERY

Introduction. Methods of coding that provide a comprehensive solution of cryptographic protection, protection against intentional alteration of data, and data protection against communication channel errors can improve the efficiency of information processing tools by reducing included redundancy and used computing resources. The development of such methods is a topical area of current research.

The purpose of this study is to develop and analyze the method of factorial coding with data recovery that realizes functions of communication channel error detection and cryptographic protection of information, and to assess its properties in data transmission systems with decision feedback.

The main material. Factorial code with data recovery by permutation is a non-systematic code that provides a replacement of information sequence into permutation of the numbers computed by all information bits. In the article, the main properties of the proposed code are defined. The transmission reliability, cryptographic strength and strength against intentional alteration of data are evaluated. Dependences of undetected error probability assessments, energy gain and code rate from information vector length at the encoder input are studied. A comparative analysis of known factorial codes is done. Recommendations for the use of factorial coding are given.

Conclusions. The performed work extends the scientific and technical base of factorial methods and means of data coding. The proposed factorial code with data recovery: provides protection against unauthorized reading, provides protection against channel errors, does not provide protection against intentional alteration of data, has higher detection ability for small data block length on encoder input as compared with a full factorial code, has the property of self-synchronization, and excludes collisions.

Keywords: factorial code, permutation, information integrity control, cryptographic protection, error control coding, transmission accuracy, strength.

Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н., професор,
С. В. Голуб, д.т.н., професор

Н. А. Нагурна, к.т.н., доцент,
Н. Г. Паранько, старший викладач,
І. І. Осипенкова, к.т.н., доцент,
О. Л. Чепурна, старший викладач
e-mail: k-tbv@ukr.net

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛІНОПТИЛОЛІТУ

Досліджено фільтраційні властивості кліноптилоліту. Виявлено, що лужна обробка целіту є більш ефективною, ніж кислотна і сольова. Після фільтрації кліноптилолітом покращились органолептичні властивості, прозорість і смак води. Застосування кліноптилоліту – простий і дешевий спосіб вирішення проблеми очищення води від домішок у системах водопідготовки на підприємствах харчової промисловості.

Ключові слова: сорбенти, цеоліт, кліноптилоліт, адсорбція, фільтрація, вода.

Постановка проблеми. Нові види напоїв, у тому числі лікувальні з функціональними властивостями, передбачають застосування високоякісної води. Останнім часом якість питної води потребує значного поліпшення для забезпечення гарантії безпеки напоїв [1–6].

Глобальне забруднення гідросфери ксенобіотиками різної природи становить значну небезпеку, особливо для поверхневих водоймищ.

Антропогенна діяльність призводить до забруднення як поверхневих, так і підземних джерел води [1, 5, 6].

Аналіз досліджень і публікацій. У багатьох країнах вже зрозуміли серйозність цієї проблеми і вживають заходів законодавчого характеру щодо заборони скидання відходів і стічних вод, а також проводять дослідження, спрямовані на поліпшення очищення промислових водних джерел [1, 2, 3, 6].

Токсичні і радіоактивні речовини значно змінюють біологічні й продовольчі властивості води, перетворюючи її на дуже небезпечне джерело для людей, тварин, рослин, грибів, дріжджів і бактерій.

В гідросферу кожного року потрапляє більше 600 млрд. т промислових, господарських та інших стічних вод, десятки мільйонів тонн забрудненої води, яка надходить від водного транспорту й інших об'єктів [1, 4, 5].

Важливого значення набуває питання пошуку нових, більш ефективних сорбентів для очищення води. Останнім часом з'явився ряд досліджень, що вивчають енергетичні

властивості води з метою розробки ефективніших методів очищення води з використанням природних сорбентів [3, 4].

Відомо, що енергія, необхідна для проходження хімічних і біологічних реакцій як в організмі людини, так і при технологічному процесі виробництва напоїв, обумовлена наявністю неспарених електронів на зовнішніх оболонках атомів. Деякі речовини можуть виступати як каталізатор процесу вивільнення електронів. І, таким чином, забезпечується проходження хімічних реакцій у воді. Молекули і сполуки, наявні у воді, наприклад кремній, моно- і дисахариди, впливають на її структуру. Молекули води «підлаштовуються» під жорстку структуру молекули введеної речовини. Здатність до упорядкування водного середовища називають комплементарністю [3, 4].

Проведені досліди з каолінітом – глинистим матеріалом із групи алюмосилікатів, $[Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O]$, дозволяють зробити висновок про те, що глина комплементарна структурованій воді і утворює гідратований комплекс. У водному розчині від молекули каолініту відщеплюються атоми водню гідроксильних груп, утворюючи вільні радикали, які є донорами електронів. Внаслідок цього виділяється енергія, яка позитивно впливає на технологічні процеси, зокрема на культивування виробничих дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* [3].

Відомо також, що структура ряду моносахаридів, які широко використовуються у виробництві безалкогольних напоїв, відпові-

дає структурованій воді. Отже, розчинення моносахаридів у воді пов'язане з електростатичною взаємодією гідроксильних груп молекули моносахариду і молекули води і залежить від здатності моносахариду вбудовуватись у сітку водневих зв'язків води [1, 3].

При дослідженні талої води, що має упорядковану структуру, У. Ахмеров і А. Бильдюкевич дійшли висновку, що в момент фазового переходу під час танення льоду відбувається зміна напрямку спіну одного з водневих протонів молекули ортоводи і перетворення її на деякий час на параводу. Вважають, що тала вода тому є біологічно більш активною і корисною для живих організмів, ніж звичайна, що в ній більше параводи [1].

Загальноприйняті вимоги до питної води регулюються сучасними санітарними нормами [8, 9]. Однак енергетичні властивості води впливають на активність біохімічних процесів і визначають її біологічну цінність.

Мета роботи. Дослідження фільтраційних властивостей кліноптилоліту в системах водопідготовки харчової промисловості.

Виклад основного матеріалу. На кафедрі технології бродильних виробництв Черкаського державного технологічного університету проведені дослідження процесу очищення артезіанської природної води сорбентом кліноптилолітом.

Кліноптилоліт, як і всі природні цеоліти, характеризується змінним хімічним складом, що, безумовно, впливає на його сорбційні властивості. Показано, що різні зразки навіть одного і того ж родовища завжди відрізняються один від одного [7].

Природний мінеральний сорбент цеолітової структури – кліноптилоліт – характеризується загальною формулою

$(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O})$ і хімічним складом, представленим у табл. 1 [7].

Таблиця 1

Порівняльні дані про хімічний склад кліноптилоліту різних родовищ

Компоненти	Узбекистан (родовище Керміне)	США (Каліфорнія)	Україна (Сокиринське родовище)	Грузія (Дзегві)
SiO ₂	61,74	66,82	68,64	59,91
Al ₂ O ₃	12,51	12,24	11,50	12,60
TiO ₂	0,12	-	0,32	0,37
Fe ₂ O ₃	0,50	0,61	1,57	4,50
CaO	1,30	1,02	2,38	5,20
MgO	2,05	0,23	0,89	1,40
Na ₂ O	5,00	2,76	0,29	1,57
K ₂ O	1,18	1,11	3,12	1,52
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	8,60	9,28	9,87	8,40

Щільність кліноптилоліту – 2,11 г/см³; граничний адсорбційний об'єм по воді – 0,152 см³/г; ефективний радіус пор (розмір вхідних вікон) – 4 Å; питома поверхня по азоту – 69,0 м²/г; обмінна ємкість – 1,83 мг-екв/дм³; сумарний об'єм пор (по бензолу) – 0,051 см³/г; питома поверхня по воді – 425 м²/г.

В роботі були використані зразки цеоліту, що проходили крізь сита 1 мм і затримувались на ситі 0,63 мм.

Дослідження проводили і на стійкість кліноптилоліту в різних середовищах у широкому діапазоні рН.

Експериментальна частина. Результати по вимиванню речовин із кліноптилоліту в лужному, кислому і нейтральному середовищах подано в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика стійкості кліноптилоліту до різних середовищ

Кліноптилоліт							
№ п/п	Показники приросту	Одиниця вимірювання	Допустимі значення	Розчин NaOH	Розчин HCl	Розчин хлорованої води	Водопровідна вода
1.	Сухий залишок	мг/дм ³	20	8,6	7,9	5,6	3,2
2.	Окиснюваність перманганатна (KMnO ₄)	мгO ₂ /дм ³	10	2,1	2,7	2,2	2,5
3.	Сполуки кремнієвої кислоти	мг/дм ³	10	7,6	9,01	4,2	4,3

Наведені дані свідчать про значну стійкість сорбенту, що відкриває шляхи до його широкого використання як для очищення води артезіанських свердловин, так і для очищення промислових стічних вод.

Застосування природних сорбентів цеолітової структури базується на використанні їх адсорбційних, молекулярно-ситових та іонообмінних властивостей. Висока адсорбційна активність цеолітів обумовлена особливістю будови їх кристалічної структури, молекулярно-ситові властивості їх характеризуються однорідною структурою внутрішніх пор, розміри яких зіставні з розміром молекул

адсорбенту. Всі експериментальні дослідження проведені на кліноптилоліті в H^+ формі, розміри часток фракції – 0,63–1,0 мм за умов постійного температурного режиму.

Як показали проведені дослідження, за основними фізико-хімічними адсорбційними характеристиками кліноптилоліт відповідає тим вимогам, які ставляться до сорбційних фільтруючих матеріалів, що підтверджує можливість використання кліноптилоліту в системах водоочищення і очищення стічних вод. Результати аналізу води до і після очищення наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика процесу очищення артезіанської води

Показники до очищення	Значення показників до очищення, мг/дм ³	Показники після очищення	Значення показників після очищення, мг/дм ³	Ступінь очищення
pH	6,8	pH	5,8	
Сухий залишок	1012,5	Сухий залишок	680,5	33,0%
Твердість	9,6	Твердість	4,1	57,3%
Сульфати	450	Сульфат	280	37,7%
Хлориди	420	Хлориди	200	52,3%
Залізо	0,3	Залізо	0,08	73,3%
Гідрокарбонати	240	Гідрокарбонати	120	50,0%
Нітрати (по N)	10	Нітрати	5,0	50,0%

Окремо досліджували умови адсорбції іонів амонію на кліноптилоліті. Максимальна величина адсорбції становить $0,75 \frac{m_2 - e_{\text{кв}} NH_4^+}{z}$ – для модельних розчинів; $0,566 \frac{m_2 - e_{\text{кв}} NH_4^+}{z}$ – для стічних вод.

Рівноважну концентрацію іонів амонію C_p^* в розчині розраховували за рівнянням (1)

$$C_p^* = C_p \left(\frac{m_2 NH_4^+}{dm^3} \right) \cdot a \left(\frac{m_2 - e_{\text{кв}} NH_4^+}{z} \right), \quad (1)$$

де C_p – рівноважна концентрація іонів амонію в розчині;

a – максимальна величина абсорбції.

Визначено час встановлення адсорбційної рівноваги в конкретних умовах, який становив чотири години.

Розраховано повну сорбційну місткість кліноптилоліту в динамічних умовах, яка для

модельного розчину становила $56,28 \frac{m_2 - e_{\text{кв}} NH_4^+}{z}$, для стічної води – $35,2 \frac{m_2 - e_{\text{кв}} NH_4^+}{z}$.

Висновки:

1. Встановлено, що після фільтрації кліноптилолітом ступінь очищення для солей твердості – 60 %, сульфатів – 37 %, заліза (III) – 73 %, хлоридів і нітратів – 50 %. Погіршилися органолептичні властивості, прозорість і смак води.

2. Виявлено, що лужна обробка цеоліту є більш ефективною, ніж кислотна і сольова. При використанні соляної кислоти його іонообмінна місткість відновлюється на 92 %, NaCl – на 85 %.

3. Застосування кліноптилоліту – досить простий і дешевий спосіб вирішення проблеми очищення від домішок, зокрема амонійних сполук, у схемах очищення як природних, так і стічних вод.

Список літератури

1. Кудряшова А. А. Биологическое и органолептическое значение воды при изготовлении напитков / А. А. Кудряшова, Н. П. Машков, И. Ю. Голубев // Пиво и напитки. – 2008. – № 3. – С. 42–43.
2. Ильина Е. В. Основные способы исправления качества воды / Е. В. Ильина, И. Л. Славская, С. Ю. Макаров // Пиво и напитки. – 2008. – № 5. – С. 66–69.
3. Спельникова Н. И. Энергетические свойства воды /М. И. Спельникова, В. И. Денисов, В. Л. Лаврова // Пиво и напитки. – 2010. – № 5. – С. 32.
4. Адсорбція амонійного азоту / Н. Ткачук, Л. Мельник, О. Марцинюк, З. Мельник // Харчова і переробна промисловість. – 2008. – № 12. – С. 23–25.
5. Топольник В. Г. Залежність показників якості води в лікєро-горілчаному виробництві від пори року / В. Г. Топольник, О. В. Кузьмін, А. Р. Баятян // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – 2007. – № 1 (20). – С. 111–118.
6. Бурачевский И. И. Подготовка технологической воды и её влияние на качество водок / И. И. Буравчевский, В. И. Федоренко // Отраслевые ведомости. Ликєро-водочное производство и виноделие. – 2003. – № 44. – С. 20–23.
7. Использование клиноптилолита узбекского месторождения Кермине для удаления из природных и сточных вод аммонийного азота / А. М. Каримова, И. В. Балыева, Е. Б. Гройсман, Э. И. Авдеева // Ташкентский НИИ ВОДГЕО : науч. журн. – 2011. – № 8. – С. 1–7.
8. СОУ 15.9-37-237:2005 Вода підготовлена для лікєро-горілчаного виробництва. Технічні умови. – Введ. 27.12.2005. – К. : Мін-агрополітики України, 2006. – 20 с.
9. ДСанПІН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.

References

1. Kudryashova, A. A., Mashkov, N. P. and Golubev, I. Yu. (2008) Biological and organoleptic importance of water in beverage production, *Pivo i napitki*, No. 3, pp. 42–43 [in Russian].
2. Ylyina, E. V., Slavskaya, I. L. and Makarov, S. Yu. (2008) Basic methods of water quality correction, *Pivo i napitki*, No. 5, pp. 66–69 [in Russian].
3. Spelnikova, N. I., Denisov, V. I. and Lavrova, V. L. (2010) Energy properties of water, *Pivo i napitki*, No. 5, p. 32 [in Russian].
4. Tkachuk, N., Melnyk, L., Martsynyuk, A. and Melnyk, Z. (2008) Adsorption of ammonia nitrogen, *Kharcova i pererobna promyslovist*, No. 12, pp. 23–25 [in Ukrainian].
5. Topolnyk, V. G., Kuzmin, O. V. and Bayatyan, A. R. (2007) Dependence of water quality indices in alcoholic beverage production on the season, *Visnyk Donetskkoho natsionalnoho universytetu ekonomiky i tor-givli im. Myhayla Tugan-Baranowskoho*, 1 (20), pp.111–118 [in Ukrainian].
6. Burachevskyy, I. I. and Fedorenko, V. I. (2003) Technological water treatment and its influence on vodkas quality, *Otraslevyye vedomosti. Likyero-vodochnoe proizvodstvo i vinodeliye*, No. 44, pp. 20–23 [in Russian].
7. Karimova, A. M., Baluyeva, I. V., Groisman, E. B. and Avdeyeva, E. I. (2011) The use of clinoptilolite from Uzbek deposits of Kermine to remove ammonia nitrogen from natural and waste waters, *Tashkentskiy NII VODGEO: nauch. zhurn.*, No. 8, pp. 1–7 [in Russian].
8. SOU 15.9-37-237: 2005 (2006) Water prepared for liquor production. Specifications. Introduced 27.12.2005, Kyiv: Minagropoli-tyky Ukrayiny, 20 p. [in Ukrainian].
9. DSfNPIN 2.2.4-171-10 Hygienic requirements to drinking water intended for human consumption [in Ukrainian].

N. A. Nagurna, *PhD, associate professor,*
N. G. Paran'ko, *senior lecturer,*
I. I. Osypenkova, *PhD, associate professor,*
O. L. Chepurna, *senior lecturer*

e-mail: k-tbv@ukr.net

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

RESEARCH OF FILTRATION PROPERTIES OF CLINOPTILOLITE

The paper deals with the research of chemical resistance, mechanical strength, sorption and filtration properties of clinoptilolite, resulting in showing optimal parameters of clinoptilolite filtration process. It has been revealed that alkaline treatment of zeolite is more efficient than acid or salt treatment. Analyzing the results obtained, one can draw a conclusion that due to adsorption process on the basis of natural zeolite, salt hardness content has decreased, sulphate content has decreased, iron (III) content has declined, the concentration of chlorides and nitrates has declined, and organoleptic properties, clarity and taste of water have improved. As shown by the research performed in terms of the main physical and chemical adsorption characteristics, clinoptilolite conforms to the requirements applied to sorption filtration materials, which proves the possibility to use the zeolite, being researched, in the systems of water and wastewater treatment. The application of clinoptilolite can become a quite simple and inexpensive method to solve the problem of impurity removal, in particular, removal of ammonium compounds in the circuits of purification.

Keywords: sorbents, zeolite, clinoptilolite, adsorption, filtration, water.

*Рецензенти: Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,
О. Г. Мазуренко, д.т.н., професор*

В. Л. Демченко¹, к.ф.-м.н.,

e-mail: dvaleriy1@ukr.net

М. В. Юрженко¹, к.ф.-м.н.,

В. І. Унрод², д.т.н. (УТА), доцент

¹Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна

²Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ РІЗНОТИПНИХ ПОЛІЕТИЛЕНІВ ПЕ-80/ПЕ-100, СФОРМОВАНИХ ПІД ДІЄЮ СИЛЬНОГО ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Методами ширококутової рентгенографії, термомеханічного аналізу і механічних випробувань досліджено особливості структурної організації, термомеханічних та експлуатаційних характеристик зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100, отриманого під дією постійного магнітного поля (В~1 Тл) та за його відсутності. Методом ширококутової рентгенографії показано, що дія поперечного постійного магнітного поля на розплав різнотипних поліетиленів у процесі їх зварювання приводить до формування орієнтованої структури зварного з'єднання, вісь текстури якого збігається з напрямком дії магнітного поля. Це проявляється в поліпшенні термомеханічних та експлуатаційних характеристик отриманих зварних з'єднань. Формування зварного з'єднання під дією поздовжнього магнітного поля призводить до погіршення його фізико-механічних характеристик, що пояснюється протидією силового поля, яке прикладається при зварюванні, впливу магнітного поля.

Ключові слова: поліетилен, зварне з'єднання, магнітне поле, структура, термомеханічні властивості, експлуатаційні характеристики.

Вступ. Розвиток сучасного полімерного матеріалознавства обумовив стрімке поширення термопластичних полімерів у різних галузях промисловості: будівельній, хімічній, медичній, радіотехнічній і електронній, харчовій тощо [1]. Такі полімери добре формуються, їх легко фарбувати, вони мають низьку густину, високу хімічну стійкість, задовільні діелектричні властивості.

При виготовленні складних конструкцій із термопластичних полімерів суттєве значення має спосіб з'єднання окремих деталей. На сьогодні серед сучасних високопродуктивних способів з'єднання елементів полімерних конструкцій одним із найбільш перспективних і розповсюджених є контактнотеплове зварювання, здатне забезпечити значну надійність і довготривалість виробу [2].

У процесі формування зварного з'єднання відбувається ціла низка фізико-хімічних перетворень полімерів: змінюється текучість розплаву, відбувається орієнтаційна кристалізація, перекристалізація, рекристалізація і, навіть, часткова деструкція тощо, вна-

слідок чого формується структура зварного з'єднання. Якщо враховувати складність цих процесів, зрозуміло, що отримати зварне з'єднання із структурою, повністю ідентичною вихідному матеріалу, практично неможливо. Тому фізико-механічні характеристики зварних з'єднань завжди відмінні від аналогічних характеристик вихідного полімерного матеріалу [3].

Нині провідні закордонні вчені й науковці України продовжують пошуки способів підвищення якості зварних з'єднань термопластичних полімерів і поліпшення їх експлуатаційних характеристик.

Для поліпшення структури та фізико-механічних характеристик зварного з'єднання при зварюванні різними способами (зварювання нагрітим інструментом, ультразвукове зварювання і т.д.) є перспективним застосування магнітного поля. Такий інноваційний підхід – використання впливу постійного магнітного поля на процес зварювання термопластичних полімерів – дає змогу отримувати полімерні з'єднання з поліпшеними структу-

рою та фізико-механічними показниками внаслідок орієнтації та більш щільної упаковки елементів структури зварного з'єднання [4]. Автори роботи [4,5] досліджували вплив магнітного поля на надмолекулярну структуру зварних з'єднань на основі поліпропілену. Методом рентгеноструктурного аналізу показано, що при магнітній модифікації зварного з'єднання ($B > 1,2$ Тл) в ньому виявлено кристаліти тільки α -модифікації поліпропілену, а термодинамічно нестабільні модифікації β і γ відсутні. Було показано, що магнітна модифікація полімеру в процесі ультразвукового зварювання суттєво підвищує якість зварного з'єднання і його міцнісні характеристики.

Аналіз літературних джерел [7-10] показав, що на сьогодні відсутні відомості про контактно-теплове зварювання полімерних матеріалів під дією сильного постійного магнітного поля. Технологія зварювання полімерних матеріалів під дією постійного магнітного поля (з використанням неодимових магнітів) може бути використана у виробництві при з'єднанні виробів із термопластичних полімерів, зокрема труб невеликого діаметра, листів і деталей конструкцій, які виготовлені з пластмас.

У зв'язку з цим у цій роботі автори ставили за мету здійснити комплексне дослідження структурної організації, термомеханічних та експлуатаційних властивостей зварних з'єднань різнотипних поліетиленів ПЕ-80/ПЕ-100, сформованих під дією сильного постійного магнітного поля.

Експериментальна частина. Для виконання зварювальних робіт під дією постійного поперечного та поздовжнього до осі зварювання матеріалів магнітного поля (рис. 1) використовували модельні об'єкти – полімерні матеріали, виготовлені з двох марок технічного поліетилену високої густини (ПЕВГ) з різною мінімальною довготривалою міцністю (МДМ) за 50 років при 20 °С, а саме ПЕ-80 ($M_{\text{біомодальна}} = 300000$ г/моль, густина 0,953 г/см³, МДМ 8 МПа) і ПЕ-100 ($M_{\text{біомодальна}} = 300000$ г/моль, густина 0,960 г/см³, МДМ 10 МПа), згідно з ДСТУ Б В.2.7-73.

Експериментальні зварювальні роботи модельних об'єктів ПЕ-80/ПЕ-100 з поперечними перерізами 8×8 мм та 8×25 мм проводили традиційним способом зварювання нагрітим інструментом «встик» при температурі нагрітого інструменту 200 °С та тиску осадження 0,2 МПа протягом 60 с. Технологічна пауза – 3 с. Час охолодження під тиском становив 6 хв. Зварювання та охолодження модельних об'єктів до температури навколишнього середовища проводили безпосередньо під дією поперечного та поздовжнього магнітного поля та за його відсутності. Джерелом постійного магнітного поля були два неодимові магніти. Відстань між ними регулювали таким чином, щоб індукція магнітного поля становила 1 Тл.

Зразки зі зварного з'єднання завтовшки 1 мм для дослідження структури вирізали, як показано на рис. 2.

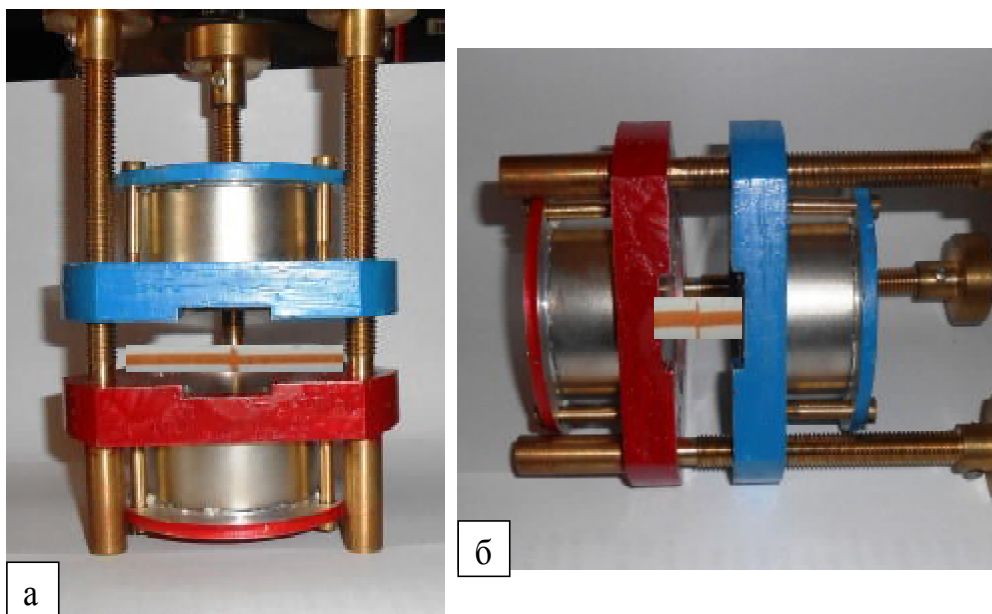


Рис. 1. Поперечне (а) та поздовжнє (б) магнітне поле

Особливості структурної організації поліетиленів марок ПЕ-80 та ПЕ-100 та зварного з'єднання на їх основі ПЕ-80/ПЕ-100, отриманого під дією магнітного поля та за його відсутності вивчали методом ширококутового розсіювання рентгенівських променів (ШКРРП) на дифрактометрі ДРОН-4-07, рентгенооптична схема якого виконана «на проходження» первинного пучка випромінювання крізь досліджуваний зразок.

Рентгеноструктурні дослідження проводили в CuK_α -випромінюванні, монохроматизованому Ni-фільтром, при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$.

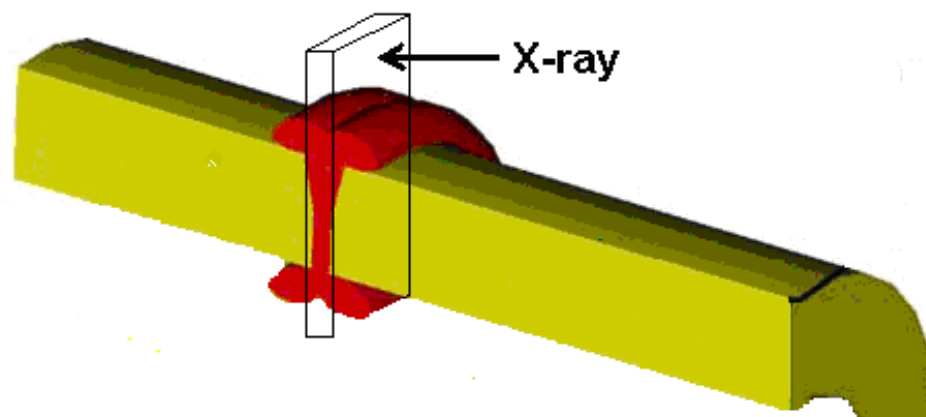


Рис. 2. Модель зварного з'єднання із поліетиленів

Використовували інденатор циліндричної форми з плавленого кварцу діаметром $2,1 \pm 0,1$ мм. Встановлене навантаження інденатора на зразок було 0,1 МПа. Точність вимірювання температури становила $\pm 0,01^\circ\text{C}$, деформації $\pm 0,01$ мкм.

Експлуатаційні характеристики досліджуваних полімерних систем вивчали шляхом механічних випробовувань у режимі одновісного розтягування згідно з вимогами ДБН В.2.5-41 зі швидкістю 50 мм/хв за нормальних умов на розривній машині FP-10 (Німеччина).

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз ширококутових рентгенівських дифрактограм зразків поліетиленів марок ПЕ-80, ПЕ-100 та зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 показав, що всі вони мають аморфно-кристалічну структуру, на що вказує присутність дифракційних максимумів при $2\theta_{\text{max}} = 21,2, 23,6, 29,7$ та $36,7^\circ$ на фоні уявного аморфного гало з вершиною при $2\theta_{\text{max}} \approx 21,0^\circ$ (рис. 3).

Оцінка відносного рівня кристалічності ($X_{\text{кр}}$) досліджуваних полімерних систем, виконана за методом Метьюза [5, 6]:

$$X_{\text{кр}} = Q_{\text{кр}} \cdot (Q_{\text{кр}} + Q_{\text{ам}})^{-1} \cdot 100,$$

де $Q_{\text{кр}}$ – площа дифракційних максимумів, які характеризують кристалічну структуру полімеру; $Q_{\text{кр}} + Q_{\text{ам}}$ – площа всієї дифрактограми в інтервалі кутів розсіювання ($2\theta_1 \div 2\theta_2$), в якому проявляється аморфно-кристалічна структура полімеру, показала, що для поліетиленів ПЕ-80 та ПЕ-100 він майже однаковий і становить 56 і 57% відповідно. Аналіз дифракційних кривих індивідуальних поліетиленів ПЕ-80 та ПЕ-100 та їх зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 показав, що при зварюванні різнотипних полімерів утворюється зварне з'єднання зі структурою, відмінною від структури індивідуальних поліетиленів. На нашу думку, при зварюванні відбувається плавлення кристалічної фази з її подальшою рекристалізацією та одночасною орієнтацією кристалітів у зварному з'єднанні під дією силового поля, яке прикладається в процесі зварювання. Про це свідчить збільшення інтенсивності дифракційного максимуму в площині (200), кутове положення $2\theta_m$ якого на дифрактограмах становить $23,6^\circ$, і зменшення інтенсивно-

сті дифракційного максимуму в площині (110), кутове положення $2\theta_m$ якого на дифрактограмах становить $21,2^\circ$.

Оцінка ефективного розміру кристалітів (L) полімерних матеріалів, проведена за методом Шеррера [6]:

$$L = K\lambda(\beta \cos \theta_{\max})^{-1},$$

де K – стала, пов'язана з формою кристалітів (при невідомій їх формі $K = 0,9$), а β – кутова напівширина (ширина на половині висоти) дифракційного максимуму, показала, що середнє значення $L \approx 7,2$ нм для ПЕ-80 і ПЕ-100 та $7,6$ нм для зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 (для обчислень використовували дифракційні максимуми при $2\theta_{\max} = 21,2$ і $23,6^\circ$).

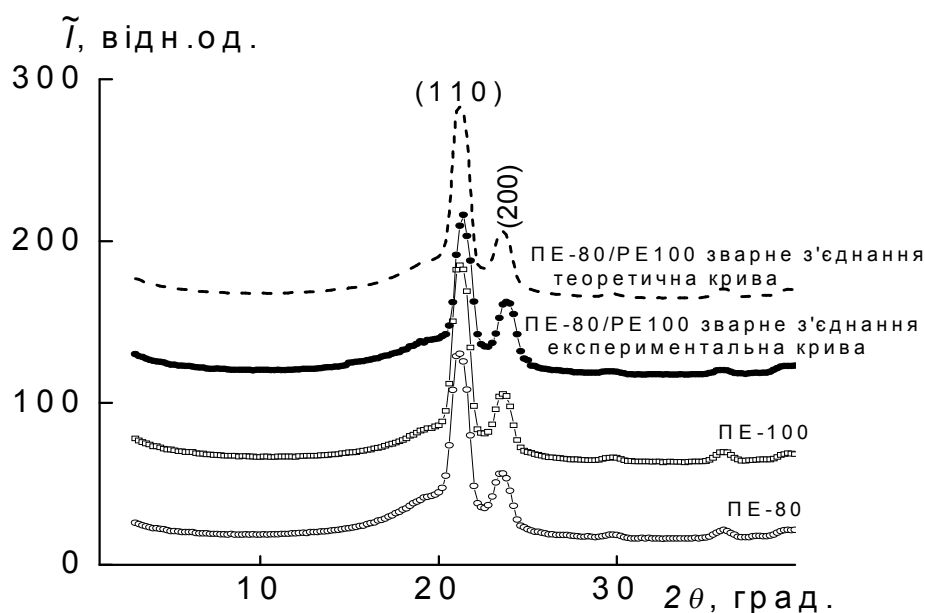


Рис. 3. Ширококутові рентгенівські дифрактограми зразків ПЕ-80, ПЕ-100 та їх зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100

Для виявлення відмінностей експериментальної рентгенівської дифрактограми зразка зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100 від дифрактограми механічної суміші зразків ПЕ-80 і ПЕ-100 (при відсутності між ними взаємодії) обчислення виконували в припущенні адитивних внесків компонентів – обох марок поліетиленів – у дифракційну картину:

$$I_{ad} = w_1 I_1 + w_2 I_2,$$

де I_1, I_2 – інтенсивність ширококутового розсіювання рентгенівських променів зразків ПЕ-80 і ПЕ-100; w_1, w_2 – масові частки компонентів у системі ($w_1 + w_2 = 1$).

З порівняння експериментальної та розрахункової рентгенівських дифрактограм видно, що спостерігається прояв неадитивної

зміни експериментальної дифракційної кривої порівняно з теоретичною. Це свідчить про існування у зварному з'єднанні ПЕ-80/ПЕ-100 взаємодії між макромолекулами поліетиленів обох марок.

Аналіз ширококутових рентгенівських дифрактограм зварних з'єднань ПЕ-80/ПЕ-100, які були отримані за відсутності та під дією постійного магнітного поля (рис. 4) показав, що дія поперечного магнітного поля на розплавлені різномісцеві поліетиленів в процесі їх зварювання спричинює утворення орієнтованої структури зварного з'єднання, вісь текстури якого збігається з напрямком дії магнітного поля.

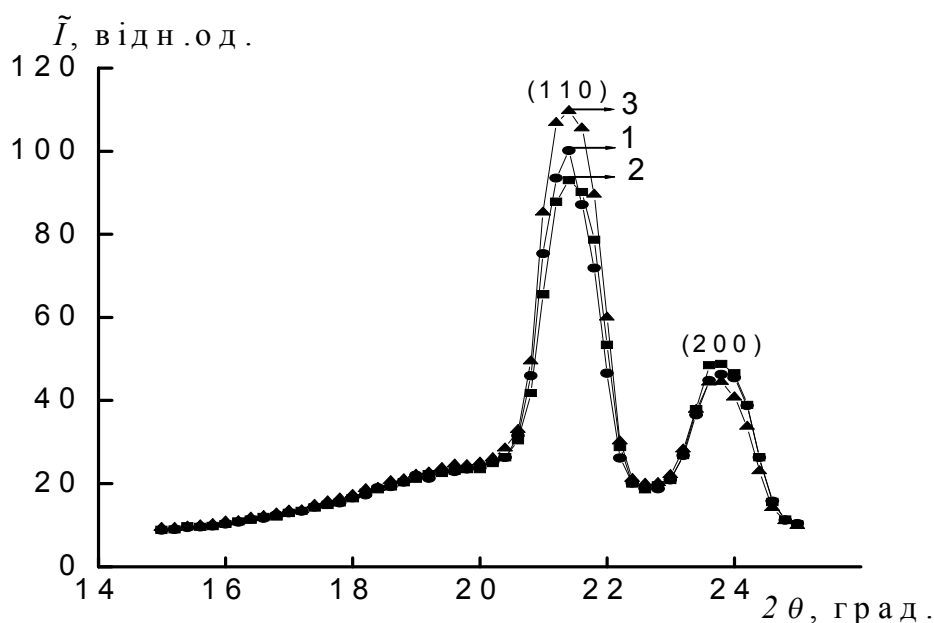


Рис. 4. Ширококутові рентгенівські дифрактограми зварних з'єднань ПЕ-80/ПЕ-100, які були отримані за відсутності магнітного поля (1), під дією поперечного (2) та поздовжнього магнітного поля (3)

На це вказує зміна інтенсивності максимуму в площині (110). Це проявляється в покращенні фізико-механічних характеристик зварних з'єднань. При формуванні зварного з'єднання під дією поздовжнього магнітного поля воно протидіє силовому полю, яке накладається у процесі зварювання поліетиленів. На це вказує підвищення інтенсивності максимуму в площині (110) і проявляється у погіршенні експлуатаційних характеристик зварних з'єднань.

Поряд із вивченням впливу постійного магнітного поля на структурну організацію зварних з'єднань ПЕ-80/ПЕ-100 було вивчено дію магнітного поля на їхню термомеханічну поведінку.

З термомеханічних кривих зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100, отриманого під дією магнітного поля різних напрямів та за його відсутності (рис. 5) видно, що формування зразка під дією поздовжнього до осі зварювання постійного магнітного поля приводить до збільшення величини його термічного розширення, що може свідчити про релаксацію

внутрішніх напружень, які утворюються в процесі зварювання.

Натомість зразок зварного з'єднання, отриманий під дією поперечного до вісі зварювання постійного магнітного поля за термомеханічною поведінкою близький до зварного з'єднання, отриманого за відсутності поля.

За результатами механічних випробувань на одновісний розтяг встановлено, що міцність при розриві зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100, сформованого під дією поперечного до осі зварювання постійного магнітного поля становить 22,8 МПа, а під дією поздовжнього – 19,0 МПа, причому міцність зварного з'єднання за відсутності поля – 19,73 МПа.

Висновки. В роботі проведено комплексне дослідження структурних, термомеханічних та експлуатаційних характеристик зварних з'єднань ПЕ-80/ПЕ-100, які були отримані традиційним методом зварювання пластмас нагрітим інструментом «встик» під дією сильного постійного магнітного поля ($B \sim 1$ Тл) та за його відсутності.

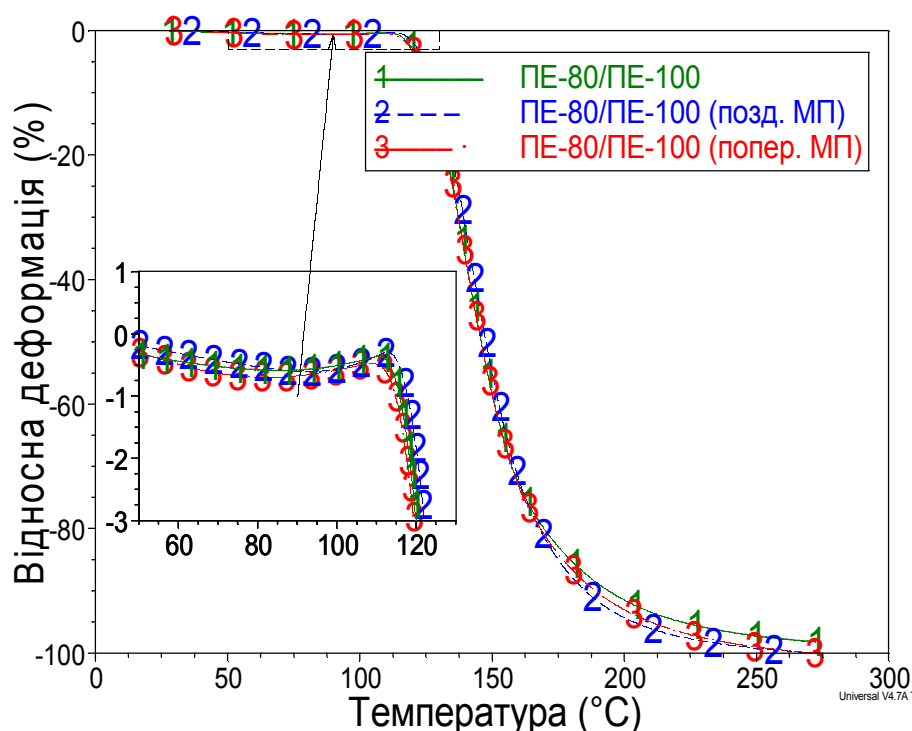


Рис. 5. Термомеханічні криві зварних з'єднань ПЕ-80/ПЕ-100, які були отримані за відсутності магнітного поля (1), під дією поздовжнього (2) та поперечного магнітного поля (3)

Встановлено вплив постійного магнітного поля на структуру та фізико-механічні властивості зварних з'єднань різнотипних поліетиленів у процесі їх зварювання. Показано, що дія поперечного постійного магнітного поля на розплав різнотипних поліетиленів в процесі їх зварювання приводить до утворення орієнтованої структури зварного з'єднання, вісь текстури якого збігається з напрямком дії магнітного поля, що проявляється в поліпшенні його фізико-механічних характеристик. Формування зварного з'єднання під дією поздовжнього магнітного поля приводить до погіршення його фізико-механічних характеристик, що пояснюється протидією силового поля, яке виникає при зварюванні й нівелює вплив магнітного поля. Це підтверджено механічними випробуваннями, які показали, що міцність при розриві для зварного з'єднання ПЕ-80/ПЕ-100, яке сформоване під дією поперечного магнітного поля становить 22,8 МПа, поздовжнього – 19,0 МПа, а за відсутності поля – 19,73 МПа.

Список літератури

1. Юхневский П. И. Строительные материалы и изделия / П. И. Юхневский, Г. Т. Широкий : учеб. пособие. – Минск : УП «Техно-принт», 2004. – 476 с.
2. Структурні особливості та теплофізичні характеристики зварних з'єднань технічних поліетиленів / А. М. Гальчун, М. Г. Кораб, В. Ю. Кондратенко та ін. // Полімерний журнал. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 242–248.
3. Nanostructurization and thermal properties of polyethylenes' welds / A. Galchun, N. Korab, V. Kondratenko [et. al.] // Nanoscale Research Letters. – 2015. – Vol. 10. – P. 138–149.
4. Термоманітна модифікація мікрогетерогенної структури лінійного поліетилену / В. М. Костянук, Т. П. Танцюра, О. А. Хомік, Л. М. Патей // Вісник Київського університету. – 2003. – № 2. – С. 352–357. – (Серія «Фіз.-мат. науки»).
5. Штомпель В. И. Структура линейных полиуретанов / В. И. Штомпель, Ю. Ю. Керча. – К. : Наук. думка, 2008. – 248 с.

6. Гинье А. Рентгенография кристаллов. Теория и практика / А. Гинье. – М. : Физматгиз, 1961. – 604 с.
7. Perret R. Eine verbesserte Auswertungsmethode fur die Röntgenkleinwinkelstreuung von Hochpolymeren / R. Perret, W. Ruland // *Kolloid Z. – Z. Polymere*. – 1971. – B. 247. – S. 835–843.
8. Porod G. General theory / G. Porod // *Small-angle x-ray scattering* / Ed. by O. Glatter, O. Kratky. – London : Acad. Press, 1982. – P. 17–51.
9. Menczel J. D. Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications / J. D. Menczel, B. R. Prime (eds.). – New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 2009. – 698 p.
10. Ruland W. Small-angle scattering of two-phase systems: Determination and significance of systematic deviations from Porod's law / W. Ruland // *J. Appl. Cryst.* – 1971. – Vol. 4, No 1. – P. 70–73.
3. Galchun A., Korab N., Kondratenko V. et al. (2015). Nanostructurization and thermal properties of polyethylenes' welds. *Nanoscale Research Letters*, (10), pp. 138–149.
4. Kostyanyuk, V. M., Tantsyura, T. P., Homik, O. A. and Patei, L. M. (2003) Thermomagnetic modification of microheterogeneous structure of linear polyethylene. *Visnyk Kyivskoho universytetu*, (2), pp. 352–357 [in Ukrainian].
5. Shtompel, V. I. and Kercha Yu. Yu. (2008) The structure of linear polyurethanes. Kiev: Nauk. dumka, 248 p. [in Russian].
6. Гин'е, А. (1961). X-ray diffraction of crystals. Theory and practice. Moscow: Fizmatgiz, 604 p [in Russian].
7. Perret, R., Ruland, W. (1971) Eine verbesserte Auswertungsmethode fur die Röntgenkleinwinkelstreuung von Hochpolymeren. *Kolloid Z. – Z. Polymere*, B. 247, S. 835–843.
8. Porod, G. (1982) General theory. In: O. Glatter, O. Kratky (eds.) *Small-angle x-ray scattering*. London: Acad. Press, pp. 17–51.
9. Menczel, J. D. and Prime, B. R. (eds.) (2009) *Thermal analysis of polymers: fundamentals and applications*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 698 p.
10. Ruland, W. (1971) Small-angle scattering of two-phase systems: Determination and significance of systematic deviations from Porod's law. *J. Appl. Cryst.*, 4 (1), pp. 70–73.

References

1. Yuhnevskiy, P. I. and Shirokiy, G.T. (2004) *Building materials and products*. Minsk : UP "Tehnoprint", 476 p. [in Russian].
2. Galchun, A. M., Korab, M. H., Kondratenko, V. Yu. et al. (2015). Structural features and thermal characteristics of welded joints of technical polyethylenes. *Polimernyy zhurnal*, 37 (3), pp. 242–248 [in Ukrainian].

V. L. Demchenko¹, Ph.D.,
e-mail: dvaleriy1@ukr.net

M. V. Iurzhenko¹, Ph.D.

V. I. Unrod², D.Sc., associate professor

¹E. O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine,
Kazimir Malevych str., 11, Kyiv, 03680, Ukraine

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

STRUCTURAL ORGANIZATION AND THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF DIFFERENT TYPES OF POLYETHYLENE PE-80/PE-100 FORMED UNDER EFFECT OF A STRONG CONSTANT MAGNETIC FIELD

Two types of high-density polyethylene (HDPE), namely PE-80 and PE-100, have been used for welding experiments and further investigations of welded joints' structure, thermomechanical and performance properties. Samples with dimensions of 8×8 and 8×25 mm have been welded by heated tool at 200°C and 0,2 MPa of upset pressure applied for 60 sec. Cooling time under pressure was 6 mi-

notes. After that the joints have been cooled down to the room temperature without pressure applied. Welding of polyethylene has been performed under magnetic field and in the absence of this field.

Structural peculiarities, thermomechanical and performance properties of PE-80/PE-100 weld joint received with and without effect of constant magnetic field ($B \sim 1$ T) have been investigated. Using the wide-angle X-ray diffraction method it has been shown that the effect of perpendicular constant magnetic field on the melts of different-type polyethylene specimens during their welding causes the formation of aligned structure, where the axis of texture has the same direction with magnetic field. This also causes the improvement of the weld's thermomechanical and mechanical properties. The formation of the welded joint under the effect of parallel magnetic field leads to the deterioration of its physical-mechanical characteristics, because of reaction of the force field, that is applied during welding, to the effect of magnetic field.

Keywords: polyethylene, weld, magnetic field, structure, thermomechanical properties, performance.

Рецензенти: В. І. Штомпель, д.х.н., професор,
В. А. Ващенко, д.т.н., професор

І. О. Розломій, аспірантка,

Г. В. Косенюк, к.т.н.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
б-р Шевченка, 81, м. Черкаси, 18000, Україна

ОСНОВНІ МЕХАНІЗМИ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТІВ ВІД ФАЛЬСИФІКАЦІЙ

Стаття присвячена проблемі забезпечення інформаційної безпеки електронних документів (ЕД) і захисту інформації в системах електронного документообігу (СЕД). Особлива увага приділяється розгляду таких механізмів захисту інформації, як криптографія, електронний цифровий підпис (ЕЦП), стеганографія та цифровий водяний знак (ЦВЗ). Виконано опис процесу вбудовування ЦВЗ в цифровий документ. Проведено аналіз використання головного реквізиту ЕД – ЕЦП. Розглянуто існуючі підходи до розробки системи захисту ЕД і способи їх прихованої передачі. Запропоновано класифікацію атак та загроз інформаційній безпеці (ІБ) ЕД. Досліджується можливість побудови захищеної СЕД на основі комплексного використання методів криптографії та стеганографії. Отримані результати стануть основою для подальшої розробки та вдосконалення засобів захисту ЕД.

Ключові слова: електронний документ, достовірність, стеганографія, водяний цифровий знак, електронний цифровий підпис.

Вступ. Останнім часом спостерігається перехід від традиційної форми представлення документів до електронної. Насамперед, це пов'язано з низкою переваг використання електронного документообігу. Перш за все, електронний документообіг дозволить суттєво спростити роботу з формування, збереження та відправки важливої інформації. Разом з тим, деякі питання, пов'язані з забезпеченням надійного обміну електронними документами (ЕД), протидією розголошення, отримання несанкціонованого доступу (НсД) до ЕД, нині все ще залишаються повністю не вирішеними. Отримані незаконним шляхом конфіденційні дані можуть стати причиною масштабних фінансових втрат організації чи, наприклад, завдати моральної шкоди особистості. У зв'язку із швидкими темпами інформатизації сучасного суспільства і переходу до систем електронного документообігу (СЕД) виникають нові потенційні загрози інформаційній безпеці (ІБ) [1].

Постановка проблеми. На сучасному етапі домінування інформаційних технологій (ІТ), тенденції розвитку обчислювальних машин питання забезпечення ІБ документів при їх створенні, обробці та передачі мережею є актуальними, як ніколи. Разом з прогресом у сфері ІТ спостерігається і розвиток законодавчо-правової бази електронного документообігу, але шлях переходу до ЕД має ряд питань,

пов'язаних із забезпеченням їх захисту. Існуючі механізми захисту інформації не можуть повною мірою вирішити ряд завдань, характерних для ЕД. На відміну від паперових документів, шкоди яким можна завдати лише фізичним шляхом і які існують в одному примірнику, ЕД зберігаються на цифрових носіях, передаються мережею, можуть мати декілька копій, тому вони є вразливішими до всякого роду атак. Завдання надійного захисту конфіденційних ЕД від НсД, захисту інтелектуальної власності, авторських прав вирішується вже тривалий час. Проте, деякі питання розробки надійних методів забезпечення ІБ ще потребують вирішення. Проблема захисту ЕД не обмежується лише засобами контролю НсД. Таким чином, стає актуальною і сучасною завдання дослідження можливостей використання методів і моделей захисту ЕД із застосуванням перспективних засобів криптографії та стеганографії. При цьому, варто зауважити, що жоден із зазначених напрямів на цьому етапі свого розвитку не в змозі самостійно вирішити всі завдання, пов'язані з захистом ЕД. Крім того, вирішення більшості специфічних завдань можливе лише за умови комплексного їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями пошуку шляхів вирішення проблеми забезпечення інформаційного захисту ЕД впродовж багатьох років займалися:

Панасенко С. П., Балакин А. В., Астахова Т. С., Сагайдак Д. А., а також інші науковці, в тому числі й іноземні. Проте, як показує аналіз літературних джерел [4–10], в умовах широкого використання технологій електронного обміну даними використання СЕД дозволяє домогтися значного економічного ефекту при обробці ЕД, але не повністю вирішує ряд проблем, пов'язаних із забезпеченням ІБ документів.

Мета статті – підвищення ефективності захисту ЕД в СЕД. Досягнення поставленої мети передбачає: аналіз можливих атак на інформаційні ресурси СЕД, дослідження сучасних стеганографічних та криптографічних методів забезпечення ІБ, можливість побудови комплексної системи захисту ЕД.

Основний матеріал. Швидкі темпи розвитку СЕД, що спостерігаються останнім часом, разом зі своїми перевагами спричинили цілий ряд інформаційних злочинів, пов'язаних з порушенням прав інтелектуальної власності. До таких порушень можна віднести: плагіат, викрадення, розголошення та підробку ЕД. Тому, використання СЕД є неможливим без системи захисту. Для створення і впровадження системи захисту ЕД необхідно реалізувати цілий комплекс стандартних заходів, серед яких можна виділити такі:

- 1) аналіз основних властивостей і функцій ЕД;
- 2) класифікація загроз ІБ;
- 3) дослідження вимог по забезпеченню ІБ;
- 4) визначення та розробка механізмів захисту інформації.

Цей перелік ще можна продовжити пакетом організаційно-технічних заходів.

Характерними властивостями ЕД є конфіденційність, цілісність та достовірність. Тому, захищена СЕД має передбачувати реалізацію, як мінімум, таких механізмів захисту: забезпечення цілісності документів, безпечного доступу, конфіденційності та достовірності документів. Питання гарантії достовірності ЕД нині піднімається все частіше. Насамперед, це викликано збільшенням обсягів документованої інформації між організаціями, а також розвитком технологій електронного обміну даними. В зв'язку з цим виникає багато методів захисту документів від фальсифікації. Одним і найсуттєвішим із способів порушення властивостей ЕД є отримання НсД. Проблему отримання НсД можна вирішити за

допомогою моделі розмежування доступу, наприклад, Take-Grant. Ця модель підтверджує чи компрометує ступінь захисту СЕД і представляє її у вигляді направленого графа, в якому показані правила доступу суб'єктів до електронних документів. Формально описати модель Take-Grant можна таким чином: представимо сукупність об'єктів, тобто ЕД, у вигляді множини $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, множину суб'єктів – $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$. Множину прав доступу представимо у вигляді послідовності $R = (r_1, r_2, \dots, r_n) \cup (t, g)$. Згідно з класичною інтерпретацією моделі Take-Grant, $t(take)$ – право брати «права доступу», $g(grant)$ – право давати «права доступу» [6]. Стан системи описується графом. На рис. 1 показаний граф надання прав доступу до ЕД.

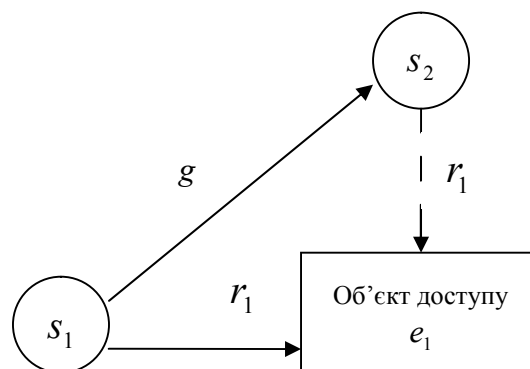


Рис. 1. Модель надання прав доступу Take-Grant

З рис. 1 видно, що об'єкт s_1 дає право доступу r_1 до об'єкта p_1 ЕД, іншому суб'єкту s_2 . Аналогічним способом представляється і модель, згідно з якою суб'єкт може брати права доступу. Використовуючи цю модель, можна передбачити стани, в яких буде перебувати СЕД, залежно від розмежування прав доступу [7]. Тобто, модель дає можливість передбачити і проаналізувати можливі загрози інформаційній безпеці для системи.

Проте, за умов неможливості забезпечення абсолютного контролю доступу до інформаційної системи і недопущення отримання НсД, для захисту ЕД можуть бути використані засоби криптографії та стеганографії. Одним із напрямів захисту ЕД при збереженні, передачі комп'ютерною мережею є цифрова стеганографія [2]. Стеганографія – метод організації зв'язку, який приховує факт

його існування [3]. Для засобів стеганографії характерним є те, що приховане повідомлення вбудовується в деякий об'єкт, який потім відкрито пересилається мережею. На відміну від криптографії, де є очевидним для зломисника факт зашифрування ЕД, методи стеганографії дозволяють вбудовувати повідомлення в ЕД таким чином, щоб неможливо було запідозрити про його наявність [4]. Стеганографія в інформаційних системах зв'язку – слабо розвинений напрям, а існуючі методи мало пристосовані до завдань захисту ЕД. Це пов'язано з властивими їй недоліками, такими як невисока надійність і стійкість. Проте, разом з цим, застосування стеганографічних систем у СЕД дозволить вирішити ряд важливих завдань, серед яких варто відзначити забезпечення прихованого збереження і передачі ЕД, перетворення комунікацій між відправником та отримувачем повідомлень на непомітні, виявлення каналів витoku ЕД, а також внесення прихованого ЕЦП [5].

Зазвичай у документованій інформації з метою захисту авторських прав використовують цифрові водяні знаки (ЦВЗ). ЦВЗ – цифрові мітки, які впроваджуються в ЕД за допомогою спеціальних стеганографічних перетворень [6]. Практичне застосування характеризується такими аспектами, як захист авторських прав, отримання цифрового відбитка, приховування факту обміну інформацією. На сьогоднішній день існує багато систем впровадження ЦВЗ у мультимедійну інформацію, поліграфічну продукцію. Стосовно ЕД, захист документів за допомогою вбудовування ЦВЗ наразі є недостатньо вивченим та опрацьованим. У джерелах [2–4] описані можливі способи впровадження ЦВЗ в ЕД та фізичні документи.

Стеганографічні системи виконують завдання захисту авторських прав на ЕД за умов різного роду спроб порушення та атак. Системи ЦВЗ забезпечують ідентифікацію автора ЕД. Аналогічне завдання також може бути вирішене за допомогою ЕЦП. На відміну від стегосистеми ЦВЗ, ЕЦП не може забезпечити захист ЕД за умови неправомірної модифікації документа, тобто підробки. Стеганографічна система дозволяє вбудувати цифрові дані одного об'єкта в інший і вилучати приховану інформацію [7].

Для того щоб представити структуру стегосистеми, необхідно ввести такі позначення: нехай C – цифрове зображення, ЦВЗ, I

– цифровий документ, в стенографії зображення, в яке вбудовується ЦВЗ, називають контейнером, K – заповнений контейнер. Процеси E , T , D – відповідно процес вбудовування ЦВЗ в документ, перетворення заповненого контейнера і вилучення ЦВЗ. Стандартну схему стеганографічної системи можна показати наступним чином (рис. 2).

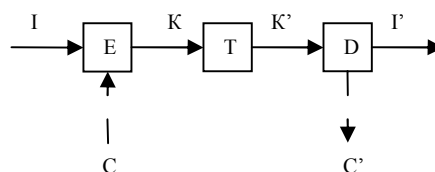


Рис. 2 Схема стеганографічної системи

Перетворення T заповненого контейнера K' можуть включати процеси: передача по мережі, різного роду атаки на ЕД, друк та інші [8]. Основною властивістю стеганосистеми є близькість значень порожнього і заповненого контейнера $I \approx K$. Насамперед, ця умова має виконуватися для того, щоб візуально був непомітним вбудований ЦВЗ в ЕД. Математичну модель стеганографічної системи можна представити у вигляді формул (1)–(3). Спочатку виконується генерація ЦВЗ:

$$Z = F(R, K, I), \quad (1)$$

де Z – множина можливих ЦВЗ, R – ключі, K – контейнери, I – приховані дані, ЕД.

Процес вбудовування ЦВЗ $Z(m, n)$ у вихідний цифровий документ $I(m, n)$:

$$I'(m, n) = I(m, n) \oplus L(m, n)Z(m, n)p(m, n) \quad (2)$$

де $L(m, n)$ – маска вбудовування ЦВЗ, що враховує властивості зору людини з метою зробити непомітним використання ЦВЗ, $p(m, n)$ – проектувальна функція, яка залежить від ключа і відповідає за розподіл ЦВЗ по площині цифрового документа.

Операція детектування D – виявлення ЦВЗ в документі – представлена формулою:

$$D(I', Z) = (I', F(I, R)) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Z \in \\ 0, & \text{якщо } Z \text{ немає} \end{cases} \quad (3)$$

Можливості криптографії вже відомі, вона давно пройшла шлях свого становлення й існуючі методи можуть бути легко адаптовані до задач СЕД. Сучасна криптографія включає такі основні розділи: асиметричні системи, симетричні системи шифрування, системи ЕЦП та керування ключами [9]. Досить часто для захисту ЕД використовують

симетричні системи, до яких можна віднести підстановки, перестановки, гамування й блочні шифри. Основні напрями використання криптографічних методів: передача конфіденційної інформації в каналах зв'язку, встановлення дійсності переданих повідомлень, збереження інформації на носіях у зашифрованому вигляді. Криптографія дає можливість перетворити інформацію таким чином, що її прочитання можливе тільки при знанні ключа.

Головним реквізитом ЕД є ЕЦП – атрибут, який дозволяє на основі криптографічних методів встановити авторство і цілісність ЕД [10]. Використання ЕЦП дає можливість забезпечити:

1) контроль цілісності ЕД за умови будь-якого випадкового чи навмисного спотворення документа, оскільки підпис стане недійсним, тому що він створений на основі первинного стану документа і відповідає лише йому;

2) захист від редагування (фальсифікації) ЕД;

3) гарантування авторства і неможливість відмови від нього; створити конкретний електронний підпис можна, лише володіючи закритим ключем, який відомий тільки власникові [11].

Система ЕЦП включає процедуру формування і перевірки підпису. ЕЦП може створюватися за симетричною або за асиметричною схемами. Крім цього, існують також й інші різновиди цифрового підпису, які є модифікаціями двох основних схем. Оскільки ЕД можуть бути достатньо великими, то часто ЕЦП накладається не на сам документ, а на його хеш. Хеш обчислюють за допомогою криптографічних хеш-функцій, що гарантує виявлення змін у документі при перевірці підпису. Технологія використання ЕЦП передбачає електронний обмін даними між абонентами мережі. Для відправника і отримувача генерується пара ключів: відкритий і закритий. Закритий ключ зберігається у відправника в таємниці і використовується ним з метою формування ЕЦП. Відкритий ключ відомий отримувачеві і призначений для перевірки ЕЦП підписаного ЕД. Система ЕЦП включає процедуру формування підпису та його перевірку. Принциповим моментом у системі ЕЦП є неможливість підробки ЕЦП користувача без володіння секретним ключем підпису. Тому важливо тримати ключ в таємниці і забезпечити надійний захист від НсД [12].

Безпека інформації при її передачі відкритими каналами зв'язку може забезпечуватися методами як криптографії, так і стеганографії. Проте, враховуючи, що жоден із цих напрямів на даному етапі свого розвитку не може самостійно вирішити всі питання, пов'язані з захистом інформації в СЕД, забезпечення ІБ електронного документообігу можливе лише в умовах комплексного використання криптографічних і стеганографічних засобів захисту.

Висновки. У висновку можна зазначити, що проблема ІБ в СЕД постійно зростала, стимулюючи при цьому пошук нових методів захисту ЕД. Забезпечення достовірності і гарантії авторства ЕД є необхідною умовою якісного функціонування соціальних структур. Основною причиною порушення ІБ у системах вже довгий час залишається отримання НсД до інформаційних ресурсів. Як один із варіантів контролю прав доступу до СЕД запропонована модель розмежування доступу Take-Grant. Оскільки абсолютний контроль доступу в більшості випадків є неможливим, то вирішення проблеми безпеки ЕД має додатково забезпечуватися засобами захисту інформації.

Особлива увага зосереджена на таких напрямках захисту, як стеганографія та криптографія. Для захисту авторських прав, забезпечення цілісності та достовірності ЕД використовуються ЦВЗ та ЕЦП. Проте, дослідження доводить, що на сучасному етапі свого розвитку ефективного захисту ЕД можна домогтися лише за умови комплексного використання засобів криптографії та стеганографії. Поступово вже виникають нові, гібридні системи захисту інформації.

Список літератури

1. Розломій І. О. Організація і оцінка ефективності системи захищеного документообігу / І. О. Розломій // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2015. – № 6 (95). – С. 119–124.
2. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М. : Солон-пресс. Изд. : Пандора-1, 2002. – 261 с.
3. Коханович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Коханович.

- вич, А. Ю. Пузыренко. – К. : МК-Пресс, 2006. – 288 с.
4. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ / Аграновский А. В., Балакин А. В., Грибунин В. Г., Сапожников С. А. – М. : Вузовская книга, 2009. – 220 с.
 5. Digital watermarking and steganography / I. J. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich. – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishing, 2008. – 624 p.
 6. Балакин А. В. Использование стеганографических методов для защиты текстовой информации / А. В. Балакин, А. С. Елисеев // Технологии информационного общества ФГНУ НИИ «Спецвузавтоматика». – 2009. – С. 183–184. – (Спецвыпуск).
 7. Сагайдак Д. А. Способ формирования цифрового водяного знака для физических и электронных документов / Д. А. Сагайдак, Р. Т. Файзуллин // Компьютерная оптика. – 2014. – № 1 (38). – С. 94–104.
 8. Очнев Д. В. Цифровые водяные знаки как метод защиты текстовых печатных документов / Д. В. Очнев, Е. С. Чиркин // Гаудеамус : психолого-педагог. журн. – 2012. – № 2 (20). – С. 148–149.
 9. Основы криптографии / Алферов А. П., Zubov A. Yu., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. – Гелиос АРВ, 2002. – 480 с.
 10. Астахова Т. С. Электронная цифровая подпись как фактор сохранения целостности и аутентичности документа / Т. С. Астахова, Е. П. Чадаева // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – № 6. – С. 55–61.
 11. Розломий І. О. Електронний цифровий підпис як засіб забезпечення цілісності та достовірності електронного документа / І. О. Розломий // Сучасна наука: теорія і практика. – Запоріжжя : ІОПМ, 2015.
 12. Рябко Б. Я. Основы современной криптографии / Б. Я. Рябко, А. Н. Фионов. – Научный Мир, 2004. – 173 с.
 - Ostrohradskoho*, 6 (95), pp. 119–124 [in Ukrainian].
 2. Gribunin, V. G., Okov, I. N. and Turintsev, I. V. (2002) Digital steganography. Moscow: Solon-press. Publisher: Pandora-1, 261 p. [in Russian].
 3. Kokhanovich, G. F. and Puzyrenko, A. Yu. (2006) Computer steganography. Theory and practice. Kiev : MK-Press, 288 p. [in Russian].
 4. Agranovskiy, A. V., Balakin, A. V., Gribunin, V. G. and Sapozhnikov, S. A. (2009) Steganography, digital watermarking and steganalyst. Moscow: Vuzovskaya kniga, 220 p. [in Russian].
 5. Cox, I. J., Miller, M., Bloom, J. and Fridrich, J. (2008) Digital watermarking and steganography. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishing, 624 p.
 6. Balakin, A. V. and Eliseev, A. S (2009) The use of steganographic techniques to protect textual information. *Technologiyi informatsionnogo obschestva FGNU NII "Spetsvuzavtomatika"*. Special edition, pp. 183–184 [in Russian].
 7. Sagaidak, D. A. and Faizullin, R. T. (2014) A method of forming a digital watermark for physical and electronic documents. *Compjuter-naya optika*, 1 (38), pp. 94–104 [in Russian].
 8. Ochnev, D. V. and Chirkin, E. S. (2012). Digital watermarks as a method of protection of text printed documents. *Gaudeamus: psychopedagogical journal*, 2 (20), pp. 148–149 [in Russian].
 9. Alferov, A. P., Zubov, A. U., Kuzmin, A. S. and Cheremushkin, A. V. (2002). Basics of cryptography. Helios ARV, 480 p. [in Russian].
 10. Astakhova, T. S. and Chadaeva, E. P. (2012). Electronic digital signature as a factor in preserving the integrity and authenticity of the document. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, (6), pp. 55–61 [in Russian].
 11. Rozlomii, I. O. (2015) Electronic digital signature as a means of electronic document's integrity and authenticity. *Suchasna nauka: teoriya i praktyka*. Zaporizhzhya, pp. 150–153 [in Ukrainian].
 12. Ryabko, B. Ja. and Fionov, A. N. (2004) The foundations of modern cryptography. Nauchnyy Mir, 173 p. [in Russian].

References

I. O. Rozlomii, *postgraduate student*,
G. V. Kosenuk, *Ph.D.*
Cherkasy Bogdan Khmelnytskyi national university
Schevchenko blvd, 81, Cherkasy, 18000, Ukraine

THE MAIN PROPERTIES OF ELECTRONIC DOCUMENT PROTECTION FROM FALSIFICATIONS

In connection with the development of information technologies and computer data networks the systems of electronic document management become widely implemented. However, an important obstacle to the introduction of electronic documents has a number of issues related to the security of information systems of electronic documents.

The tools of information protection in order to enhance the protection of electronic documents have been researched. Achieving of this goal involves: the analysis of possible attacks on information resources of electronic documents, the study of modern steganographic and cryptographic methods of information security, the possibility of building of a comprehensive system of electronic documents protection.

The existing mechanisms of information security can not fully solve a number of problems specific to electronic documents. Thus, it becomes relevant and contemporary task of research opportunities by means of methods and models for electronic documents protection, using advanced cryptography and steganography tools.

The development of the system of electronic documents protection provides the following basic steps:

- 1) the analysis of the basic properties and functions of electronic documents;*
- 2) the classification of threats to information security;*
- 3) the research of requirements for information security;*
- 4) the identification and development of mechanisms to protect information.*

Most attacks on information are carried out by means of unauthorized access to information resources. In the article the model of access Take-Grant, whose rules allow to control the access to electronic documents, is considered. Since absolute control of the access to system resources is not possible, the protection of electronic documents can be used by means of cryptography and steganography. Digital watermarks are used in documented information in order to copyright protection. By means of cryptography one can protect the information through encryption or electronic digital signature. Electronic digital signature ensures the integrity of the document, the protection against forgery and guarantees authorship.

The safety of information during its transfer by open channels of communication can be provided by the methods of cryptography and steganography. However, given that none of these areas at this stage of the development can not solve all issues related to the protection of information in the systems of electronic document management, the providing of information security of electronic documents is possible only in the conditions of complex use of cryptography and steganography remedies. The practical value of the study is the ability to use the results for further development of new and improvement of existing systems of electronic documents protection.

Keywords: *electronic document, authenticity, steganography, digital watermark, electronic digital signature.*

*Рецензенти: В.М. Рудницький, д.т.н., професор,
С. В. Голуб, 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

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ ДЕФЕКТІВ ВСИПНОЇ ОБМОТКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОЛІГРАФІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті запропоновано способи підвищення надійності роботи електричних машин поліграфічних комплексів за рахунок контролю процесів розтріскування міжжиткової ізоляції. Розроблена математична модель розтріскування міжжиткової ізоляції дозволяє оцінити вплив на розтріскування фізико-механічних параметрів просочувальних матеріалів та конструктивних факторів: діаметра емальованого дроту, коефіцієнта заповнення паза, кількості дротів в обмотці.

Ключові слова: міжжиткова ізоляція, вірогідність, надійність, розтріскування ізоляції, обмотка, розподіл.

Вступ. Сьогодні у вітчизняній поліграфічній промисловості спостерігається процес технічного переоснащення підприємств. Це зумовлено багатьма факторами: передусім, бурхливим прогресом техніки та технології, істотно підвищеними вимогами до якості друкарської продукції, а також збільшення обсягів випуску друкованої реклами і пакувальних засобів, появою значної кількості невеликих підприємств – як спеціалізованих на певні види продукції, так і універсальних. Тільки сучасні техніка та технологія у поєднанні з новими методами управління виробництвом дають змогу підприємствам витримати конкуренцію і досягнути успіху на ринку поліграфічних послуг [1, 3].

Одним із шляхів збільшення та оновлення поліграфічної бази діючого парку поліграфічного обладнання в експлуатації є підвищення надійності його роботи. Цим завданням відповідає правильно організоване технічне обслуговування і ремонт поліграфічного обладнання. На багатьох підприємствах створені добре організовані ремонтні цехи, де проводяться поточні й капітальні ремонти механічної та електричної частин друкарських машин [1, 3].

Найбільш широке застосування для приводу поліграфічних машин та комплексів отримали асинхронні двигуни – прості в експлуатації, мають нескладну конструкцію і високий ККД. Численні дослідження показують,

що 70 % електричних машин поліграфічних комплексів виходять з ладу через дефекти всипної обмотки статора. Внутрішні напруження є однією з основних причин пошкодження міжжиткової ізоляції статорних обмоток [2, 4, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки розроблені і прийняті більш високі вимоги до якості й надійності електричних машин.

Важлива роль у вирішенні задач підвищення надійності відводиться електроізоляційним матеріалам і конструкціям електричної ізоляції. Але не повною мірою досліджені та вивчені процеси утворення тріщин і відмов ізоляції в процесі теплового старіння, не представлені фізико-хімічні взаємодії просочувальних матеріалів у конструкції з емаллю дроту. В результаті взаємодії електрична міцність міжжиткової ізоляції може підвищуватись або знижуватись. Математична теорія надійності і сучасні методи планування і обробки результатів експерименту ще недостатньо добре відомі дослідникам. Питання математичного моделювання і прогнозування надійності ізоляції відносяться до найменш вивчених.

Постановка завдання дослідження. Розподіл внутрішніх напружень у міжжитковій ізоляції має складний характер і може залежати від випадкового положення дротів у пазу, коефіцієнта заповнення паза і ряду ін-

ших факторів. Тому, при дослідженні та аналізі процесів розтріскування міжвиткової ізоляції обмотки електричних машин до уваги будуть братись лише основні параметри обмотки та її компонентів. На основі цього необхідно дослідити вірогідності розтріскування просочувального компаунда залежно від геометричного параметра дроту і коефіцієнта заповнення паза, а також діаметра дроту і кількості витків в катушці.

Мета роботи – дослідити та провести аналіз процесів розтріскування міжвиткової ізоляції всипних обмоток електричних машин поліграфічних комплексів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вірогідність розтріскування міжвиткової ізоляції обмотки являє собою вірогідність одночасної реалізації двох незалежних дій, вона повинна визначатися за правилом перемноження вірогідностей.

Визначимо вірогідність розтріскування ізоляційного проміжку двох дротів n_e (рис. 1). Будемо вважати, що міцність складу ізоляції характеризується вірогідністю $g(\sigma)$ і відповідною безперервною функцією розподілу $G(\sigma)$. Тоді вірогідність того, що міцність матеріалу в проміжку дорівнює або менша деякого значення σ , дорівнює

$$G(\sigma) = \int_{-\infty}^{\sigma} g(\sigma) d(\sigma). \quad (1)$$

Значення нижньої границі інтегрування $-\infty$ введено умовно для того, щоб отримати безперервний розподіл міцності. Внутрішні напруження визначені вірогідностями $f(\sigma)$ і функцією розподілу $F(\sigma)$. В цьому випадку вірогідність того, що внутрішні напруження в проміжку одного елемента знаходяться між значеннями σ і $\sigma + \Delta\sigma$, дорівнює $f(\sigma)\Delta\sigma$.

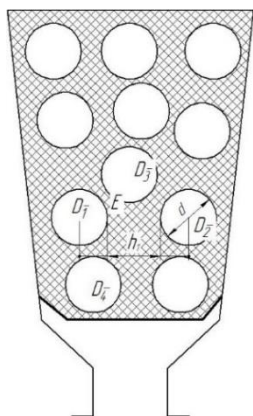


Рис. 1. Паз статорної обмотки електродвигуна

Для даного значення σ вірогідність розтріскування проміжку дорівнює вірогідності того, що значення внутрішнього напруження знаходиться між σ і $\sigma + \Delta\sigma$, помножений на вірогідність того, що міцність дорівнює або менша σ . При усіх значеннях σ вірогідність розтріскування ізоляційного проміжку дорівнює

$$n_e = \int_0^{\infty} f(\sigma)G(\sigma)d\sigma. \quad (2)$$

Вірогідність невиникнення тріщин в елементі дорівнює $1 - n_e$; вірогідність того, що в жодному з елементів не виникне тріщина, дорівнює $(1 - n_e)^N$, де N – кількість елементів у системі, дорівнює $N \approx 2.7\omega VZ_n$, [7, 8], де ω – кількість витків у катушці (секції) в пазі (для одношарової обмотки $V = 1$, для двошарової $V = 2$).

Тоді для всієї обмотки вірогідність виникнення тріщин може бути визначена за формулою

$$P_o = 1 - (1 - n_e)^N. \quad (3)$$

Із формул (2) і (3) випливає, що для розрахунку вірогідності розтріскування міжвиткової ізоляції необхідно знати розподіл внутрішніх напружень $f(\sigma)$ і міцності просочувального матеріалу $g(\sigma)$. Відстань між ізолюваними дротами в пазу електродвигуна із всипною обмоткою розподілена за законом показника. Щільність вірогідності випадкового значення товщини ізоляційного проміжку між дротами може бути записана у вигляді

$$f(h) = \frac{1}{h_{cp} - 2h_c} \times \left[-\frac{h}{h_{cp} - 2h_c} \right] \quad (4)$$

при $2h_c < h \leq \infty$,

де h_{cp} – середня товщина ізоляційного проміжку між дротами; h_c – товщина емальованої ізоляції дроту.

Переходячи до відношення h/d і виражаючи h через коефіцієнт заповнення паза K дротом, вираз (4) можна привести до вигляду:

$$f\left(\frac{h}{d}\right) = \frac{1}{\lambda\left(\sqrt{\frac{2}{\sqrt{3} \times K}} - 1\right)} \times \left[\frac{\frac{h}{d} - (\lambda - 1)}{\lambda\left(\sqrt{\frac{2}{\sqrt{3} \times K}} - 1\right)} \right] \quad (5)$$

при $\frac{2he}{d} < \frac{h}{d} < \infty$,

де $K = \frac{\omega v D^2}{S}$; $\lambda = \frac{D}{d}$ – геометричний параметр дроту, що дорівнює відношенню діаметра дроту по емалевій ізоляції D до діаметра дроту d ; S – поперечний переріз паза без ура-

хування площі клину, пазової ізоляції міжкотушкової прокладки (рис. 1).

Перетворюючи відношення $\frac{h}{d}$ в приведену величину внутрішніх напружень σ_M , на основі виразів (4) і (5) отримаємо розподіл приведеної величини внутрішніх напружень у вигляді

$$f(\sigma_M) = \frac{1}{2a\lambda\sqrt{\sigma_M-b}\left(\sqrt{\frac{2}{3\times K}}-1\right)} \times \left[-\frac{a(c-\lambda)-\sqrt{\sigma_M-b}}{a\lambda\left(\sqrt{\frac{2}{3\times K}}-1\right)} \right], \quad (6)$$

де a, b, c – постійні коефіцієнти.

Спрощуючи вираз (6) введенням конструктивного параметра $\theta = a\lambda\left(\sqrt{\frac{2}{3\times K}}-1\right)$, отримуємо вираз

$$f(\sigma_M) = \frac{1}{2\theta\sqrt{\sigma_M-b}} \times \left[-\frac{a(c-\lambda)-\sqrt{\sigma_M-b}}{\theta} \right] \quad (7)$$

при $\sigma_M^0 \leq \sigma_M < \sigma_M^m$,

де σ_M^0 – найменше значення приведених внутрішніх напружень;

σ_M^m – найбільше значення приведених внутрішніх напружень.

Приведені внутрішні напруження досягають найбільшого значення σ_M^m при дотику дротів по емалевій ізоляції. Аналіз виразу (7) показує, що зі зростанням геометричного параметра λ найбільше значення σ_M^m зменшується. При цьому значенні вірогідності випадкової величини σ_M в точці σ_M^m не змінюються, а в області точки σ_M^0 спостерігається деяке збільшення за рахунок зростання кількості ізоляційних проміжків у співвідношенні $\frac{h}{d} > 1,5 \div 2$.

При збільшенні коефіцієнта заповнення паза дротом зростає частота дотику дротів і відповідно вірогідність $f(\sigma_M^m)$. При переході від випадкової приведеної величини внутрішніх напружень σ_M до діючої σ відповідно до виразу (7) розподіл випадкової діючої величини σ набуває вигляду

$$f(\sigma_M) = \frac{1}{2M\theta\sqrt{\frac{\sigma}{M}-b}} \times \left[-\frac{a(c-\lambda)-\sqrt{\frac{\sigma}{M}-b}}{\theta} \right]. \quad (8)$$

При цьому характер розподілу при заданих значеннях λ і K зберігається, а його розташування по осі σ визначається M . Зі зростанням M розподіл зміщується в область

більш високих значень внутрішніх напружень. Вираз (8) може бути представлений у вигляді чотирипараметричного розподілу:

$$f(\sigma) = \frac{\beta}{\alpha} (\sigma - \gamma)^{\beta-1} \times \left[-\left(\xi - \frac{(\sigma-\gamma)^\beta}{\alpha} \right) \right] \quad (9)$$

при $\gamma < \sigma \leq \gamma + (\alpha\xi)^{\frac{1}{\beta}}$,

де $(\alpha\xi)^{\frac{1}{\beta}}$ – параметр мірила;

$\beta = \frac{1}{2}$ – параметр форми;

$\gamma = Mb$ – параметр положення;

$\xi = \frac{a(c-\lambda)}{\theta}$ – параметр границі.

Вірогідності випадкової величини міцності σ_p задаємо у вигляді

$$g(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times \sigma_d} \times \left[-\frac{(\sigma - \sigma_p)^2}{2\sigma_d^2} \right]$$

при $-\infty < \sigma < \infty$.

Відповідно функція розподілу випадкової величини σ_p має вигляд

$$G(\sigma) = \int_{-\infty}^{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times \sigma_d} \times \left[-\frac{(\sigma - \sigma_p)^2}{2\sigma_d^2} \right] d\sigma$$

при $-\infty < \sigma < \infty$.

Для $Z_p = \frac{\sigma_p - \sigma_p}{\sigma_d}$ – нормально розподіленої випадкової величини маємо:

$$\Phi(Z_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_p} \left[-\frac{Z_p^2}{2} \right] dZ.$$

Виразивши функції $f(\sigma)$ і $G(\sigma)$ через відповідні параметри розподілу, вираз (3) для вірогідностей розтріскування просочувального матеріалу в обмотці можна записати:

$$P_o = 1 - \left\{ 1 - \int_{\gamma}^{\gamma + (\alpha\xi)^{\frac{1}{\beta}}} \frac{\beta}{\alpha} (\sigma - \gamma)^{\beta-1} \times \left[-\left(\xi - \frac{(\sigma-\gamma)^\beta}{\alpha} \right) \right] \times \int_{-\infty}^{Z_p} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \left[-\frac{Z_p^2}{2} \right] dZ d\sigma \right\}^N \quad (10)$$

Вираз (10) представляє математичну модель розтріскування просочувального матеріалу в обмотці електродвигуна. За розробленою моделлю може бути розрахована вірогідність розтріскування для будь-якої температури та будь-якого моменту теплового старіння. Для цього потрібно знати зміну фізико-механічних параметрів залежно від температури і часу старіння.

Найбільш значним результатом дослідження моделі є той факт, що вірогідність розтріскування просочувального матеріалу сут-

тво залежить від геометричного параметра дроту (рис. 2).

Інтервали зміни параметрів моделі вибираються, виходячи з реальних їх значень в існуючих електродвигунах серій 4А та 4АМ. В розрахунках коефіцієнт заповнення паза K змінюється в межах 0,6–0,8, геометричний параметр дроту λ – в межах 1–1,4, міцність матеріалу σ_p – в межах 50–70 МПа, коефіцієнт зміни міцності σ – в межах 20–50 %, узагальнений фізичний показник матеріалу M – в межах 10–20 МПа.

Зі зменшенням параметра λ при постійних інших параметрах вірогідність розтріскування компаунда збільшується. При цьому швидкість зміни вірогідності розтріскування збільшується зі зменшенням параметра λ .

В основному це пов'язано із збільшенням швидкості нарощування напружень при малих відношеннях h .

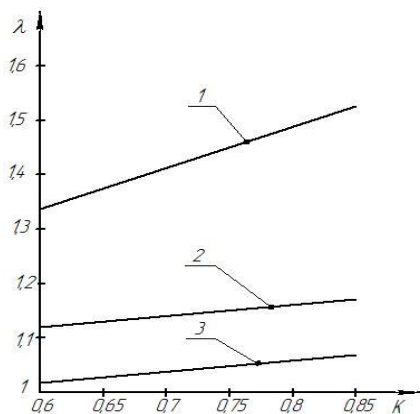


Рис. 2. Вірогідність розтріскування компаунда КП-101 залежно від геометричного параметра дроту і коефіцієнта заповнення паза:

$$1 - n_e = 10^{-6}; 2 - n_e = 10^{-5}; 3 - n_e = 10^{-4}$$

Слід відзначити, що геометричний параметр дроту значно зростає зі зменшенням діаметра провідника, а найбільш різке зростання λ відбувається при діаметрах провідника, менших 400 мкм. Це обумовлено тим, що емалева обмотка дроту визначає нижню границю $\frac{h}{a}$.

Відповідно до математичної моделі діаметр провідника і кількість витків у котушці роблять протилежний вплив на вірогідність розтріскування ізоляції. Вона знижується зі зменшенням діаметра провідника і зростає зі збільшенням кількості витків W , тому що зростає кількість елементів N (рис. 3).

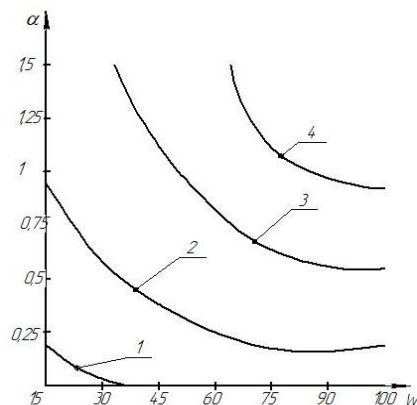


Рис. 3. Вірогідність розтріскування компаунда КП-101 залежно від діаметра дроту і кількості витків у котушці:

$$1 - n_e = 10^{-4}; 2 - n_e = 10^{-3}; 3 - n_e = 10^{-2}; 4 - n_e = 10^{-1}$$

Математична модель розтріскування міжвиткової ізоляції дозволяє оцінити вплив на розтріскування фізико-механічних параметрів просочувальних матеріалів і конструктивних факторів: діаметра емальованого дроту, коефіцієнта заповнення паза, кількості дротів в обмотці. Розроблена математична модель відображає початкову стадію пошкодження міжвиткової ізоляції – розтріскування просочувального матеріалу в обмотці електродвигуна. За цією моделлю може бути розрахована вірогідність розтріскування для будь-якої температури і для будь-якого моменту теплового старіння. Для цього потрібно знати зміну фізико-механічних параметрів залежно від температури і часу старіння.

Висновки. На основі отриманих результатів дослідження встановлено, що:

1) вірогідність розтріскування полімерної ізоляції зменшується більш ніж у п'ять разів при збільшенні геометричного параметра дроту з 1 до 1,4;

2) при діаметрах емальованого дроту, менших 0,4 мм, вірогідність розтріскування полімерного середовища різко зменшується внаслідок значного збільшення геометричного параметра дроту;

3) коефіцієнт заповнення паза емальованим дротом на вірогідність полімерного середовища практично не впливає.

Список літератури

1. Друкарське устаткування : підручник / Я. І. Чехман, В. Т. Сенкус, В. П. Дідич, В. О. Босак. – Львів : УАД, 2005. – 468 с.
2. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. – [Чинний від 01-01-1996]. – К. : Держспоживстандарт України, 1994. – 96 с.
3. ДСТУ 3433-96 Моделі відмов. Основні положення. – [Чинний від 01-01-1999]. – К. : Держспоживстандарт України, 1997. – 98 с.
4. Ванев Б. Н. Надежность асинхронных электродвигателей / Б. Н. Ванев. – К. : Техника, 1983. – 142 с.
5. Горбунов А. П. Комплексный подход к оценке надежности электрических машин / А. П. Горбунов, О. Д. Гольдберг, Э. Б. Иртышский – Электричество. – 1984. – № 5. – С. 52–54.
6. Корчемный Н. А. Повышение надежности электрооборудования в сельском хозяйстве / Н. А. Корчемный, В. П. Машевский. – К. : Урожай, 1988. – 176 с.
7. Надежность изоляции электрических машин / А. И. Галушко, И. С. Максимова, Р. Г. Оснач., П. М. Хазановский. – М. : Энергия, 1979. – 176 с.
8. Петров Т. А. Обоснование периодичности технического обслуживания и ремонта электродвигателей с учетом их эксплуатационной надежности : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Челябинск, 1983. – 24 с.
9. Манько В. М. Універсальний стенд діагностування та випробування електричних машин / В. М. Манько // Автошляховик України (Київ). – 2001. – Вип. 2. – С. 48–53.
10. Костинюк Л. Д. Моделювання електроприводів / Л. Д. Костинюк, В. І. Мороз, Я. С. Паранчук – Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2004. – 404 с.

References

1. Chehman, Ja. I., Senkus', V. T., Didych, V. P. and Bosak, V. O. (2005) Printing equipment. L'viv: UAD, 468 p. [in Ukrainian].
2. DSTU 2860-94 (1994) Engineering reliability. Terms and definitions. [Effective as of 01.01.1996]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 96 p. [in Ukrainian].
3. DSTU 3433-96 (1997) Models of failures. Substantive provisions. [Effective as of 01.01.1999]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 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. and Irtyshskij, E. B. (1984). An integrated approach to assessing the reliability of electrical machines. *Elektrichestvo*, No. 5, pp. 52–54 [in Russian].
6. Korchemnyj, N. A. and Mashevskij, V. P. (1988) The increase of reliability of electrical equipment in agriculture. Kiev: Urozhaj, 176 p. [in Russian].
7. Galushko, A. I., Maksimova, I. S., Osnach, R. G. and Hazanovskij, P. M. (1979) The reliability of insulation of electric machines. 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: theses for Ph.D. in Engineering. Chelyabinsk, 24 p. [in Russian].
9. Man'ko, V. M. (2001). Universal stand for diagnosing and testing of electrical machines. *Avtoshlyahovyk Ukrayiny*, (2), Kyiv. pp.48–53 [in Ukrainian].
10. Kostynjuk, L. D., Moroz, V. I. and Paranchuk, Ja. S. (2004) Modeling of electric drives. L'viv : Nac. un-t «L'viv's'ka politehnika», 404 p. [in Ukrainian].

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

THE STUDY AND ANALYSIS OF PROCESSES OF WINDING DEFECTS PRECIPITATION IN ELECTRIC MACHINES OF PRINTING COMPLEXES

In recent years, higher demands for quality and reliability of electrical machines are developed and approved.

An important role in solving the increase in reliability is given to insulation materials. Nevertheless, the processes of cracking and isolation failures during heat aging are to be fully researched, physical and chemical interactions of impregnating materials in the construction with wire enamel are not shown. As a result of interaction an electrical strength of interturn insulation may increase or decrease. Distribution of internal stresses in interturn isolation has a complex character and may depend on the random position of wires in a groove, the groove filling factor, etc. The aim of this work is to study the probability of cracking of wire penetrating parameter and the groove filling factor and also of wire diameter and number of turns in the coil.

Based on the results of the study it is found that the probability of cracking of polymer insulation is reduced more than 5 times with the increase of wire geometric parameters from 1 to 1.4, and the factor of groove filling by enameled wire has virtually no effect on the probability of cracking of polymer medium.

Mathematical model of interturn isolation cracking allows to evaluate the impact of cracking on physical and mechanical parameters of impregnating materials and structural factors, such as enameled wire diameter, groove filling factor, the number of wires in the coil.

Keywords: *interturn insulation, probability, reliability, insulation cracks, winding, distribution.*

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

О. В. Гайдаєнко, аспірант

e-mail: O_kotsur@mail.ru

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова
просп. Героїв Сталінграду, 9, м. Миколаїв, 54000, Україна

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНО НЕСТІЙКИХ ПРОЕКТНИХ ПОКАЗНИКІВ

В роботі запропоновано алгоритм методики статистичного аналізу реальних даних моніторингу медичних захворювань, що представлені часовими рядами. Показано, що показники медичних проектів є неоднорідними та підозрілими. Доцільним є використання стійких (робастних) оцінок, а також їх адаптивних модифікацій для усунення зазначених властивостей. Використання процедур робастного статистичного оцінювання дозволяє отримати незміщені та ефективні оцінки контрольованих показників навіть при наявності неоднорідності.

Розроблений алгоритм методики може бути застосований для аналізу вимог користувачів продуктів проекту та загалом усіх його стейкхолдерів. Порівняння існуючих підходів до оцінювання показує перспективність запропонованого алгоритму методики в управлінні стейкхолдерами проектів.

Ключові слова: управління медичними проектами, статистичний аналіз проектних показників, неоднорідність, робастні оцінки, адаптивні робастні оцінки.

Постановка проблеми Погіршення екології, політична та економічна нестабільність спонукає застосовувати проектну методологію до управління медичною галуззю [1]. Зазначені фактори впливають на загальний стан здоров'я населення при загальному зменшенні ресурсів на його покращення. Однією з ресурсоемних хвороб є цукровий діабет (ЦД). Він давно став світовою епідемією, кількість пацієнтів у різних країнах постійно зростає. Велика соціальна значимість проблеми полягає в тому, що ЦД є одним із захворювань, що найбільш часто призводять до інвалідизації населення і смерті, у зв'язку з судинними ускладненнями, у тому числі з урахуванням гендерної проблематики [2]. Це вимагає від держави ще більших бюджетних витрат. Тому доцільними є витрати ресурсів та боротьба з хворобою саме на початкових стадіях, а не з її наслідками. Тобто процес лікування ми розуміємо як лікувальний проект [3]. У зв'язку з цим велику увагу слід приділити збору та аналізу статистичних часових даних для підготовки та впровадження таких проектів, їх стратегії та тактики в управлінні [4].

Попередній аналіз медичного закладу показав, що на успішність проектів великою мірою роблять вплив пацієнти як споживачі медичних послуг, на відміну від інших типів проектів [5]. Тому, нагальною потребою є визначення проектного оточення, учасників

або стейкхолдерів медичних проектів, їх внесок до успішності або провалу проекту з урахуванням проектних ризиків [6], набуття цінностей його учасниками, задоволення їх очікувань [1, 3]. Для вирішення таких потреб необхідно провести моніторинг показників і виконати аналіз щодо формування портфеля проектів медичного закладу [7].

Статистичні методи обробки медичних даних спрямовані на визначення здоров'я населення та взаємозв'язку показників здоров'я з факторами навколишнього середовища. На їх основі вивчаються дані про структуру, діяльність [8] і формування кадрової політики лікувально-профілактичних закладів з урахуванням ризиків зовнішнього оточення [9]. Актуальною є задача визначення статистичних оцінок даних моніторингу проектних показників (вибіркове середнє, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та ін). Визначення цих оцінок пов'язано з тим, що в основі сучасних методів короткострокового прогнозування лежать оцінки типу «середнє». Необхідно також враховувати, що дані можуть бути неоднорідними, що характеризується спотворенням параметричних моделей (закону розподілу щільності ймовірності). Зазвичай визначення середніх оцінок може бути використане лише у випадку однорідної вибірки, що нормально розподілена [10].

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'я-

знання даної проблеми і на які спирається автор, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття. Статистичний аналіз в медицині використовується досить широко [11–14]. Так, наприклад, у роботі [11] викладено методи статистичної обробки медичних даних: стандартизація, вибіркові дослідження, дисперсійний і кореляційний аналіз, непараметричні критерії. В [12] висвітлено основні питання проведення статистичного аналізу клінічних досліджень. Статистична обробка являє собою складний багатоступінчастий процес, від рівня наукової організації якого вирішальним чином залежить якість накопичуваних статистичних даних, результати їх обробки та осмислення. В [13] розглянуто традиційні методи аналізу часових рядів, підходи, що спираються на машинне навчання, перераховано найважливіші напрями розробки математичних моделей захворювань. В роботі [14] проведено аналіз даних лабораторних досліджень пацієнтів з дерматологією з використанням робастних статистичних процедур і розробленої математичної моделі диференційної діагностики захворювань шкіри. Запропонований підхід сприяє поліпшенню ефективності лікувально-діагностичних заходів. Разом з тим, слід зазначити, що розглянуті роботи використовують традиційні методи статистичного оцінювання даних (вибіркове середнє, дисперсію, середньоквадратичне відхилення та ін). Однак такі оцінки можуть бути використані за умови однорідності даних. В іншому випадку такі оцінки можуть отримати зміщення, не будуть ефективними та апіорі привнесуть додаткові проектні ризики при формуванні бюджетів майбутніх проектів [15].

Таким чином, можемо зазначити, що розглянуті підходи щодо оцінювання нестійких даних не можуть без доопрацювань бути застосованими до аналізу показників медичних проектів.

Метою дослідження є адаптація методики статистичного аналізу реальних даних моніторингу медичних процесів, представлених часовими рядами задля використання їх при розробці медичних проектів.

Матеріали та методи. Запропонований алгоритм методики зображено у вигляді структури на рис. 1.

На початковому етапі формуються вибірки часових рядів досліджуваних проектних показників, і на їх основі виконується побудова гістограм [16] з наступною апроксимацією їх значень кривими щільності розподілу ймовірності. Далі для вибору методів оцінювання досліджуваних вибірок виконується перевірка статистичних гіпотез на нормальність розподілу. Беручи до уваги те, що за своїм обсягом такі вибірки належать до класу малих, використання традиційних критеріїв перевірки гіпотез, наприклад χ^2 Пірсона, є некоректним. У зв'язку з цим застосовують специфічні критерії Єппса-Паллі, розроблені для малих вибірок [17]. Після такої перевірки обираються методи статистичного оцінювання. У разі виконання H_0 використовуються традиційні методи: середнє, дисперсія, середньоквадратичне відхилення та ін., в іншому випадку виконується альтернативна гіпотеза H_1 , в методиці пропонується використання робастних статистичних оцінок. Під робастністю в статистиці розуміють нечутливість до різних відхилень і неоднорідностей у вибірці [18], які пов'язані з невідомими причинами та можуть бути трактовані як проектні ризики.

Методи робастного оцінювання дозволяють отримувати надійні незміщені та ефективні оцінки статистичної сукупності даних в умовах наявності перекручених моделей ймовірнісних розподілів. В літературних джерелах розглядаються три класи робастних (стійких) оцінок [19–20]: стійкі оцінки на основі методу максимальної правдоподібності (M -оцінки); стійкі оцінки на основі рангових критеріїв (R -оцінки); стійкі оцінки на основі лінійних комбінацій порядкових статистик (L -оцінки). Широке застосування через простоту обчислення отримали L -оцінки. До них відносяться: урізане середнє, середнє за Вінзором, вибіркова медіана, а також адаптивні оцінки (наприклад HGP Хогг), в основі яких лежить процедура вибору однієї з чотирьох оцінок типу «середнє» на підставі величини вибіркового ексцесу.

На підставі результатів статистичного аналізу приймаються рішення щодо гармонійного розвитку кожного проекту та медичної установи в цілому [21]. Оскільки відсутня однозначна думка щодо переваг і недоліків якогось із критеріїв, у методиці пропонується їх комплексне використання.

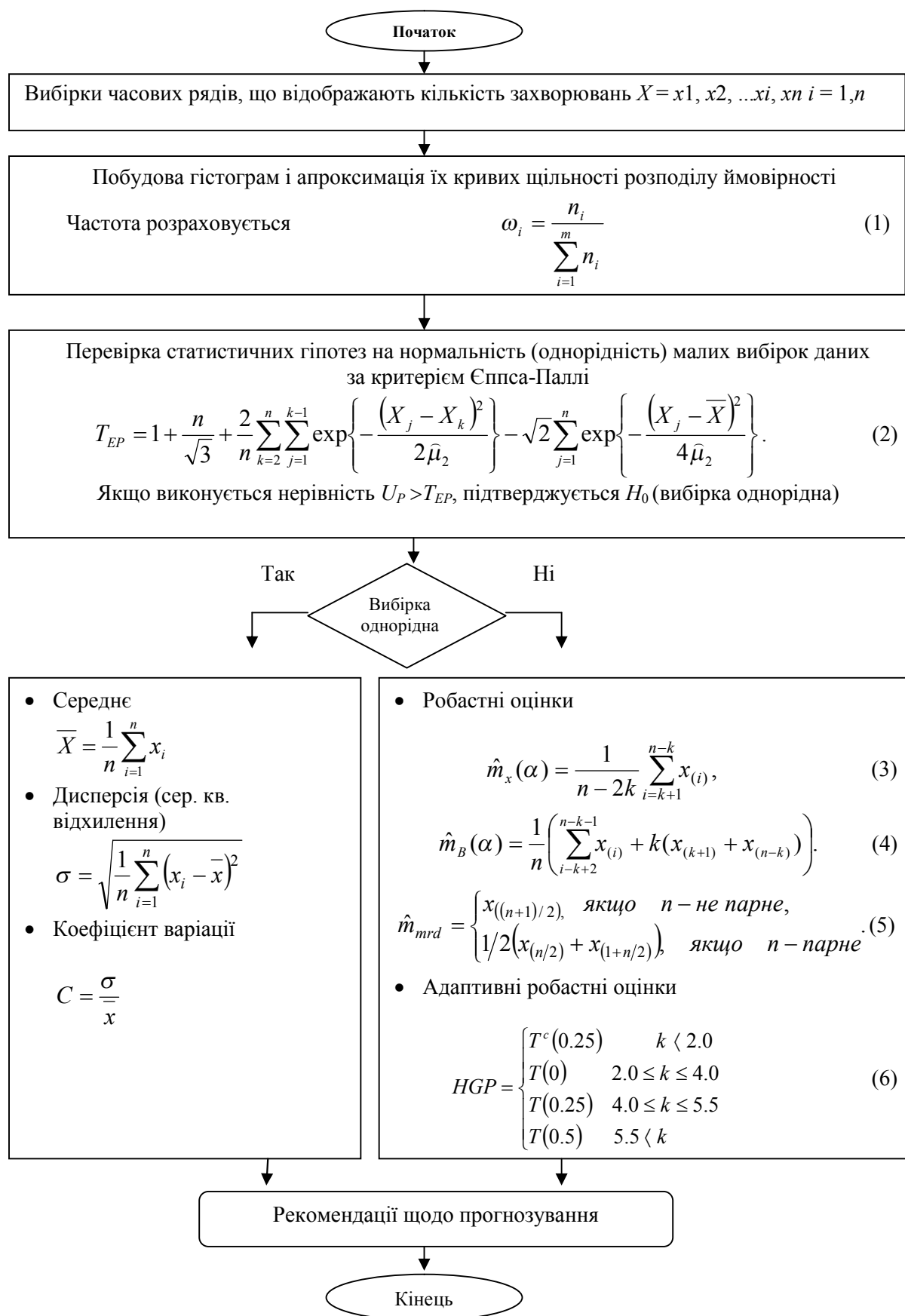


Рис. 1. Алгоритм методики моніторингу даних медичних проєктів

Результати досліджень. Розглянемо приклад застосування запропонованої методики для помісячної кількості пацієнтів відділення ендокринології Миколаївської міської лікарні № 1. Визначимо щільність розподілу ймовірності для кожного року окремо, застосовуючи формулу (1). На рис. 2 та 3 відповідно представлено функції щільності розподілу ймовірності проектних показників за 2014 та 2015 роки.

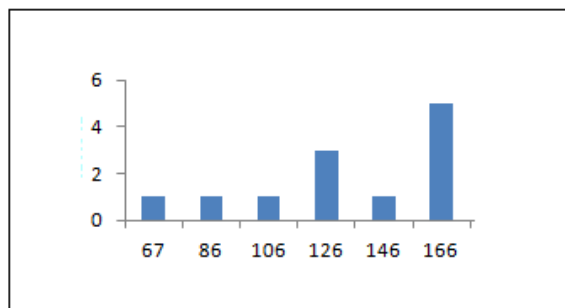


Рис. 2. Щільність розподілу ймовірності даних проектних показників за 2014 рік

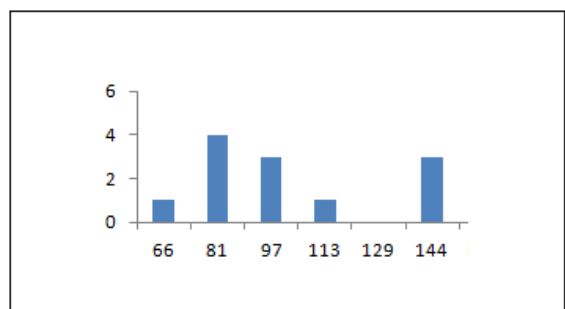


Рис. 3. Щільність розподілу ймовірності даних проектних показників за 2015 рік

З аналізу рис. 2 і 3 видно, що функції щільності розподілу ймовірності проектних показників мають складну структуру: має місце багатомодальність та несиметричність. Для вибору оцінок типу «середнє» необхідно виконати перевірку статистичних гіпотез на однорідність за формулою (2). В результаті одержано: $T_{EP} = 0,289437$, $U_P = 0,375$. Це дає змогу зробити висновок, що вибірка неоднорідна.

Отже, дотримуючись алгоритму, застосовуємо до проектних показників формули (3)-(6). Результати розрахунків подано в табл. 1.

Для обрання одного з методів визначення середнього (X) знаходимо суму відхилень, яка прямує до мінімуму, тоді для оцінювання нестійких проектних показників будемо використовувати X_{HGP} . Результати будуть застосовані для формування функції замовника,

тобто майбутніх пацієнтів [22] та для формування команд майбутніх проектів [23].

Таблиця 1

Вибір методів статистичного оцінювання

	$X_{(\alpha)}$	$X_{(B)}$	$X_{(med)}$	X_{HGP}
2010	83,5	84,5	82,5	88,8
2011	106,1	106,2	104,5	121,1
2012	121,5	122,5	118,5	124,3
2013	131,3	132,9	132,5	132,2
2014	135,3	135,4	132,5	119,8
2015	87,7	89,6	86,5	103,1

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Запропонована методика вигідно відрізняється від існуючих наступним:

- для перевірки законів розподілу проектних показників в умовах малих вибірок запропоновано використовувати спеціальні критерії перевірки статистичних гіпотез;

- для отримання незміщених і ефективних оцінок неоднорідної вибірки даних, закони розподілу яких не відповідають нормальному закону, використано методи робастного і адаптивного оцінювання;

- запропонована методика дозволяє отримати достовірні статистичні оцінки вибірок показників медичних проектів для формування керуючих впливів щодо розвитку організації [24], моніторинг яких в подальшому може бути основою для розв'язання задачі оцінки стейкхолдерів медичних проектів та формування автоматизованого управління офісом медичних проектів за аналогією з [25].

Список літератури

1. Кошкин К. В. Особенности жизненного цикла лечебных проектов / К. В. Кошкин, О. В. Гайдаенко, А. В. Гайдаенко // Вісник НТУ «ХП». – 2016. – № 1/1173. – С. 87–90. – (Серія «Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами»).
2. Fesenko T. Gender mainstreaming as a factor of project management maturity / T. Fesenko // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 23. – С. 5–10.
3. Гайдаенко О. В. Разработка модели повышения качества медицинских услуг / О. В. Гайдаенко, П. Н. Удовиченко // Управління проектами: стан та перспективи : тези

- доп. IX міжнар. наук.-техн. конф. – Миколаїв : НУК, 2013. – С. 100–101.
4. Тесленко П. А. Стратегия и тактика развития проектов на основе закона Тернера-Руденко / П. А. Тесленко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – № 1 (29). – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 98–105.
 5. Фесенко Т. Г. Клієнтоцентризм в управлінні комунікаціями проектів (на прикладі житлового будівництва) / Т. Г. Фесенко, Д. М. Мінаєв // Восточноєвропейский журнал передовых технологий. – Вып. 5/3 (71). – Харьков, 2014. – С. 4–10.
 6. Данченко О. Б. Класифікація ризиків в проектах / О. Б. Данченко // Восточноєвропейский журнал передовых технологий. – № 1/12 (55). – Харьков, 2012. – С. 26–28.
 7. Данченко О. Б. Класифікація портфелів проектів / О. Б. Данченко, І. В. Польшаков, І. Б. Семко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2009. – № 2. – С. 39–42. – (Серія «Технічні науки»).
 8. Вороненко Ю. В. Соціальна медицина та організація охорони здоров'я / Ю. В. Вороненко. – Тернопіль : Укрмедкнига, 2002. – 332 с.
 9. Методика підбору кадрів з врахуванням організаційних ризиків / В. О. Занора, Л. С. Чернова, Ю. М. Кузьмінська, О. Б. Данченко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – № 1 (45). – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 88–94.
 10. Поляков И. В. Практическое пособие по медицинской статистике / И. В. Поляков, Н. С. Соколова. – Ленинград : Медицина, 1975. – 227 с.
 11. Павлова В. Ю. Основные вопросы статистического анализа в медицинских исследованиях / В. Ю. Павлова // Клиническая онкогематология: вопросы медицинской статистики. – 2009. – Т. 2, № 4.
 12. Кондратьев М. А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний / М. А. Кондратьев, М. Ш. Мухаматзанова. – 2013. – № 5 (5). – С. 863–882.
 13. Высоцкая Е. В. Применение робастных статистических процедур для анализа данных лабораторных исследований пациентов с дерматопатологией / Е. В. Высоцкая – Бионика интеллекта (ХНУРЭ). – 2013. – № 2 (81). – С. 130–134.
 14. Математико-статистические модели прогнозирования эффективности оперативного лечения некоторых заболеваний [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/medico-socialnye-aspekty-zabolevaemosti-vzroslogo-na-seleniya-#ixzz3oYCvsExM>
 15. Тесленко П. О. Прийняття рішень в умовах вартісних обмежень проекту / П. О. Тесленко // Управління розвитком складних систем : зб. наук. праць. – Вип. 9. – К. : Вид-во КНУБА. – 2012. – С. 40–43.
 16. Методи аналізу якості : навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. / І. І. Коваленко, О. М. Дубовий, П. І. Бідюк та ін. ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. – Миколаїв : НУК, 2004. – 208 с.
 17. Лемешко Б. Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона [Электронный ресурс] / Б. Ю. Лемешко. – Режим доступа : http://www.ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/guid_normal_tets.pdf. Дата обращения 28.03.16
 18. Коваленко И. И. Нетрадиционные методы статистического анализа данных : учеб. пособие / И. И. Коваленко, А. П. Гожий. – 2006. – 107 с.
 19. Холландер М. Непараметрические методы статистики / М. Холландер, Д. Вулф. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 518 с.
 20. Хьюбер П. Робастность в статистике / П. Хьюбер. – М. : Мир, 1984. – 304 с.
 21. Тесленко П. А. Гармоничное управление проектами / П. А. Тесленко // Гармоничное развитие систем – третий путь человечества : кол. монография по материалам трудов 1-го Междунар. конгресса, Одесса, 8–10 октября 2011 г. ; под ред. Э. М. Сороко, Т. И. Егоровой-Гудковой. – Одесса : Ин-т креативных технологий, 2011. – С. 375–380.
 22. Фесенко Т. Г. Виконання функцій замовника будівництва: комунікативний контекст / Т. Г. Фесенко // Восточноєвропейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/13 (55). – С. 11–14.
 23. Данченко О. Б. Креативний потенціал команди як фактор успіху проекту / О. Б. Данченко, Ю. М. Кузьмінська // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – № 3 (43). – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 70–74.
 24. Тесленко П. А. Модель управления движения галсами на основе закона Тернера-

- Руденко / П. А. Тесленко // Управління проектами та розвиток виробництва : зб. наук. праць. – № 2 (30). – Луганськ : Вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2009. – С. 113–118.
25. Фесенко Т. Г. Модель вибору програмного забезпечення автоматизації бізнес-процесів офісу з управління будівельними проектами / Т. Г. Фесенко // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Вып. 81. – К. : Техника, 2008. – С. 359–365.
- ### References
1. Koshkin, K. V., Gaydaenko, O. V. and Gaydaenko, A. V. (2016) Features of the life cycle of therapeutic projects. *Visnyk NTU "HPI", seriya "Strategichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, programamy ta proektamy"*, No. 1/1173, pp 87–90 [in Russian].
 2. Fesenko, T. (2015) Gender mainstreaming as a factor of project management maturity. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, No. 23, pp. 5–10.
 3. Gaydaenko, O. V. and Udovichenko, P. N. (2013) The development of model for improvement of medical services quality. *Upravlinnya proektamy: stan ta perspektivy: tezy dop. IX mizhnar. nauk.-tekhn. konf.* Mykolayiv: NUK, pp. 100–101 [in Russian].
 4. Teslenko, P. A., (2009). The strategy and tactics of projects development on the basis of Turner-Rudenko law. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: zb. nauk. prats.* Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, No. 1 (29), pp. 98–105 [in Russian].
 5. Fesenko, T. G. and Minaev, D. M. (2014) Client-centrism in managing by projects communications (on the example of housing). *Vostochnoyevropeiskiy zhurnal peredovyh tehnologiy*, Kharkov, 5/3 (71), pp. 4–10 [in Ukrainian].
 6. Danchenko, O. B (2012) Classification of risks in projects. *Vostochnoyevropeiskiy zhurnal peredovyh tehnologiy*, Kharkov, 1/12 (55), pp. 26–28 [in Ukrainian].
 7. Danchenko, O. B., Polshakov, I. V. and Semko, I. B. (2009) The classification of portfolios of projects. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu. Seriya: Tehnichni nauky*, No. 2, pp 39–42 [in Ukrainian].
 8. Voronenko, Yu. V. (2002) Social medicine and organization of health care. Ternopil: Ukrmedknyha, 332 p. [in Ukrainian].
 9. Zanora, V. O., Chernova, L. S., Kuz'min-s'ka, Yu. M. and Danchenko, O. B. (2013) The method of recruitment taking into account organizational risks. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: zb. nauk. prats.* Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, No. 1 (45). pp. 88–94 [in Ukrainian].
 10. Polyakov, I. V. and Sokolova, N. S. (1975) Practical handbook of medical statistics. Leningrad: Medicina, 227 p. [in Russian].
 11. Pavlova, V. Yu. (2009) Basic questions of statistical analysis in medical research. *Clinicheskaya oncohematologiya: voprosy medicinskoy statistiki*, 2 (4) [in Russian].
 12. Kondratyev, M. A. and Mukhametzhanova, M. S. (2013) Forecasting methods and disease spread models, 5 (5). pp. 863–882 [in Russian].
 13. Vysotskaya, E. V. (2013) The use of robust statistical procedures for the analysis of patients' laboratory data with dermatopathology. *Bionika intellekta (HNURE)*, No. 2 (81), pp. 130–134 [in Russian].
 14. Mathematical and statistical models for predicting the effectiveness of surgical treatment of certain diseases, available at: <http://www.dissercat.com/content/medicosotsialnye-aspekty-zabolevaemosti-vzroslogonaseleniya-#ixzz3oYCvsExM>
 15. Teslenko, P. O. (2012) Decision-making in the conditions of project cost limitation. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, Kyiv: Vyd-vo KNUBA, (9), pp. 40–43 [in Ukrainian].
 16. Kovalenko, I. I. Dubovyy, O. M., Bidyuk, P. I. et al. (2004) Quality analysis methods. Mykolayiv: NUK, 208 p. [in Ukrainian].
 17. Lemesko, B. Yu. The validation criteria of distribution deviation from the normal law, available at: http://www.ami.nstu.ru/~headrd/seminar/public_html/guid_normal_tets.pdf
 18. Kovalenko, I. I. and Gozhiy, A. P. (2006) Non-traditional methods of statistical data analysis, 107 p. [in Russian].
 19. Kholander, M. and Wolfe, D. (1985) Nonparametric methods of statistics. Moscow: Financy i statistika, 518 p. [in Russian].

20. Khyuber, P. (1984) Robustness in statistics. Moscow: Mir, 304 p. [in Russian].
21. Teslenko, P. A. (2011) Harmonious project management. In: E. M. Soroko, T. I. Egorova-Gudkova (eds.) Harmonious development of systems – the third way of mankind. Odessa: In-t kreativnyh tehnologiy, pp. 375–380 [in Ukrainian].
22. Fesenko, T. G. (2012) The fulfillment of construction customer functions: communicative context. *Vostochnoeyevropeiskiy zhurnal peredovyh tehnologiy*, Kharkov, No. 1/13 (55), pp. 11–14 [in Ukrainian].
23. Danchenko, O. B. and Kuzminska, Yu. M. (2012) Creative potential of the team as a factor of project's success. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: zb. nauk. prats.* Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, No. 3 (43), pp. 70–74 [in Ukrainian].
24. Teslenko, P. A. (2009) The model of tasks movement control on the basis of Turner-Rudenko law. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: zb. nauk. prats.* Lugansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, No. 2 (30), pp. 113–118 [in Russian].
25. Fesenko, T. G. (2008) The model of software selection for business processes automation of the office of construction projects management. *Kommunalnoye hozyajstvo gorodov.* Kiev: Tehnika, (81), pp. 359–365 [in Ukrainian].

O. V. Haydayenko, graduate student

e-mail: O_kotsur@mail.ru

National University of shipbuilding named after adm. Makarov
Heroyiv Stalingradu ave., 9, Mykolayiv, 54000, Ukraine

THE ANALYSIS OF STATISTICALLY UNSTABLE PROJECT PERFORMANCE

Introduction. The change of ecology for the worse, political and economic instability induce to use project methodology for medical branch management. The mentioned factors influence on the state of population health along with general decrease of resources for its improving. Statistical methods of medical data processing are directed on the determination of population health and the interaction of health factors with environmental ones.

The aim. The adaptation of the method of statistical real data analysis of medical processes monitoring, represented by time series, in order to use them during medical projects development is the aim of the research.

Materials and methods. It is shown that performance indicators of the projects are heterogeneous and suspicious. The use of resistant (robust) estimates and their adaptive modifications to eliminate these properties is expedient. The use of robust statistical estimation allows to obtain unbiased and efficient estimates of controllable parameters even in the presence of heterogeneity.

Results. The developed method can be applied for the analysis of the requirements of project product users and all its stakeholders.

Conclusion. The comparison of existing approaches to the evaluation shows the availability of the proposed methodology algorithm in managing by project stakeholders.

Keywords: medical projects management, statistical analysis of project performance, heterogeneity, robust estimations, adaptive robust estimations.

Рецензенти: В. С. Блінцов, д.т.н., професор,
М. Т. Фісун, д.т.н., професор

Д. В. Новохацька, аспірант

Черкаський державний технологічний університет

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

e-mail: dvnova@mail.ua

ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІТ-ПРОЕКТІВ В УКРАЇНІ

Стаття присвячена аналізу останніх досліджень щодо успішності ІТ-проектів, проблем їх реалізації, можливості та засобів «порятунку» проблемних проектів. Виокремлено причини проблем більшості ІТ-проектів, основними з яких є високий ступінь невизначеності, постійні зміни протягом реалізації проекту, відсутність належного системного підходу до управління проектом. Цей аналіз підкреслює необхідність досвідченого застосування проектними командами гнучких методологій і дотримання основних принципів управління проектами, розробки процесів підвищення ефективності і виведення проекту з кризового стану.

Ключові слова: інформаційні технології (ІТ), ІТ-проект, управління проектами, проектний менеджмент, ризики, проблеми в проектах.

Постановка проблеми. Управління проектами в цілому, а управління ІТ-проектами тим паче, – досить молоді напрями досліджень в Україні. У той же час ІТ-проекти в Україні займають одне з провідних місць серед загальної кількості проектів.

З 2010 р. в Україні поживавлено розвиваються інвестиції в ІТ-сферу. Цей напрям ринку венчурних інвестицій має свої переваги порівняно з реальним сектором економіки: по-перше, на розвиток ІТ-проекту потрібна невелика сума коштів (від \$10 тис.), по-друге, такі проекти забезпечують інвесторам високу прибутковість. За даними Біржі інвестиційних проектів «STARTUP.UA», серед венчурних проектів ІТ є номером один за популярністю [1].

У 2014 р. Україна продовжувала лідирувати на ринку фріланс-програмування, виконуючи третину замовлень, що припадають на Східну Європу.

За даними Gartner [2], Україна є в списку 30 провідних країн з ІТ-аутсорсингу.

StandishGroup у своєму дослідженні поділяє всі проекти на три групи:

Успішні проекти (Successful) – проект зроблений у рамках потрібного обмеження, тобто всі цілі проекту досягнуті в плановий термін і бюджет.

Провальні проекти (Failed) – проекти, зупинені без отримання результату, тобто, по суті, гроші витрачені даремно.

Спірні проекти (Challenged) – ті проекти, які були завершені або з перевищенням строків, або коштували дорожче, ніж планувалося, або досягли лише частини цілей.

За даними StandishGroup на 2013 р.[3], лише 36 % програмних проектів можна вважати успішними, інші 64 % – це спірні (48 %) та провальні (16 %), причому приблизно ж такі цифри характерні й для попередніх років.

З одного боку, ми спостерігаємо все більший розвиток ІТ-сфери, у тому числі в Україні, інтенсивне впровадження проектного підходу в цій галузі, з другого, – частка успішних проектів становить приблизно 1/3, що зберігається протягом багатьох років.

Тому управління ІТ-проектами вимагає серйозної уваги і глибокого аналізу.

Аналіз останніх досліджень. За даними численних досліджень StandishGroup [3] традиційних методів управління проектами, тільки 44 % проектів зазвичай завершуються вчасно, 70 % проектів скорочують вихідний обсяг робіт проекту, 30 % проектів закриваються достроково. У той же час дослідження StandishGroup з результативності констатують наявність невирішених проблем в управлінні проектами, зокрема у галузі інформаційних технологій (ІТ), що призводять до невисокого відсотка досягнення цілей та підкреслюють їх загострення через збільшення різноманітності та складності об'єктів розробки.

Дані на рис. 1 демонструють, що ймовірність успіху для малих проектів (вартість людських ресурсів менша \$1 млн.) становить 76 %, для великих проектів (вартість людських ресурсів у проекті – понад \$10 млн.) – лише 10 % [3].



Рис. 1. Аналіз StandishGroup успішності ІТ-проектів

Українська статистика свідчить, що частка промислових підприємств, які успішно втілили інноваційні (у тому числі ІТ) проекти, становить 11–12 %.

Дослідження, проведене в Оксфордському університеті [4], показало, що ІТ-проекти в 20 разів більше схильні до ризику зазнати невдачі, ніж інші бізнес-проекти. Аналіз перевитрат коштів по ІТ-проектах показує, що в середньому перевитрата становить 27 %, і ця цифра не така вже велика. Однак щонайменше по одному з шести проектів перевитрата становить близько 200 %, а відхилення за термінами – майже 70 %. Дослідники вважають, що проблема полягає в нерозумінні непередбачуваності ІТ-проектів, проте ряд проблем в ІТ-проектах виникає систематично: коли компанія стикається з серйозними труднощами (падіння прибутків, зростання витрат, необхідність обслуговування кредитів і т.д.). ІТ-проект, що вийшов з-під контролю, може стати для компанії фатальним – так званим «чорним лебедем».

За даними дослідження, проведеного консалтинговою компанією PM SOLUTIONS, що займається управлінням проектів, зазвичай операції виведення з кризового стану проблемного проекту досить успішні: майже три чверті проблемних проектів (74 %) в результаті успішно завершені, також 18 % – ще в процесі, тому остаточні результати не відомі, тільки 4 % дійсно провалені і 3 % закриті з бізнес-міркувань; майже три чверті (72 %) респонден-

тів проводили операції з виведення з кризового стану проблемних проектів за останні три роки, найбільше цього прагнули інформаційні компанії (90 %); у тих фірм, які не користуються стандартною методологією управління проектами, відсоток провалів набагато вищий, ніж у тих, хто нею володіє (21 і 9 % відповідно), а відсоток успішних проектів – значно нижчий (43 і 61 % відповідно); у третини ІТ-компаній (29 %) немає процесів, формальних або неформальних, для виведення з кризового стану проблемних проектів; відсоток маленьких компаній, які не мають таких процесів, вищий (40 %), ніж у компаній більшого розміру; фірми, що не розробили таких процесів, мають набагато більше провальних проектів, ніж ті, в яких ці процеси є (20 і 6 % відповідно); фірми, у яких немає методології, частіше вважають за краще замінювати менеджера проекту, ніж ті, в яких методологія освоєна (22 і 9 % відповідно), статус менеджера проекту у них набагато нижчий і вони частіше залучають сторонніх консультантів для «порятунку» проекту (26 проти 11 %).

Найчастіше кроки, спрямовані на виведення з кризового стану проекту, це:

- модернізація комунікації та управління (62 %);
- перегляд завдань проекту – скорочення його масштабів,
- перегляд фінансування (60 %);
- додавання або видалення ресурсів (58 %);
- вирішення технічних проблем (49 %);
- заміна менеджера проекту або залучення консультанта (36 %).

Основною причиною проблем з проектом називають рівень умінь менеджера проекту працювати з проблемами, скорочуючи ризики. Він повинен бути сильним лідером, здатним спілкуватися з керівництвом компанії і виправдовувати очікування в управлінні ресурсами [5].

За четвертим глобальним дослідженням управління портфелями і програмами проектів від PricewaterhouseCoopers (PWC), за останні 10 років в топ-3 причин невдач проектів (табл. 1) завжди була наявна така причина, як хибні оцінки проекту, а причина, пов'язана зі зміною змісту проекту, зникла з топ-3 тільки одного разу [6].

Таблиця 1

**Ключові фактори невдач проектів
за дослідженням PricewaterhouseCoopers**

КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ НЕВДАЧ ПРОЕКТІВ			
2004	Хибні оцінки/ Пропущені дедлайни	Зміна змісту	Зміни в оточенні проекту
2007	Хибні оцінки/ Пропущені дедлайни	Зміна змісту	Нестача ресурсів
2012	Хибні оцінки на фазі планування	Недостатня підтримка спонсора проекту	Неправильно визначені цілі проекту
2014	Хибні оцінки на фазі планування	Зміна змісту всередині проекту	Нестача ресурсів

Метою дослідження є аналіз основних особливостей та причин, за яких ІТ-проекти в цілому і, зокрема, в Україні зазнають проблем, а у значній кількості – невдач.

Виклад основного матеріалу.

Основні види ІТ-проектів:

- проекти розробки апаратних засобів;
- проекти розробки та розвитку програмного забезпечення;
- проекти впровадження інформаційних систем (ІС);
- інфраструктурні та організаційні проекти.

Серед усіх типів ІТ-проектів найбільш складними та проблемними є проекти з впровадження ІС.

Специфікою ІТ-проектів є високий ступінь ризиків та невизначеності, зміна вимог, характеристик продукту, інколи й самих цілей проекту, зміна проектних рішень, висока динаміка розвитку ринку ІТ-послуг та продуктів, коли під час реалізації проекту застосовувані програмні й технічні засоби, технології, а то й сам продукт проекту втрачають свою актуальність.

Таким чином, надалі виділено ряд найбільш вагомих причин, що спричиняють проблеми, ризики та, на завершення, невдачі ІТ-проектів в Україні.

1. Нестабільна політична, економічна та законодавча ситуація в Україні.

2. Високий ступінь невизначеності вимог і цілей проекту на етапі оцінювання та розробки проекту, як результат – хибна оцінка часових, трудових та матеріальних ресурсів на етапі планування проекту [7].

Т. ДеМарко і Т. Лістер у своїй книзі «Вальсуючи з ведмежами» [8] пишуть про те, що керівникам проекту зручно вважати, що нормальний допуск – це плюс 10-15 % від розрахункового терміну проекту без урахування ризиків. На думку вищезазначених авторів, для галузі розробки програмного забезпечення діапазон допуску становить порядку 150-200 % від інтервалу з початку проекту до завершення (тобто до розрахункового терміну можна сміливо додавати 150-200 %).

3. Неконтрольований потік вимог у процесі виконання проекту з боку замовника, зміна проектних рішень розробниками в ході його реалізації.

4. Неправильний вибір або відсутність критеріїв оцінювання успішності проекту, узгоджених усіма учасниками проекту.

5. Неправильний вибір або відсутність методології управління проектом; відсутність процесів виведення проекту із стану проблемного.

6. Зміна організаційної структури і реінжиніринг бізнес-процесів підприємства, відсутність деталізованого проекту ІС.

7. Відсутність типізації проектних рішень; функціональні обмеження типових рішень ІС.

8. Взаємодія різних груп учасників ІТ-проекту; склад і кваліфікація учасників проекту; комунікації в проекті.

У великому ІТ-проекті може брати участь кілька сотень, а то й тисяч осіб. Умовно їх можна розділити на декілька груп: розробники ІС, аналітики і методологи, функціональні фахівці замовника, фахівці з навчання і супроводу ІС. Кожна група є носієм певної категорії знань і виконує певні ролі у проекті. Через різний професійний досвід, термінологічний базис, покладені функціональні завдання спілкування між представниками різних груп часто спричиняє проблеми і може призводити до конфліктних ситуацій.

9. Занижені вимоги до ведення проектної документації, що негативно позначається на етапах супроводу і розвитку ІС, навчанні

кінцевих користувачів, призводить до зміни учасників проектної команди.

10. Проблеми, пов'язані з неприйняттям співробітниками організації замовника нової системи автоматизації:

- неприйняття чи неготовність до інновацій, особливо в компаніях, які ніколи не стикалися з масштабними перетвореннями;
- прихований чи прямий опір оптимізації та прозорості операцій, наданню необхідної інформації через корупцію та/або страх перед скороченням робочих місць [9].

11. Відсутність об'єктивного моніторингу поточного стану проекту.

Часто керівництво IT-проекту не має ефективних засобів доступу до адекватної інформації про поточний стан проекту, що перешкоджає формуванню своєчасних управлінських рішень щодо проекту, ведення проектної документації.

12. Неузгодження виконавцем і замовником проміжних результатів розробки, подання формальних звітів: виконавець не готовий демонструвати результати незакінченої роботи, замовник не бажає дивитися на щонебудь, поки воно не працює, подаються формальні звіти, а в момент запуску нічого не працює [10].

13. Широка лінійка ризиків, що супроводжують реалізацію проекту.

Проекти в галузі інформаційних технологій в цілому здійснюються в умовах більшої невизначеності порівняно з іншими типами проектів, в яких багатоваріантність рішень і відсутність статистичних баз вкрай великі. При цьому проектна команда часто зазнає як високих зовнішніх ризиків, так і внутрішніх (які можуть впливати і на прибутки, і на витрати), які вона може врахувати, але які важко оцінити і нівелювати. Високий рівень загальної невизначеності, з одного боку, ускладнює процес планування, тому що команда експертів не має достатньої інформації, щоб давати точні прогнози; з другого боку, план реалізації проекту у зв'язку з цим повинен бути гнучким і мати внутрішні інструменти для його швидкої корекції [10].

14. Надзвичайно інтенсивний розвиток інформаційних технологій, апаратних та програмних засобів.

По-перше, це вимагає від учасників проекту постійного й досить інтенсивного навчання, підвищення кваліфікації, використання і впровадження у своїх проектних рі-

шеннях (як для створення кінцевого продукту, так і для прийняття управлінських рішень) найсучасніших досягнень у галузі IT.

По-друге, це призводить до зниження чистоти актуальності проекту під час проектування.

Швидке моральне старіння і вимога поновлення, модернізації або переходу на нову технологію взагалі – це типові для IT-галузі ознаки. У цьому і полягає парадокс часу – можлива поява ситуації, коли в процесі роботи над розробкою/імплементацією IT-системи на ринку з'явиться конкурентна система, яка володіє великим потенціалом і є більш привабливою. У цьому випадку обґрунтованим буде відмова від першого проекту і технології на користь іншої, що означає провал впровадження оригінального проекту. Також до парадоксу часу відноситься факт того, що завершення впровадження системи та запуск системи в експлуатацію можуть супроводжуватися швидким проектом модернізації впровадженої системи, тому що за час впровадження вихідна система була вдосконалена [10].

15. Недостатній рівень знань, досвіду та культури управління проектами виконавців проекту, нестача висококваліфікованих проектних менеджерів.

16. Високий рівень «відпливу мізків» за кордон [11].

Висновки. За результатами численних досліджень IT-проекти мають найвищий рівень невизначеності та ризиків, проте щонайменше три чверті проблемних проектів можна вивести з кризового стану. Якщо ж можна вивести, то цілком логічно припустити, що можна їх до такого стану не доводити.

Основними причинами проблем IT-проектів є: високий ступінь невизначеності; постійні зміни протягом реалізації проекту; складності узгодження очікувань і сприйняття різних зацікавлених осіб; недостатній рівень знань і досвіду проектного менеджера (проектної команди); відсутність належного системного підходу до управління проектом або пряме нехтування принципами й методологіями управління проектами, що призводить до помилок при зборі та аналізі даних, плануванні, управлінні ризиками, організації комунікацій у проекті, веденні проектної документації та прийнятті управлінських рішень.

Усе це свідчить про актуальність проблеми застосування гнучкого системного підходу до управління IT-проектами як найбільш

невизначеними та ризиковими з використанням найновіших методологій та знань у галузі проектного менеджменту.

Список літератури

1. Швед Б. Венчурні інвестиції пішли в ІТ [Електронний ресурс] / Б. Швед. – 2012. – Режим доступу : http://ipress.ua/articles/startup_8052.html
2. Central and Eastern Europe IT Outsourcing Review 2010 [Electronic resource]. – Mode of access : <http://ceeo.org/news/ceeo-news/central-and-eastern-europe-it-outsourcing-review-2010/>
3. CHAOS Manifesto : think big, act small, 2013 [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2013.pdf>
4. Flyvbjerg B. Why your IT project may be riskier than you think [Electronic resource] / Bent Flyvbjerg, Alexander Budzier // Harvard Business Review. – September 2011. – Mode of access : <https://hbr.org/2011/09/why-your-it-project-may-be-riskier-than-you-think/ar/1>
5. Стратегии спасения проектов : Почему 37 % проектов проваливаются? [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://www.npsod.ru/blog/analytics/2686.html>
6. Portfolio and Programme Management 2014 Global Survey [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.pwc.com/gx/en/services/advisory/consulting/portfolio-programme-management/global-ppm-survey-2014.html>
7. Плєскач В. Л. Інформаційні системи і технології на підприємствах : підручник / В. Л. Плєскач, Т. Г. Затонацька // Знання. – 2011. – С. 374.
8. Марко Т. де. Вальсируя с медведями : управление риском в программных проектах [Электронный ресурс] / Т. де Марко, Т. Листер. – 2003. – Режим доступа : <http://www.e-reading.club/book.php?book=34443>
9. Мотивация персонала в проектах автоматизации [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : http://www.iteam.ru/publications/it/section_53/article_2349/
10. Особенности проектов в области информационных технологий как инновационных проектов [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа : <http://www.molych.ru/raznoe/osobennosti-proektov-v-oblasti-informatsionnyh-tehnologij-kak-innovatsionnyh-proektov.html>

11. ИТ-индустрия: оптимизм сохраняется [Электронный ресурс] // Экономические известия, 08.04.2015. – Режим доступа : <http://eizvestia.com/publications/full/117-it-industriya-optimizm-sohranyaetsya>

References

1. Shved B. (2012) Venture capital investments went to IT, available at: http://ipress.ua/articles/startup_8052.html
2. Central and Eastern Europe IT Outsourcing Review (2010), available at: <http://ceeo.org/news/ceeo-news/central-and-eastern-europe-it-outsourcing-review-2010/>
3. CHAOS Manifesto: think big, act small (2013), available at: <http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2013.pdf>
4. Flyvbjerg, Bent and Budzier, Alexander (2011) Why your IT-project may be riskier than you think. *Harvard Business Review*, September, available at: <https://hbr.org/2011/09/why-your-it-project-may-be-riskier-than-you-think/ar/1>
5. Strategies of projects salvation: Why 37% of projects are failed? (2011), available at: <http://www.npsod.ru/blog/analytics/2686.html>
6. Portfolio and Programme Management 2014 Global Survey (2014), available at: <http://www.pwc.com/gx/en/services/advisory/consulting/portfolio-programme-management/global-ppm-survey-2014.html>
7. Pleskach, V. L. and Zatonatska, T. G. (2011) Information systems and technologies at enterprises. *Znannya*, p. 374 [in Ukrainian].
8. Marco, Tom de & Lister, Timothi. *Waltzing with bears: managing risk on software projects* (2003), available at: <http://www.e-reading.club/book.php?book=34443>
9. Staff motivation in automation projects (2015), available at: http://www.iteam.ru/publications/it/section_53/article_2349/
10. Features of the projects in the field of information technologies as innovation projects (2014), available at: <http://www.molych.ru/raznoe/osobennosti-proektov-v-oblasti-informatsionnyh-tehnologij-kak-innovatsionnyh-proektov.html>
11. IT industry: optimism remains, available at: <http://eizvestia.com/publications/full/117-it-industriya-optimizm-sohranyaetsya>

D. V. Novohatska, *postgraduate student,*
Cherkasy State Technological University,
blvd. Shevchenko, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: dvnova@mail.ua

FEATURES AND PROBLEMS OF IT PROJECTS IN UKRAINE

Projects management in general and IT projects management especially is rather a young field of research in Ukraine. At the same time IT projects in Ukraine occupy a leading position among the total number of projects.

The aim of this article is to analyze the main features and reasons why IT projects in general and Ukrainein in particular, experience problems and a large number of failures.

We witness a growing development of IT sphere, intense implementation of the project approach in this area, nevertheless the proportion of successful projects is about 1/3 and has been stable for many years. Therefore, IT projects management, defining their characteristics and problems, requires serious attention and analysis.

According to the results of numerous investigations, IT projects have the highest level of uncertainty and risk, one of six IT projects on statistics becomes a "black swan" that in disadvantaged circumstances is able to lead the company (customer) to complete bankruptcy. However, at least three-quarters of troubled projects can be preserved. If they can be led out of the critical state, it is logical to assume that they cannot be led to such a state.

Thus, the main causes of the IT projects problems include:

- a high degree of uncertainty; constant changes throughout the project; the difficulty of agreeing expectations and perceptions of various stakeholders;

- the lack of knowledge and experience of project manager (project team); the lack of proper systematic approach to projects management or direct disregard of the principles and methodologies of projects management, which leads to errors in data collection and analysis, planning, risks management, communication organization in the project, conduct project documentation and making management decision.

Everything mentioned above demonstrates the urgency for flexible system approach to IT projects management as the most uncertain and risky, using the latest methodologies and knowledge in projects management.

Keywords: *information technology (IT), IT-project, projects management, risks, problems in projects.*

*Рецензенти: С. В. Коцюра, д.т.н., професор,
В. М. Рудницький, д.т.н., професор*

Н. Ю. Єгорченкова, к.т.н., доцент,

Київський національний університет будівництва та архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680, Україна

e-mail: realnata@ukr.net

О. В. Єгорченков, к.т.н.,

Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка
вул. Володимирська, 60/13, м. Київ, 01601, Україна

e-mail: alexee@ukr.net

І. П. Частокіленко, к.ф.-м.н., доцент

Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

e-mail: nord7310@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛІННЯ НА ПРИЛАДОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Метою статті є розкриття особливостей проектного управління на приладобудівних підприємствах. Приладобудівні підприємства відносяться до проектно-орієнтованих організацій, діяльність яких спрямована на ефективне управління інвестиціями. Актуальним є поліпшення виробництва обладнання за рахунок підвищення ефективності управління через впровадження системи управління проектами. У статті запропоновано структуру системи управління проектами, орієнтовану на специфіку приладобудівної галузі. Подано опис організаційних, методологічних і технологічних компонентів такої системи, а також наведено структуру проекту створення проектно-керованого авіаційного виробництва. Як показала практика, створення системи управління проектами приладобудівного підприємства дає можливість реалізувати всі процеси таким чином, щоб усі зацікавлені сторони (керівники, працівники, наймані фахівці та ін.) були задоволені.

Ключові слова: приладобудівне підприємство, система управління проектами, організаційна структура, інформаційні технології, методологія управління проектами.

Постановка проблеми. Розвиток економіки спонукає виробництва агресивно конкурувати за сфери впливу на світових ринках. У вигравшу знаходяться ті компанії, які швидко реагують на потреби та зміни ринку і можуть перебудуватись на виготовлення продукції за новими вимогами і організувати виробництво з меншими витратами, ніж інші.

Як результат, більша частина виробництва приладобудівних підприємств є проектно-орієнтованою (створення нових моделей обладнання, розвиток виробничої бази та ін.). Тому виникає необхідність розширення методології управління проектами, моделями, методами і засобами управління будівництвом різного обладнання.

Основною особливістю виробництва в цій сфері, з позицій методології управління проектами, є щільний зв'язок між операційними (виготовлення деталей, вузлів і агрегатів) та проектними (збірка приладобудівного обладнання) процесами.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Методологія управління проектами – це основний інструмент підвищення ефективності діяльності приладобудівного підприємства. Методологія застосовується двома шляхами – управління будівництвом обладнання і управління розвитком підприємства.

Цим та іншим питанням присвячено досить багато робіт [1–6], але майже не трапляються роботи, присвячені розвитку методології управління проектами в приладобудівній галузі.

Формулювання мети статті. Метою статті є виклад досвіду авторів у сфері створення орієнтованої на специфіку приладобудівної галузі системи управління проектами.

Основний матеріал досліджень. Приладобудівні підприємства відносяться до проектно-орієнтованих організацій, діяльність яких спрямована на ефективне управління інвестиціями. На сьогодні ситуація з організа-

цією роботи на приладобудівних підприємствах є досить складною. Безліч змін, неузгодженість дій між підрозділами та ін. викликають проблеми в керуванні діяльністю підприємства, що призводить до затримок у випуску готової продукції. Тому необхідно поліпшити виробництво обладнання за рахунок підвищення ефективності управління.

Оскільки істотна частка діяльності приладобудівних підприємств є проектно-орієнтованою та враховуючи поштучний і орієнтований на потреби конкретного клієнта характер виробництва обладнання, а також беручи до уваги необхідність реалізації проекту, спрямованого на поліпшення виробничих по-

казників, виникає необхідність у створенні на таких підприємствах систем управління проектами.

Для створення системи управління проектами необхідно реалізувати проект створення проектно-керованих приладобудівних виробництв (проект СППВ), який допоможе змінити систему управління приладобудівних підприємств таким чином, щоб підприємство змогло вийти на новий рівень діяльності для отримання прибутку та виведення в лідери в своїй сфері.

Під час реалізації проекту необхідно вирішити наступні задачі (рис. 1):



Рис. 1. Задачі системи управління проектами

Метою проекту СППВ є створення системи управління проектами (СУП), яка спрямована на раціональне використання всіх ресурсів приладобудівного підприємства під час виконання різних проектів.

Система управління проектами приладобудівного підприємства є продуктом проекту СППВ і повинна забезпечувати необхідну якість управління виробництва обладнання.

СУП забезпечує:

1. Планування проекту:
 - перелік робіт;
 - терміни їх початку і завершення;
 - необхідні ресурси (в першу чергу матеріальні);
 - відповідальні та виконавці.
2. Адміністрування проекту:
 - доведення всіх завдань до виконавців;
 - автоматизований збір інформації щодо виконання цих завдань.

3. Автоматизоване бюджетування проєктів:

- розробка детального плану робіт та інформації про ефективність освоєння вкладених фінансових коштів.

4. Моніторинг виконання плану і бюджету проєкту.

5. Створення оптимальної системи закупівель.

6. Розробка та затвердження прописаного стандарту управління проєктами підприємства.

7. Навчання групи управління проєктами.

8. Сертифікація компанії та її працівників за рівнем технологічної зрілості в галузі управління проєктами.

У процесі побудови системи управління проєктами повинні бути створені і впроваджені такі компоненти (табл. 1):

Таблиця 1

Компоненти системи управління проєктами

№	Компонент	Опис
1.	<i>Організація управління проєктами</i>	
		Структура команди проєкту
		Функції команди проєкту
		Ролі команди проєкту
		Взаємодії в команді проєкту
		Навчання команди проєкту
2.	<i>Методологія управління проєктами</i>	
		Регламенти проєкту
		Правила проєкту
		Принципи проєкту
		Методи проєкту
3.	<i>Технологія управління проєктами</i>	
		Інформаційна технологія управління проєктами

Розглянемо ці компоненти детальніше:

1. Організація управління проєктами. Зазвичай організаційна структура приладобудівної компанії є функціональною. Тобто працівники підрозділів вирішують поточні (операційні) завдання. Тож слід відзначити, що такі працівники, з одного боку, – досвідчені і здатні добре вирішувати функціональні завдання конструювання і виробництва обладнання, з другого боку, – не мають зазвичай ніякої професійної підготовки в галузі управління. Тому, після проведення навчання в сфері проєктного менеджменту пропонується на підприємстві впровадити матричну організаційну структуру управління проєктами.

Основою такої структури є те, що з'являється роль керівника проєкту, який залучає в команду проєкту функціональних працівників.

Проблемою є те, що всі менеджери і фахівці, які входять до команди проєктів, зобов'язані будуть виконувати завдання керівника проєкту, брати участь у планових і позапланових засіданнях команди проєкту та будуть нести відповідальність за виконання плану проєкту, але також з них не знімається відповідальність за виконання функціональних задач.

Оскільки на приладобудівних підприємствах реалізуються проєкти, різні за термінами виконання, обсягом інвестицій та за типом створюваних продуктів, з'являється необхідність у комбінованому підході до організації управління проєктами. Це означає, що моделі життєвого циклу будуть різними за масштабами і призначенням проєктів.

При матричній організаційній структурі ресурсами компанії можуть бути керівники підприємства, підрозділів, а також працівники підрозділів та інші фахівці, які формують команду проєкту.

Команда проєкту складається з таких ролей: керівник; адміністратор; координатор; планувальник; менеджер з якості; фінансовий менеджер; менеджер з виробництва; менеджер зі стратегічного планування; менеджер з проєктування; менеджер з маркетингу; менеджер по закупівлях.

Структура команди, ролі і функції по проєктах повинні розроблятися під кожний тип проєкту [7, 8].

2. Методологія управління проектами. Застосування єдиних методів проектного управління на підприємстві є необхідною умовою того, щоб проекти виконувалися скоординовано, всі учасники проекту користувалися загальною термінологією, було чітке розмежування зон відповідальності і т. д.

Для впровадження єдиної методології управління проектами на підприємстві керівнику компанії необхідно виконувати такі функції:

- вимагати «орієнтації на результат» у діяльності всіх керівників проектів;
- інтегрувати процеси управління проектами з іншими аспектами діяльності підприємства;
- надавати методичну допомогу керівництву підприємства з ініціації нових проектів на підприємстві;
- організовувати розробку і впровадження стандартів управління проектами орієнтованих на функціональну і структурну організацію підприємства;
- організовувати розробку і впровадження інформаційних технологій управління проектами;
- організовувати навчання менеджерів і фахівців, зайнятих у процесах управління проектами;
- контролювати процеси управління проектами з позицій його відповідності затвердженим стандартам;
- розробити програму впровадження методів професійного управління проектами (методологія, технологія, організація і навчання) в практику діяльності підприємства;
- розглядати і затверджувати документи з управління проектами (бізнес-процеси, регламенти, процедури, положення та ін.);
- аналізувати хід реалізації проектів, складати і надавати звіти керівництву, директору і фінансовому директору підприємства та іншим зацікавленим сторонам проектів (за потребою) [9].

3. Матрична інформаційна технологія управління проектами (МІТУП). МІТУП – це система матричного управління проектами, яка змінюється під зміни в стратегії розвитку підприємства і під зміни виробничої програми, а також інтегрує проектні, технологічні та виробничі процеси приладобудівного підпри-

ємства. Така система призначена для збору, зберігання, обробки та використання інформації, для вирішення завдань бюджетування і управління матеріально-технічними та трудовими ресурсами, а також для управління термінами в проектах на різних рівнях функціональної і проектно-орієнтованої діяльності виробничих підприємств.

Реалізація МІТУП дозволяє говорити про створення нового класу систем управління проектами та підприємствами. Такі системи одночасно вирішують завдання інформаційного забезпечення функціональних і проектно-орієнтованих служб управління операційною та проектною діяльністю підприємства.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Створення системи управління проектами приладобудівного підприємства дає можливість реалізувати всі процеси таким чином, щоб усі зацікавлені сторони (керівники, працівники, наймані фахівці та ін.) були задоволені.

Описані в статті компоненти системи управління проектами були впроваджені на приладобудівному підприємстві з виробництва геологічного обладнання і вже за короткий час була показана їх реальна ефективність.

В подальшому планується розробити комерційну версію засобів матричної інформаційної технології і поширювати їх на підприємства України [9, 10].

Список літератури

1. Бушуева Н. С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития : [монография] / Н. С. Бушуева. – К. : Наук. світ, 2007. – 200 с.
2. Ключков В. В. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения : [монография] / В. В. Ключков. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.
3. Рыжих В. Я. Экономический механизм управления затратами на предприятиях самолетостроения : дисс. / В. Я. Рыжих. – Воронеж : ВГТУ, 2006.
4. Плугина Ю. А. Управление развитием как оптимальная модель управления предприятием / Ю. А. Плугина // Вестник эконо-

- мики транспорта и промышленности (Харьков). – 2010. – № 30. – С. 89–93.
5. Василенко А. В. Менеджмент устойчивого развития предприятий : [монография] / А. В. Василенко. – К. : Центр учебной литературы, 2005.
 6. Тесля Ю. М. Інформаційна технологія управління проектами на базі ERPP (enterprise resources planning in project) та APE (administrated projects of the enterprise) систем / Ю. М. Тесля, Н. Ю. Егорченкова, А. О. Білощицький // Управління розвитком складних систем (Київ). – 2010. – № 1 – С. 16–20.
 7. Организация управления портфелями проектов и программ / Н. Ю. Егорченкова, А. В. Егорченков, А. Б. Лисицин, Н. А. Черная // Управління розвитком складних систем (Київ). – 2015. – № 22. – С. 42–47.
 8. Система управления проектами авиационного предприятия / Ю. Н. Тесля, А. В. Егорченков, Д. С. Катаев, Н. А. Черная // Управління розвитком складних систем (Київ) : зб. наук. праць. – 2012. – № 8. – С. 55–60.
 9. Тесля Н. Ю. Створення системи портфельного управління ресурсами компанії в проектах / Н. Ю. Тесля // Управління розвитком складних систем (Київ) : зб. наук. праць. – 2010. – № 4. – С. 19–22.
 10. Продуктовые системы планирования проектов / Ю. Н. Тесля, А. В. Егорченков, Н. Ю. Егорченкова, Д. С. Катаев // Управління проектами та розвиток виробництва (Луганськ) : зб. наук. праць. – 2012. – № 1 (41) – С. 13–19.
 2. Klochkov, V. V. (2009) Management by innovative development of civil aviation. Moscow: GOU VPO MSFU [in Russian].
 3. Ryizhih, V. Ya. (2006) Economic mechanism of cost management at aircraft enterprises: dissertation. Voronezh: VGTU [in Russian].
 4. Plugina, Yu. A. (2010) Management by the development as the optimum model of enterprise management. *Vestnik ekonomiki transporta i promyshlennosti (Kharkov)*, (30), pp. 89–93 [in Russian].
 5. Vasilenko, A. V. (2005). Management of enterprises sustainable development. Kiev: Tsentr uchebnoj literatury [in Russian].
 6. Teslia, Yu. M., Yegorchenkova, N. Yu. and Biloshytsky, A. O. (2010). Information technology of project management based on ERPP (enterprise resources planning in project) and APE (administrated projects of the enterprise) systems. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system (Kyiv)*, (1), pp. 16 – 20 [in Ukrainian].
 7. Yehorchenkova, N. Yu., Yehorchenkov, A. V., Lisitsyn, O. B. and Chornaya, N. A. (2015) The organization of management by portfolios of projects and programs. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system (Kyiv)*, (22), pp. 42–47 [in Russian].
 8. Teslia, Yu. N., Yehorchenkov, A. V., Kataiev, D. S. and Chornaya, N. A. (2012). The system of project management by aircraft building company. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system (Kyiv)*, (8), pp. 55–60 [in Russian].
 9. Teslia, N. Yu. (2010) The creation of a system of portfolio management by company resources in projects. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system (Kyiv)*, (4), pp. 19–22 [in Ukrainian].
 10. Teslia, Yu. N., Yehorchenkov A. V., Yehorchenkova, N. I. and Kataiev, D. S. (2012) Product systems of project planning. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnytstva (Luhansk)*, 1 (41), pp.13–19 [in Russian].

References

1. Bushuyeva, N. S. (2007) Models and methods of proactive management by organizational development programs. Kiev: Nauk. svit, 200 p. [in Russian].

Yehorchenkova N. Yu., *PhD, associate professor*,
Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyi ave., 31, Kyiv, 03680, Ukraine
e-mail: realnata@ukr.net

Yehorchenkov O. V., *PhD.*,
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Volodymyrska str., 60/13, Kyiv, 01601, Ukraine
e-mail: alexee@ukr.net

Chastokolenko I. P., *PhD., associate professor*
The Academy of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Defense of Ukraine
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine
e-mail: nord7310@ukr.net

PROJECT MANAGEMENT PARTICULAR QUALITIES AT INSTRUMENT-MAKING ENTERPRISE

Formulation of the problem. *Economic development induces the productions to aggressively compete for the influence in world markets. Those companies are winning which react quickly to market changes and needs and can adjust to manufacture products after new requirements and to organize the production with lower cost than others. Therefore, there is a need to expand the methodology of management by projects, models, methods and means of construction management of all equipment.*

The aim of the article is to present the authors' experience in creating the project management system directed toward the specificity of instrument-making industry.

Basic material research. *Instrument-making enterprises refer to design-oriented organizations whose activities are aimed at efficient management by investments. Many changes, the lack of coordination between departments, et cet. cause problems in the management of the enterprise, leading to delays in the production of finished products.*

As the large part of instrument-making enterprises activities is project-oriented and taking into account the nature of production equipment which is by the piece and focused on the needs of specific customer, it is necessary to create project management systems at such enterprises. To create a project management system it is necessary to implement the project of the creation of project-driven instrument-making enterprises (project SPPV).

During the project implementation one should solve a number of problems.

The aim is to create SPPV project management system, which is aimed at efficient use of all resources of instrument-making enterprises during fulfillment of various projects.

Project management system of instrument-making enterprise is a product of SPPV project and must provide the necessary quality of production equipment control.

Project management system consists of the following components:

- 1. Organization of project management.*
- 2. Methodology of project management.*
- 3. Matrix information technology of project management.*

Conclusions and recommendations for further research. *The creation of a system of project management at instrument-making enterprise enables to realize all processes so that all stakeholders (managers, employees, hired experts et al.) have been satisfied. In future the authors plan to develop a commercial version of matrix information technology tools and distribute them to enterprises of Ukraine.*

Keywords: *instrument-making enterprise, project management system, organization structure, information technologies, project management methodology.*

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н., професор,
С. В. Поздєєв, д.т.н., професор*

В. І. Осипенко, д.т.н., професор,

e-mail: osip5906@rambler.ru

О. П. Плахотний, к.т.н., доцент,

e-mail: pldecor@ukr.net

О. В. Тімченко, аспірант

e-mail: alec.timchenko@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

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

ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ КРИТЕРІЇВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АНОДНОГО РОЗЧИНЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДРОТЯНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Стаття присвячена розробці науково обґрунтованих методів оцінювання локалізації процесу анодного розчинення в електрохімічній комірці з циліндричним електродом. Проведено аналіз можливості застосування відомих підходів до оцінювання локалізації процесу анодного розчинення для електрохімічної комірки з циліндричним електродом. На основі комплексу експериментальних і теоретичних досліджень запропоновано, обґрунтовано та розроблено методику визначення рівня локалізації процесу електрохімічного розчинення середньовуглецевих сталей при використанні схеми обробки з циліндричними дротяними електродами та коаксіальною вертикальною верхньою подачею електроліту. Запропоновано нові критерії визначення рівня локалізації процесу, які з необхідним ступенем адекватності дозволяють оцінити вплив на локалізацію властивостей електроліту та амплітудно-часових параметрів джерела живлення.

Ключові слова: електрохімічна обробка дротяним електродом, міжелектродний проміжок, коефіцієнт локалізації електрохімічного розчинення.

Постановка проблеми. Електрохімічна обробка є сучасним методом обробки металів. Одним із її різновидів є електрохімічна обробка дротяним електродом (ЕХОДЕ). Ця технологія обробки є перспективною через ряд виняткових переваг: можливість обробки будь-яких металів незалежно від їх твердості, виготовлення деталей складної форми, відсутність зони термічного впливу, висока якість поверхні. Тому ЕХОДЕ, як правило, використовується в комбінації з електроерозійним дротяним вирізанням.

Поєднання високої точності електроерозійної обробки та високої якості поверхні при електрохімічній обробці дозволяє створити нову конкурентоспроможну технологію для обробки струмопровідних матеріалів. Ця технологія послідовної електроерозійної та електрохімічної обробки дозволяє суттєво скоротити час обробки (порівняно з традиційною електроерозійною вирізною обробкою) та, по суті, вперше отримати можливість керовано змінювати товщину і властивості поверхневих шарів.

Проте існує ряд проблем, які стримують розвиток ЕХОДЕ як технології. Основною з

них є забезпечення високої точності відтворення профілю деталей складної форми зі збереженням високої швидкості обробки та необхідної якості отриманих поверхонь. Проблема криється в розподілі густини струмів у міжелектродному проміжку (МЄП), при використанні відносно малих діаметрів (0,1–0,3 мм) дротяних електродів. Величина, тривалість дії та характер розподілу густини струму суттєво визначає як швидкість обробки, так і показники якості отриманої поверхні. Особливо гостро це питання постає при обробці складно-профільних деталей, де, на відміну від традиційної електрохімічної обробки (ЕХО), за умов ЕХОДЕ технологічна можливість локалізувати процес обробки, а отже забезпечити відносно невелику зону розтікання технологічного струму, практично визначає керованість процесу і його кінцеві результати.

Виходячи з наведеного, ця робота присвячена проблемі створення науково обґрунтованих методів оцінювання локалізації процесу анодного розчинення в електрохімічній комірці з циліндричним електродом.

Мета – вибрати, обґрунтувати та оцінити ступінь адекватності критеріїв оцінювання

локалізації процесу анодного розчинення при використанні технологій електрохімічної обробки дротяним електродом.

Задачі:

1. Проаналізувати можливості застосування відомих підходів до оцінювання локалізації процесу анодного розчинення для електрохімічної комірки з циліндричним електродом.

2. Запропонувати, обґрунтувати та розробити методику визначення рівня локалізації електрохімічного розчинення при обробці дротяним електродом за критеріями, які, з необхідним ступенем адекватності, дозволяють оцінити вплив на локалізацію властивостей електроліту та параметрів джерела живлення.

Аналіз останніх досліджень. Як уже відомо, для забезпечення високої швидкості обробки використовують активуючі електроліти з великою електропровідністю, в той час як для отримання високоякісної поверхні користуються пасивуючими електролітами з меншою електропровідністю [1–5].

Існує кілька методів визначення локалізуючої здатності ЕХО, тобто точності відтворення форми деталі при електрохімічній обробці. Найбільш часто застосовується логарифмічний індекс розсіювання (ЛІР), запропонований Д. Т. Чіном для технологічного процесу електроосадження [6, 7]. Він знайшов, що серед кількох використовуваних функцій, рівняння

$$M = L^{1/A}, \quad (1)$$

де M – відношення мас осажденного металу на поверхнях з більшим l_f і меншим l_n між-електродним проміжком, L – відношення l_f / l_n або i_n / i_f , i_n – первинна густина струму на поверхні анода на меншому МЕР, коли там немає поляризації, i_f – первинна густина струму на більшому МЕР за тих же умов, A – логарифмічний індекс розсіювання: обернений нахил графіка $\log M$ від $\log L$.

Ця залежність показала найкраще узгодження з експериментальними даними і зберегла умову «єдиного» параметра для опису системи, що є важливим для практичного використання в ЕХО. Проте первинний розподіл струму на електроді в електролітичній ванні значною мірою визначається геометрією ванни, її розміром, формою і розміщенням електродів у ванні. Електрохімічна комірка Херінг-Блума, яка найчастіше використовується для визначення розсіюючої здатності, накладає обмеження на застосування рівняння (1) і унеможливує його використання для елект-

ролітичних ванн з іншими геометричними параметрами. На практиці, реальний вихід по струму вздовж електрода має тенденцію ставати більш рівномірним через різні поляризаційні ефекти і змінну густину струму. Також впливають на розподіл струму в МЕР зміни первинного розподілу густини струму вздовж оброблюваної зони.

Отже, значення ЛІР, яке визначається за допомогою відношень між плоским електродом і деталлю та дає інтегральну характеристику локалізації процесів ЕХО, не може бути ефективним критерієм оцінювання локалізації при ЕХОДЕ. Це пов'язано з тим, що конфігурація напруженості електричного поля в електрохімічній комірці з циліндричним електродом є складною нелінійною залежністю від величини МЕР та діаметра дроту [8, 9], що практично усуває можливість адекватно оцінити вплив складу електроліту та амплітудно-часових параметрів джерела живлення (АЧПДЖ) на локалізованість процесу розчинення.

В роботах [9, 10] автори спробували вирішити проблему підвищення точності електрохімічного формоутворення шляхом введення безрозмірних геометричних критеріїв, які визначалися на основі аналізу геометрії порожнини, утвореної електрохімічним розчиненням торця нікелевої фольги. Аналіз виконувався за допомогою комп'ютерної обробки отриманих фотографій. Запропонований підхід та обрані геометричні безрозмірні критерії дозволили авторам виявити суттєвий вплив АЧПДЖ на точність відтворення форми електрода-інструмента. Спроба використати чисто геометричні критерії для оцінювання рівня впливу АЧПДЖ та складу електроліту на локальність процесу розчинення в електрохімічній комірці з циліндричним електродом виявила їх низьку інформативність, знову ж таки, через проблеми зі змінами конфігурації напруженості електричного поля в зоні обробки.

Таким чином, відсутність обґрунтованих критеріїв оцінювання локалізації процесу анодного розчинення при використанні технологій ЕХОДЕ робить проблематичним точний теоретичний розрахунок технологічних параметрів процесу обробки. Це сприяє використанню чисто емпіричних підходів до вибору параметрів обробки, що стримує розвиток ЕХОДЕ як технології.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводились у ванні модифікованого електроерозійного верстата СЕЛД-02М. Катод являв собою латунний дріт-електрод Л63, об-

роблювана деталь (анод) – прямокутна пластина товщиною 10 мм зі Сталі 45. Попередньо із серії дослідів було вибрано наступні параметри, при яких отримували найкращу якість поверхні на даній сталі, а саме: діаметр дроту – 0,15 мм, різниця потенціалів між електродами $\Delta\varphi = 4$ В, частота імпульсів $f = 1$ кГц, тривалість імпульсів струму $t = 300$ мкс, електроліт – 6% водний розчин NaCl, температура електроліту $T = 30^\circ\text{C}$, тиск у соплі $P = 0,2$ МПа, тривалість процесу на кожній позиції $\tau = 300$ с. Дослідження проводились на величинах МЕР 0,5; 0,3; 0,2; 0,1; 0,05 мм. Схему робочої зони зображено на рис. 1.

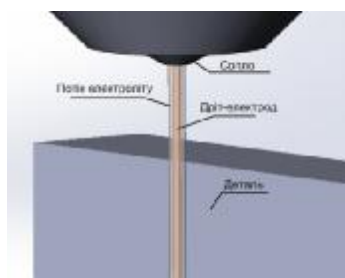


Рис. 1. Схема робочої зони при ЕХОДЕ у ванні модифікованого верстата СЕЛД-02М

У ході експериментів нерухомий дріт-електрод за допомогою керованих приводів верстата встановлювався напроти кожної позиції на задану величину початкового МЕР. При подачі напруги на електроди в електроліті, в момент дії струму, виникає електричне поле, розподіл якого залежить, в першу чергу, від початкової величини МЕР, діаметра електрода та параметрів електроліту. В свою чергу, отриманий розподіл потенціалу визначає конфігурацію напруженості електричного поля на поверхні анода, відповідну їй густину «фарадеевського» струму і, як наслідок, швидкість видалення матеріалу у відповідному місці заготовки [11, 12]. На поверхні деталі утворюються канавки (рис. 2), профіль яких корелює з розподілом струмів у МЕР.

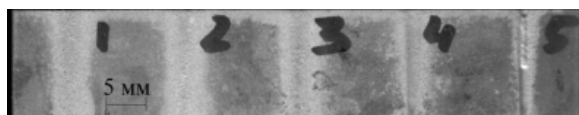


Рис. 2. Зразок обробленої пластини з канавками при використанні дроту діаметром 0,15 мм; МЕР, мм: 1 – 0,5; 2 – 0,3; 3 – 0,2; 4 – 0,1; 5 – 0,05

Було отримано профілограми канавок на поверхні (рис. 3) за допомогою профілометра моделі ПМ-210 (ЧНПП «Мікротех», м. Харків, Україна).

Отримані профілограми аналізувались за допомогою графічних програм, профіль канавок оцифровувався, будувався реальний профіль експериментально отриманої канавки (крива 1, рис. 4).

Розподіл густини підведеного струму (крива 2, рис. 4) на поверхні аноду в початковий момент часу (первинний розподіл технологічного струму) для системи циліндричний дріт-катод – плоский анод отримано за точним аналітичним розв'язком із застосуванням конформних відображень теорії функцій комплексних змінних, детально описаним в [9, 11].

Теоретично розрахований профіль канавки (крива 3, рис. 4) отримано чисельно за методом кінцевих елементів у середовищі розрахункового пакета COMSOL Multiphysics в модулі Electrochemistry. Часовий проміжок 300 с (згідно умов експерименту) розбивався на проміжки з кроком 1 с. Для кожного моменту часу розраховувався отриманий профіль поверхні анода та перераховувався розподіл густини технологічного струму. Таким чином було отримано динаміку перерозподілу підведеного струму в часі при зміні рельєфу поверхні анода в процесі електрохімічного розчинення. В рамках застосованої математичної моделі не врахований вплив поляризаційних ефектів на поверхні анода та дифузійних змін в МЕР.

З точки зору керованості і відповідно до необхідних параметрів ЕХОДЕ, в кожному окремому технологічному випадку бажано отримати мінімально можливу зону розтікання струму по поверхні анода та максимально можливий градієнт залежності швидкості розчинення від відстані точок деталі до точок поверхні електрода. Відповідно, більш високому рівню локалізації процесу відповідає технологічний випадок (рис. 5), коли активне електрохімічне розчинення відбувається лише в зоні I, в зоні II воно мінімальне, а в зоні III відсутнє, при цьому зони I та II повинні мати мінімально можливий розмір.

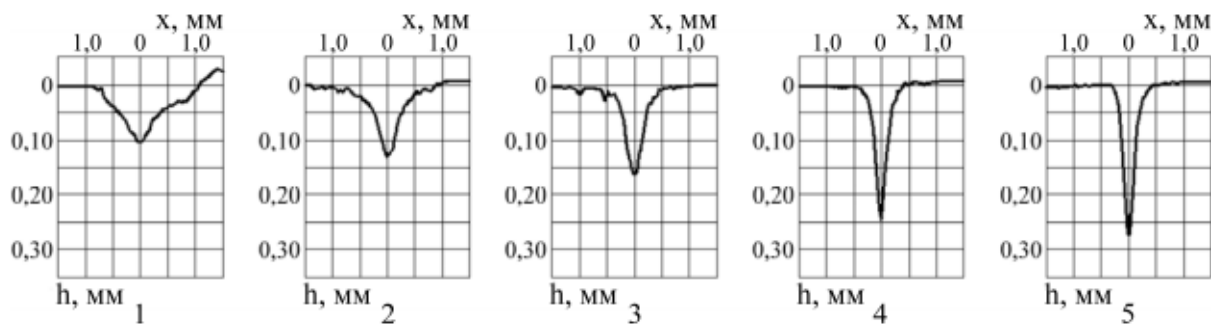


Рис. 3. Профілограми зразка обробленої пластини при використанні дроту діаметром 0,15 мм;
МЄП, мм: 1 – 0,5; 2 – 0,3; 3 – 0,2; 4 – 0,1; 5 – 0,05

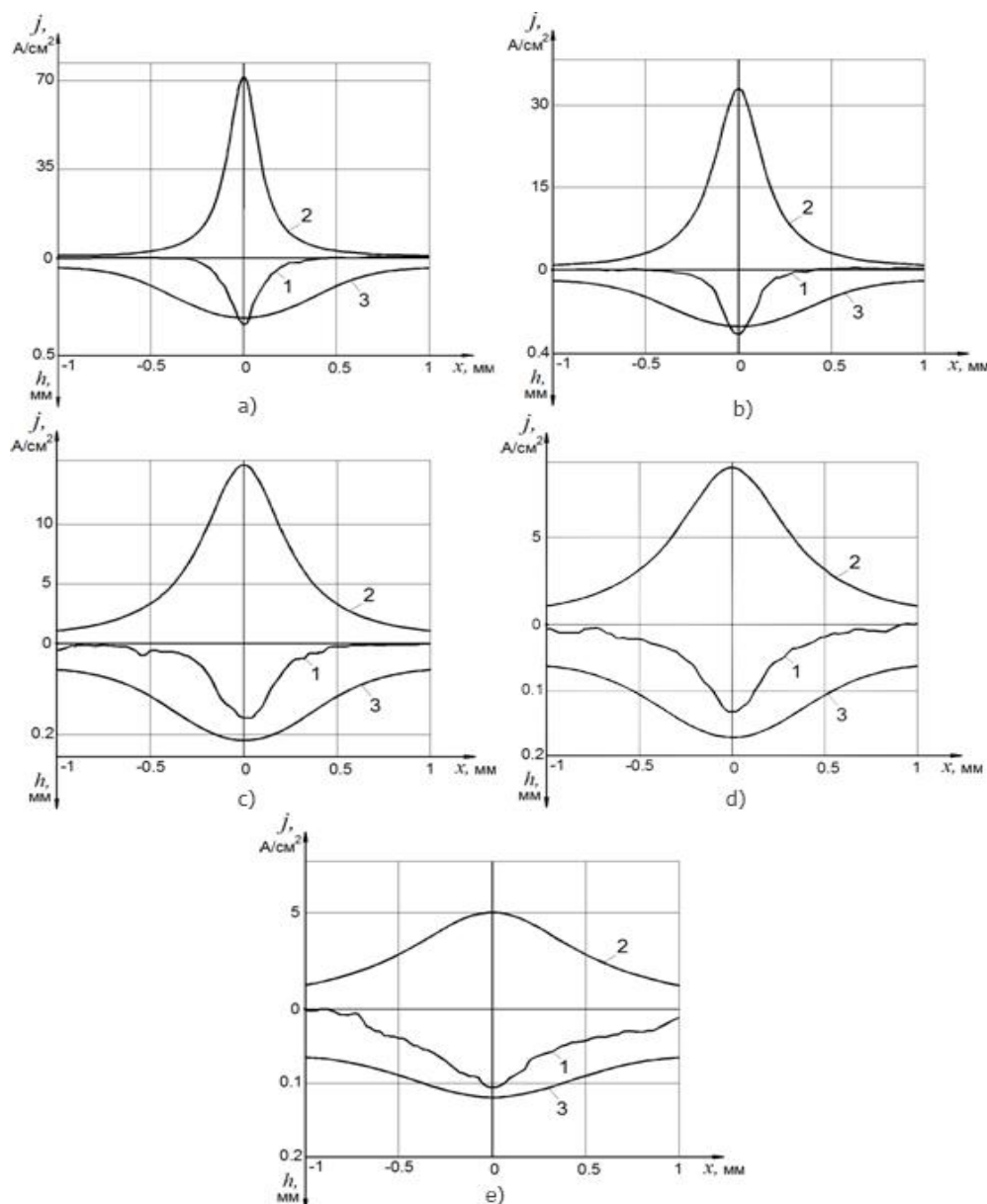


Рис. 4. Профіль експериментально отриманої канавки (крива 1), розподіл густини підведеного струму на поверхні аноду (крива 2), теоретично розрахований профіль канавки (крива 3) для різних значень МЄП, мм: а) – 0,05; б) – 0,1; в) – 0,2; д) – 0,3; е) – 0,5

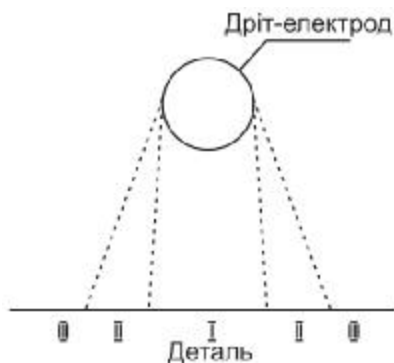


Рис. 5. Принципова схема оцінювання рівня локалізації процесу анодного розчинення при використанні технологій ЕХОДЕ

Враховуючи вищесказане і представлені на рис. 4 експериментальні та розрахункові дані, було висунуто гіпотезу про те, що для оцінювання впливу складу електроліту та АЧПДЖ на локальність процесу розчинення як критерії варто використовувати величину зони розчинення (ширину отриманої канавки, яка для кращої локалізації і керованості процесу має бути якомога меншою по ширині і більш глибокою) та порівняння ексцесів (Es) як показників гостровершинності розподілу густини струму по поверхні анода і розподілу активності розчинення по поверхні анода. Саме оцінювання зміни (Es) дозволяє вичлени вплив конфігурації напруженості електричного поля в електрохімічній комірці з циліндричним електродом, яка обумовлена величиною МЕР та діаметром дроту, і відповідно шляхом порівняння результатів різних експериментів визначити вплив складу електроліту та АЧПДЖ на локальність процесу розчинення.

Для кількісного оцінювання фізико-хімічного процесу розчинення на поверхні анода скористаємося статистичним ймовірнісним підходом. Нехай елементарний акт відщеплення іона металу з поверхні анода є подією. Ознакою цієї події приймемо координату x місця, де відбулося відщеплення. Тоді сукупність подій може бути представлена у вигляді розподілу з кількісними ознаками, тобто за допомогою гістограми. Профіль експериментально отриманої канавки (крива 1 рис. 4), який утворився внаслідок проходження сукупності елементарних подій розчинення, відтворює картину розподілу ознак подій, де координати x – їх місця проходження. Так, наприклад, максимальна глибина канавки під

центром катода означає, що подій з ознакою $x=0$ відбулося найбільше.

Обчислення значення ексцесу Es розподілу активності розчинення здійснюється за такими формулами:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i h_i}{\sum h_i}, \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot h_i}{\sum h_i}}, \quad (3)$$

$$\mu_4 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4 \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (4)$$

$$Es = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (5)$$

де h_i – глибина канавки в точці з координатою x_i , $\bar{x}$ – середнє значення, σ – середнє квадратичне відхилення, μ_4 – центральний момент четвертого порядку.

Використовуючи наведений підхід, розраховано ексцеси експериментального профілю канавки, розподілу густини підведеного струму на поверхні анода та теоретично розрахованого профілю. Скориставшись можливостями графічних програм, визначено ширину отриманих канавок і за площами теоретичного та експериментального профілів канавки – коефіцієнт виходу за струмом. Отримані результати представлені в табл. 1.

Детально проаналізувавши отримані дані, можливо стверджувати таке:

1. Параметр Es адекватно відображає реальні характеристики розподілу густини струму і характеристики отриманої геометрії канавки на аноді в початковий момент часу та добре корелює з шириною отриманих канавок для кожної величини МЕР. В усіх технологічних випадках для обраного електроліту та АЧПДЖ (електроліт – 6 % водний розчин NaCl, різниця потенціалів між електродами $\Delta\varphi = 4$ В, частота імпульсів $f = 1$ кГц, тривалість імпульсів струму $t = 300$ мкс) Es експериментального профілю канавки є більш високим за Es розподілу густини струму на аноді. Таким чином підтверджується гіпотеза про те, що можна кількісно оцінити і, відповідно, вичлени вплив конфігурації напруженості електричного поля в електрохімічній комірці з циліндричним електродом, яка обумовлена величиною МЕР та діаметром дроту (при їх фіксації). Як результат, планово варіюючи електроліти та АЧПДЖ, за зміною величин Es та ширини канавок можливо визначити їх вплив на градієнт

залежності швидкості розчинення від відстані точок деталі до точок поверхні електрода та на зону розтікання струму по поверхні, тобто на локальність процесу розчинення (зростання

локальності процесу розчинення підвищує керованість та ефективність згладжування мікронерівностей).

Таблиця 1

Параметри ЕХОДЕ, що визначають рівень локалізації процесу

МЕП, мм	Ексцеси (E_s)			Коефіцієнт виходу за струмом	Ширина канавки, мм
	Розподіл густини струму на аноді в початковий момент	Експериментальний профіль канавки	Теоретично розрахований профіль канавки	Оцінка за площами теоретичного та експериментального профілів канавки	
0,05	4,156	6,615	-0,179	0,117	0,6
0,1	2,024	5,087	-0,307	0,239	0,95
0,2	0,564	2,933	-0,533	0,286	1,4
0,3	-0,032	0,412	-0,707	0,311	1,9
0,5	-0,56	-0,436	-0,931	0,477	2,1

2. В усіх експериментах отриманий профіль суттєво відрізняється від теоретично розрахованого. Це пояснюється неможливістю врахувати у використаній моделі:

– коефіцієнт виходу за струмом (в обчисленнях приймався рівним 1. Відзначимо суттєве зростання експериментально визначеного коефіцієнта виходу за струмом зі зростанням МЕП і відповідне зменшення розходжень між отриманим профілем і теоретично розрахованим, що, найбільш вірогідно, пов'язано з покращенням промивання МЕП на відносно великих зазорах);

– реальні варіації коефіцієнта електрохімічного розчинення структурно змінених поверхневих шарів після електроерозійної обробки сталі.

Окрім цього, для обраних електроліту та АЧПДЖ, за відносно невеликих градієнтів потенціалу, розчинення не відбувається.

Додатково варто відзначити наявність ймовірнісної складової в процесі розчинення, обумовленої поляризацією, дифузійними процесами, супутніми хімічними реакціями, вплив яких описати точно поки що не вдається.

Висновки:

1. Доведено відсутність обґрунтованих, адекватних критеріїв оцінювання локалізації процесу анодного розчинення при використанні технологій ЕХОДЕ.

2. Підтверджено суттєвий вплив на локалізацію процесу ЕХОДЕ величини МЕП.

3. На основі комплексу експериментальних і теоретичних досліджень представлено методику, де як критерії оцінювання ло-

калізації процесу анодного розчинення при ЕХОДЕ використовують величини зони розчинення та ексцесів (E_s) розподілу густини струму й активності розчинення по поверхні анода. Їх комплексне використання забезпечує принципову можливість кількісно описати та виокремити вплив на локальність процесу розчинення конфігурації напруженості електричного поля в електрохімічній комірці з циліндричним електродом, яка обумовлена величиною МЕП та діаметром дроту і, відповідно, адекватно оцінити внесок параметрів електроліту та АЧПДЖ у рівень локалізації процесу розчинення.

4. Отримані наукові результати є підґрунтям для подальших досліджень впливу характеристик електроліту та АЧПДЖ на ефективність технологій ЕХОДЕ.

Список літератури

1. Галанин С. И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока / С. И. Галанин. – Кострома, 2001. – 119 с.
2. Багоцкий В. С. Основы электрохимии / В. С. Багоцкий. – М.: Химия, 1988. – 400 с.
3. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов / [М. А. Толстая, М. В. Щербак, А. П. Анисимов и др.]. – М., 1981, – 263 с.
4. Мороз И. И. Электрохимическая обработка металлов / И. И. Мороз. – М.: Машиностроение, 1969. – 208 с.
5. Micro wire electrochemical machining with an axial electrolyte flow / W. Shaohua,

- Z. Yongbin, L. Yong, Z. Di. // Springer-Verlag London. – 2011. – Vol. 65. – P. 25–32.
6. Chin D. T. Logarithmic throwing power index for measurements of throwing powers / D. T. Chin // *J. Electrochem. Soc.* – 1971. – 118 (5). – P. 818–821.
7. Subramanian R. Significance of logarithmic throwing index: a theoretical approach / R. Subramanian // *Journal of Applied Electrochemistry*. – 1976. – V. 6 (1). – P. 15–22.
8. Демьянцева Н. Г. Оценка точности формообразования при электрохимической обработке металлов / Н. Г. Демьянцева, С. М. Кузьмин, А. В. Балмасов // *Электронная обработка материалов*. – 2012. – 48 (3). – С. 46–49.
9. Житников В. П. Импульсная электрохимическая размерная обработка / В. П. Житников, А. Н. Зайцев. – М.: Машиностроение, 2008. – 413 с.
10. Calculation of the parameters of the technological current density distribution during wire electrode electrochemical processing / V. I. Osipenko, D. O. Stupak, O. A. Trigub, A. V. Bilan // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2012. – Vol. 48, No. 2, pp. 105–110. – ISSN 1068-3755.
11. Осипенко В. И. Исследование процессов съема материала при электрохимической размерной обработке проволочным электродом / В. И. Осипенко, А. П. Плахотный, А. В. Билан // *Вісник СевНТУ: зб. наук. праць*. – 2011. – С. 107–112.
12. Билан А. В. Послідовна електроерозійна та електрохімічна обробка сталей незмінним дотяним електродом: дис. канд. техн. наук: 05.03.07 / Билан А. В. – Черкаси, 2013. – 133 с.
3. Tolstaya, M. A. Scherbak, M. V. Anisimov, A. P. et al. (1981) Fundamentals of theory and practice of electrochemical machining of metals and alloys. Moscow, 263 p. [in Russian].
4. Moroz, I. I. (1969) Electrochemical machining of metals. Moscow: Mashinostroenie, 208 p. [in Russian].
5. Shaohua, W., Yongbin, Z., Yong, L. and Di, Z. (2011) Micro wire electrochemical machining with an axial electrolyte flow. *Springer-Verlag London*, (65), pp. 25–32.
6. Chin, D. T. (1971) Logarithmic throwing power index for measurements of throwing powers. *J. Electrochem. Soc.*, 118 (5), pp. 818–821.
7. Subramanian, R. (1976) Significance of logarithmic throwing index: a theoretical approach. *Journal of Applied Electrochemistry*, 6 (1), pp. 15–22.
8. Demyantseva, N. G., Kuzmin, S. M. and Balmasov, A. V. (2012) Evaluation of accuracy of shaping in electrochemical machining of metals. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 48 (3), pp. 46–49 [in Russian].
9. Zhitnikov, V. P. and Zaitsev, A. N. (2008) Pulse precision electrochemical machining. Moscow: Mashinostroenie, 413 p. [in Russian].
10. Osipenko, V. I., Stupak, D. O., Trigub, O. A. and Bilan, A. V. (2012) Calculation of the parameters of the technological current density distribution during wire electrode electrochemical processing. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, Vol. 48, No. 2, pp. 105–110, ISSN 1068-3755.
11. Osipenko, V. I., Plahotnyiy, A. P. and Bilan, A. V. (2011) Investigation of material removal processes in electrochemical machining using wire electrode. *Visnyk SevNTU*, pp. 107–112 [in Russian].
12. Bilan, A. V. (2013) Sequential electrodischarge and electrochemical machining of steel using unchanged wire electrode: diss. of Ph.D. in Engineering: 05.03.07. Cherkasy, 133 p. [in Ukrainian].

References

1. Galanin, S. I. (2001) Electrochemical machining of metals and alloys using microsecond pulse current. Kostroma, 119 p. [in Russian].
2. Bagotskiy, V. S. (1988) Fundamentals of electrochemistry. Moscow: Himiya, 400 p. [in Russian].

V. I. Osipenko, D.Sc., professor,
e-mail: osip5906@rambler.ru
O. P. Plakhotnyi, Ph.D., associate professor,
e-mail: pldecor@ukr.net
O. V. Timchenko, postgraduate student
e-mail: alec.timchenko@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

EVALUATION CRITERIA ADEQUACY OF PROCESS LOCALIZATION OF ANODIC DISSOLUTION USING WIRE CYLINDRICAL ELECTRODES

For a significant expand of technological capabilities of electrical wire cut for the purpose of obtaining high-performance surfaces with roughness parameters up to $R_a < 0.1$ microns and controllable properties of surface layers the development of combined treatment methods based on different mechanisms of workpiece material destruction is required. Considering technical and technological features of electrical wire cutting the method of wire electrode electrochemical machining (WEECM) has been recognized with sufficient justification to be the most effective method of finishing. The main problem of new hybrid technology consists in very limited data on physical and chemical laws of electrochemical machining process using wire electrode, which would allow to adapt it for efficient use in electrical wire cut without compromising high-end precision machining ($\pm 0,005$ mm). It is particularly important when parts have intricate shapes and, unlike traditional ECM, need to be machined with high accuracy. Only WECM provides an opportunity to localize technological process and thus provide a relatively small area for spreading of current, which practically defines the process control and its final results. This work is devoted to the problem of creating scientifically based methods for assessing the process of anodic dissolution localization in electrochemical cell with a cylindrical wire electrode.

Goal. *The goal is to select, substantiate and assess the adequacy of the criteria for evaluating the process localization of anodic dissolution using wire electrochemical machining technology.*

Formulation of the problem.

1. *To analyze the possibilities of applying the known approaches to assessing of the process localization of anodic dissolution in electrochemical cell with a cylindrical electrode.*

2. *To offer, substantiate and develop a method for determining the localization of electrochemical dissolution of ECM with wire electrode using the criteria that with necessary degree of adequacy assess the impact of electrolyte properties and power supply parameters on the localization.*

Based on complex experimental and theoretical studies the method of determining the level of the process localization of electrochemical dissolution of medium carbon steels using machining scheme with cylindrical wire electrodes and coaxial upper vertical electrolyte feed is suggested, substantiated and developed. Based on the results, new criteria for determining the level of process localization, which with necessary degree of adequacy assess the impact of electrolyte properties and amplitude-time parameters of power supply on the localization, are suggested.

Keywords: *electrochemical machining with wire electrode, interelectrode gap, coefficient of electrochemical dissolution localization.*

Статтю представляє д.т.н., професор В. І. Осипенко, Черкаський державний технологічний університет.

В. М. Саух, к.т.н., доцент,
e-mail: maxsoft@i.ua

Л. П. Оксамитна, к.т.н., доцент,
e-mail: barchat_08@mail.ru

В. О. Андрієнко, к.т.н., доцент
e-mail: andrienko22@ukr.net

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

ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ І ТЕХНОЛОГІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Стаття присвячена побудові інформаційно-освітнього середовища та електронного кампусу в освітньому процесі технологічного ВНЗ. На досвіді Черкаського державного технологічного університету (технічний університет) розглядається концептуальний підхід до побудови інформаційно-освітнього середовища. У статті наводяться сучасні інструментальні засоби і технології реалізації інформаційно-освітнього середовища технічного університету. Ці розробки можуть бути використані при впровадженні сучасних інформаційних технологій в освітньому процесі ВНЗ.

Ключові слова: інформаційно-освітнє середовище, хмарні технології, віртуальне середовище, нульовий клієнт, особистий віртуальний комп'ютер.

Постановка проблеми. Стратегічним напрямом розвитку освітніх систем у сучасному суспільстві є забезпечення інтелектуального і морального розвитку людини на основі залучення її в різноманітну самостійну діяльність широкого спектра знань. Швидке оновлення інформації, включаючи базову, в галузі технічних наук ставить перед вищою школою завдання підготовки фахівців з використанням сучасних ІТ-технологій, впровадження інформаційно-освітнього середовища та електронного кампусу.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Аналіз процесу реформування освіти провідними університетами світу (Гарвардський університет, Wisconsin Technical College System), а також деяких українських ВНЗ показує, що їх розвиток ґрунтується на таких засадах:

- прогнозування потреб суспільства в спеціалістах різного профілю;
- визначення спектра спеціальностей і необхідної кваліфікації спеціалістів;
- визначення необхідних умов для підготовки спеціалістів;
- активне впровадження нових інформаційних технологій (ІІТ) в освітній процес.

Традиційний підхід до освіти, орієнтований на аудиторну систему занять, на слухання, а не на активну самостійну діяльність не до-

зволяє оптимально використовувати можливості нових інформаційних технологій, що з'явилися останнім часом. До цих можливостей, перш за все, відноситься залучення кожного учня в активний пізнавальний процес, спрямований на самостійну діяльність і усвідомлення застосування на практиці отриманих знань. Використання ІІТ вимагає колективного виконання завдань у співпраці не тільки з викладачами, але й з однолітками, а можливість вільного доступу до інформації дає змогу сформувати власну незалежну та аргументовану думку студента з тієї чи іншої проблеми.

Впровадження сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій у сферу освіти привело до виникнення терміна «інформаційно-освітнє середовище» – сукупність комп'ютерних засобів і способів їх функціонування, використання для реалізації навчальної діяльності. До складу комп'ютерних засобів входять апаратні, програмні та інформаційні компоненти, способи, використання яких регламентується в методичному забезпеченні навчального процесу.

Аналіз структури і складу існуючих інформаційно-освітніх середовищ (ІОС) світових лідерів у сфері застосування сучасних інформаційних технологій в освітніх системах, а саме: Всесвітньої мережевої академії та Світового лекційного залу, дозволяє виділити

особливості побудови ІОС. В основу інформаційно-освітніх середовищ покладено принцип модульності, що передбачає подання окремого курсу як закінченого модуля у вузькій предметній області, що не пов'язаний з іншими курсами або довідковими матеріалами. При цьому процес навчання з використанням інформаційно-освітніх середовищ базується на основних елементарних моделях традиційної системи освіти, таких як: лекції, практичні заняття, лабораторні практикуми, контрольні завдання тощо.

Метою роботи є визначення інструментальних і технологічних засобів побудови сучасного інформаційно-освітнього середовища технічного вузу, які повною мірою враховують нові можливості створення, поширення і застосування багатокomпонентних розподілених та інтегрованих баз даних і знань, орієнтованих на освіту, що враховує національні вимоги до системи освіти.

Головним завданням роботи є розгляд хмарних технологій як інструмента реалізації інформаційно-освітнього середовища технічного університету та впровадження технологій реалізації систем WI-FI, нульових клієнтів та персонального віртуального комп'ютера.

Хмарні технології як інструмент реалізації інформаційно-освітнього середовища ВНЗ. Є два полярні підходи до способів надання електронної освіти: на одному полюсі знаходиться VLE, що базується в навчальному закладі, а на другому – кероване учням персональне навчальне середовище, створене з множини Web 2.0 сайтів. Однак нещодавно з'явилася і третя модель, потенційно здатна замінити обидві існуючі. Компанії Google і Microsoft пропонують сервіси для працівників навчальних закладів та студентів, які замінюють або доповнюють функції систем інституту, таких як електронна пошта, обмін миттєвими повідомленнями, складання календарного плану; створення і зберігання персональних документів, надання до них загального доступу, створення Web-сайтів. Сервіси «GoogleApps для навчальних закладів» та «MicrosoftLive@edu» включають в себе широкий спектр інструментів, які можна налаштувати під потреби користувача, і навіть, деякою мірою прив'язати до бренду навчального закладу. При цьому описані системи розміщуються в зовнішньому постачальнику послуг, у так званій «обчислювальній хмарі», або просто «хмарі». Крім того, на сьогоднішній

день саме Microsoft та Google користуються найбільшою популярністю в україномовному сегменті мережі Інтернет серед освітян. Саме ці корпорації дозволяють організувати швидке впровадження технологій хмарних обчислень у навчально-виховних процесах освітніх закладів. До того ж, корпорації постійно удосконалюють свої службові сервіси хмарних технологій. Потужний інструментарій та інноваційні функціональні можливості освітніх хмар дозволяють сучасним педагогам максимально ефективно використовувати доступні технології у своїй професійній діяльності.

Для впровадження хмарних технологій у систему навчання Microsoft пропонує ряд інструментів, що базуються на спільній взаємодії викладача та студента (пакет MicrosoftOffice 365): систему електронної пошти, інтерактивні календарі, контакти OutlookLine, веб-додатки та архіви SkyDrive, систему обміну миттєвими повідомленнями LyncOnline, мінісайти тощо. Служба MicrosoftOffice 365 може підтримувати як персональне використання онлайнових інтерактивних додатків, так і їх корпоративне використання десятками тисяч користувачів. До складу пакету Office 365 Home Premium входять звичні програми: Word, Excel, PowerPoint, OneNote, Outlook, Publisher, Access.

Для впровадження хмарних технологій у систему навчання Google пропонує сучасний інструмент побудови навчальних порталів – службу GoogleAppsforEducation. GoogleApps – це набір хмарних служб, які допоможуть викладачам і студентам продуктивно працювати і спілкуватися, де б вони не знаходилися і якими б пристроями не користувалися. Прості в налаштуванні, використанні та керуванні інструменти (електронна пошта, календар, онлайнві документи та інтерактивні додатки) дозволять зосередитися на тому, що дійсно важливо. GoogleApps включає такі продукти і служби: Gmail, Google Календар, Google Диск, Hangouts, Google Документи, Google Таблиці, Google Презентації, Google Форми, Google Сайти, Google+ і Сейф. У пакет GoogleApps входять онлайн-редактори для роботи з текстовими документами, електронними таблицями, презентаціями та опитуваннями.

Доступ WI-FI як складова телекомунікаційної мережі ЧДТУ. Залежно від вимог до забезпечення інформаційної безпеки та сфери використання виділяють три головні

сегменти бездротового обладнання: корпоративний, домашній та пункти бездротового доступу до Інтернету загального користування (хот-споти). Аналізуючи технічні та функціональні особливості бездротових технологій передачі даних, можна виділити чотири складові, які набувають все більш значного поширення в бездротових пристроях для локальних мереж:

- систему бездротового розподілення – WDS (Wireless Distribution System), яка призначена для побудови бездротової інфраструктури передачі даних. Ця система автоматично визначає свою топологію та забезпечує безперервність передачі даних при переміщеннях клієнтського обладнання в межах такої територіально-розподіленої бездротової мережі;

- протокол IEEE 802.1x, який забезпечує підтримку протоколів аутентифікації як «дротових», так і «бездротових» користувачів, що дозволяє надійно визначити особу користувача та забезпечити його авторизацію в білінговій системі;

- бездротову віртуальну мережу WVLAN (Wireless Virtual LAN). Це спеціальний режим, в якому бездротовий інтерфейс точки доступу може мати декілька мережевих ідентифікаторів, що дозволяє створювати окремі віртуальні групи користувачів або пристроїв зі своїми класами обслуговування та пріоритетами передачі даних;

- специфікацію захищеного бездротового доступу WPA (Wi-Fi Protected Access), що дає змогу забезпечити високий рівень інформаційної безпеки бездротових мереж і сумісність обладнання різних виробників. Підтримка бездротовим обладнанням стандарту 802.11i та специфікації WPA2 практично унеможливорює «злам» будь-якої бездротової мережі передачі.

Для підключення й авторизації користувачів застосовують три режими доступу:

- *«Гостьовий» режим* – точка відкрита для підключень користувачів без авторизації. На точку подано фіксований Інтернет-канал, який розділяється серед усіх користувачів, що підключилися. Доступ до корпоративної мережі університету з «гостьових» точок закритий.

- *Режим з авторизації користувачів.* При підключенні до бездротової мережі проводиться перевірка облікового запису користувача в білінговій системі. Зареєстровані користувачі мають можливість доступу до

ресурсів внутрішньої мережі та Інтернет-каналів.

- *«Закриті» точки доступу.* Обслуговують тільки користувачів конкретного підрозділу. Доступ користувачів до бездротової мережі можливий тільки за умови попередньої реєстрації терміналу користувача на точці доступу або при введенні пароля для підключення до бездротової мережі.

Впровадження бездротової технології WI-FI в ЧДТУ як однієї зі складових телекомунікаційної мережі університету ведеться з 2015 р. Сьогодні на території першого корпусу встановлено 18 точок бездротового доступу технології Wi-Fi стандарту 802.11g. Ця технологія використовується для передачі даних з діапазоном частот 2,4–2,48 ГГц та забезпечує швидкість передачі даних до 54 Мб/с на відстані в межах 100 м у закритих приміщеннях та до 300-350 м на відкритому просторі.

Система «Нульовий клієнт». Розглянемо технічні рішення найбільш поширеної платформи Fujitsu Zero Client, яка базується на концепції Virtual Desktop Infrastructure (VDI) – це рішення для створення віртуальних робочих місць, розташованих на сервері, яке поєднує в собі покращений контроль і управління зі звичним для користувачів середовищем настільних комп'ютерів. При використанні VDI кожному користувачеві надається власний екземпляр операційної системи з встановленими додатками. Для користувача робота з віртуальною машиною аналогічна роботі з традиційною робочою станцією: індивідуальна операційна система, встановлені на ній програми, а також свій набір документів, недоступний для інших користувачів.

Рішення на базі нульових клієнтів передбачає зв'язок за допомогою IP-мережі клавіатури, миші, дисплея, аудіосистеми і USB-периферії ПК з Microsoft Windows сесією, яка працює на віртуальному сервері. Fujitsu Zero Client не має власного програмного забезпечення, операційної системи і драйверів. Відсутні, також центральний процесор і пам'ять, але при цьому забезпечується повна функціональність настільного комп'ютера.

Образно кажучи, ПК розділяється на дві частини, які з'єднуються за допомогою IP-мережі. На робочому місці залишається тільки дисплей, клавіатура і миша, а вся обчислювальна потужність розташовується на сервері.

Сполучною ланкою між клієнтами і віртуальними машинами, встановленими на сер-

вері, є Fujitsu Zero Client Manager, що являє собою брокер, який з'єднує клієнтські пристрої з віртуальними машинами користувачів

на сервері. Структуру системи нульових клієнтів Fujitsu зображено на рис. 1.

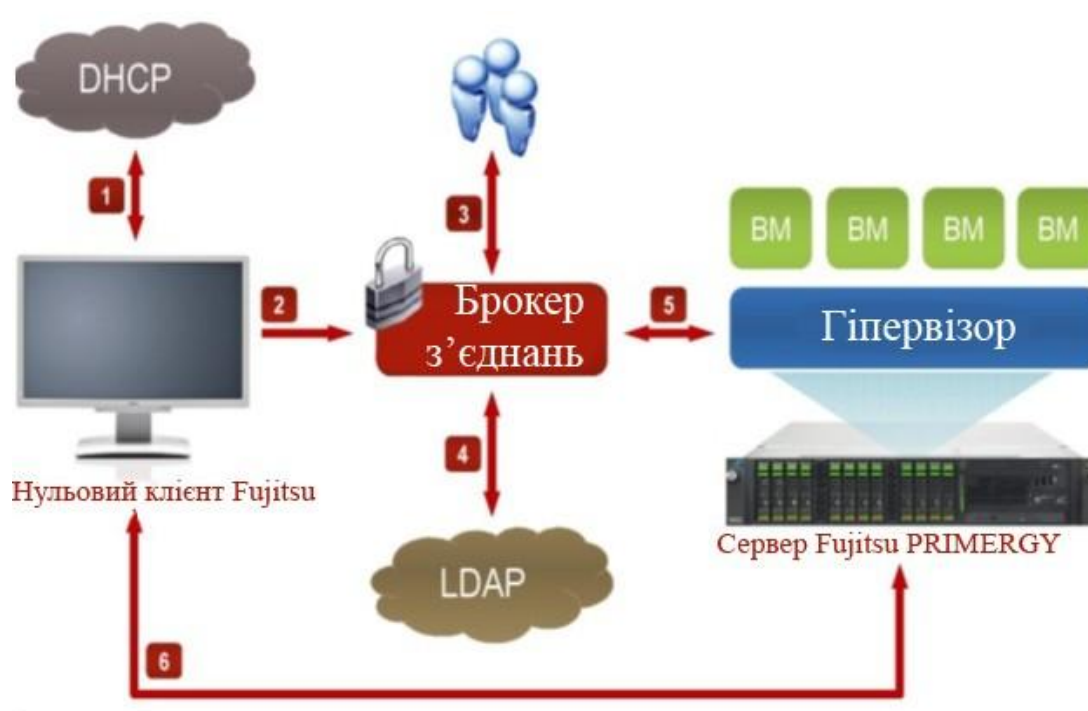


Рис. 1. Структура системи нульових клієнтів Fujitsu

Гіпервізор – програмне забезпечення, що забезпечує і дозволяє одночасне паралельне виконання кількох або навіть багатьох операційних систем на одному і тому ж хост-комп'ютері (сервері). Гіпервізор забезпечує ізоляцію операційних систем одна від одної, захист і безпеку, поділ ресурсів між різними ОС, що функціонують, а також управління ресурсами.

Переваги нульових клієнтів Fujitsu:

- Вартість пристрою зведена до мінімуму: відсутні процесор, диски, оптичний привід, оперативна пам'ять і операційна система.
- Економія більше 30% порівняно з традиційною робочою станцією, а саме: скорочення вартості розгортання; жодних локальних інсталяцій, «Plugandplay», скорочення витрат на електроенергію.
- Ергономічне рішення: живлення забезпечується за допомогою Power over Ethernet (PoE), що дозволяє обійтися без силових кабелів на робочих місцях, а також використовувати нульові клієнти там, де немає електроживлення.

У проєкті планується використання програмного забезпечення компанії VmWare для створення віртуального середовища. Для тер-

мінального доступу буде встановлений VPS на базі ОС MSWindows Server 2016 компанії Microsoft. Для захисту та контролю доступу до віртуального середовища буде встановлено окремий віртуальний сервер з ОС Linux та сервіси захисту доступу.

Нульовий клієнт HPt310 All-in-One дозволяє ефективно використовувати вільний простір, а також економити час і гроші. Ці пристрої оптимізовані для роботи з протоколом PCoIP і забезпечують мінімальні терміни підключення користувачів до мережі VMware. Високопродуктивний пристрій VMware, створений на базі технології Tera 2 PCoIP, забезпечує швидкий час відгуку і мінімальну затримку при передачі зображення, навіть при роботі з ресурсомісткими додатками.

Система «Персональний віртуальний комп'ютер». Система «Персональний віртуальний комп'ютер» (ПВК) – це універсальний засіб доступу для студента в хмару освітніх сервісів ВНЗ. У рамках системи для кожного студента створюється окремий ПВК (віртуальна машина на базі ОС Windows 7) з індивідуальним профілем. Для запуску ПВК студенти використовують особисті ноутбуки, нетбуки або інші пристрої. В результаті, як комп'ютер-

ний клас може бути використана будь-яка навчальна аудиторія ВНЗ з робочими місцями, оснащеними електричними розетками. Заповнення хмари освітніми сервісами здійснюється викладачами, кожен з яких має власний ПВК.

Система ПВК базується на віртуальній серверній інфраструктурі, побудованій за технологією Microsoft Hyper-V ст. Windows Server 2012, який підтримує сервер з 64-розрядним процесором, що підтримує апаратну віртуалізацію. На віртуальній серверній інфраструктурі створена інфраструктура віртуальних робочих столів за технологією

Citrix XenDesktop VDI видання комплексного рішення для віртуалізації, що забезпечує віддалений доступ до корпоративних додатків і десктопів з будь-якого пристрою, що реалізує ідеологію віртуального робочого столу Desktop Virtualization, VDI і працює з системами віртуалізації XenServer, VMware Vsphere або Microsoft Hyper-V.

Принципи роботи системи ПВК зображено на рис. 2. Персональний віртуальний комп'ютер – це універсальний засіб доступу для студента в хмару освітніх сервісів ВНЗ, зображений на рис. 3.

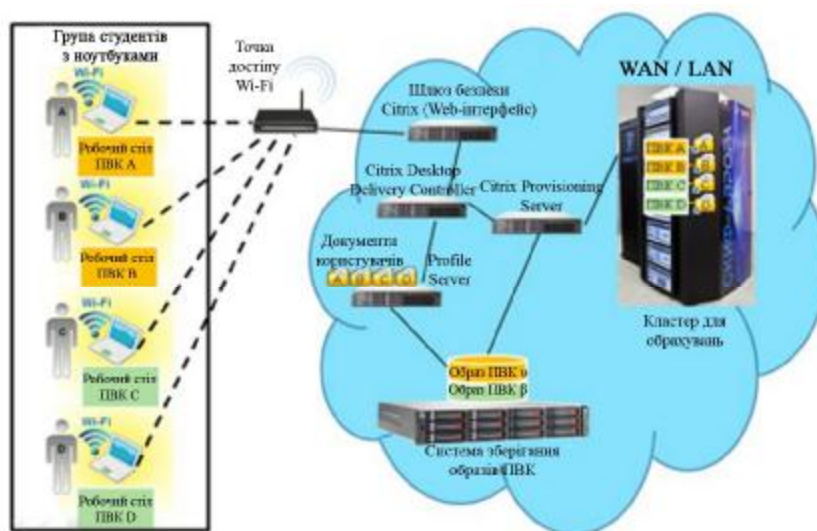


Рис. 2. Принципи роботи системи ПВК

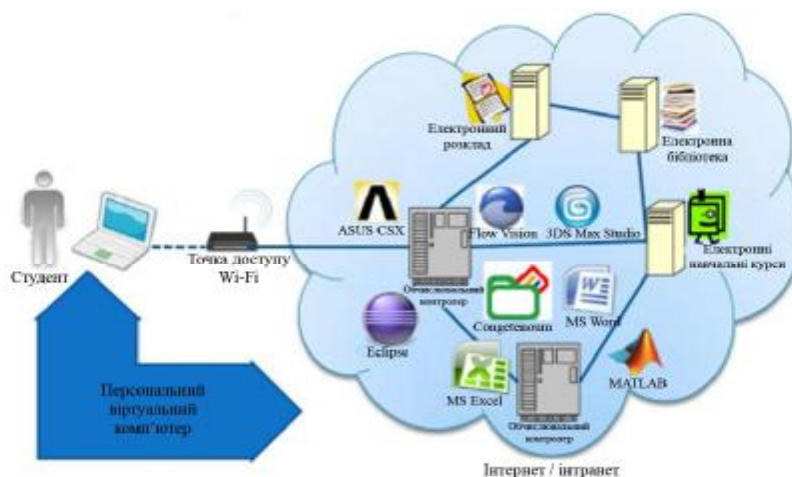


Рис. 3. Персональний віртуальний комп'ютер як універсальний засіб доступу в хмару освітніх сервісів ВНЗ

Освітній сервіс – це електронний освітній ресурс, встановлений у мережі Інтернет/Інтранет, доступ до якого здійснюється

віддалено з пристрою користувача за протоколами HTTP, RDP та ін.

Класифікація освітніх сервісів:

- документи – сховище документів студента, створених у ході навчального процесу за допомогою програм;

- методичні сервіси – це навчально-методичні програми і документи, що недоступні студентам для зміни (електронні навчальні посібники, навчальні програми, комп'ютерні тести тощо);

- програми – програмне забезпечення, необхідне студенту для виконання лабораторних робіт та інших видів навчальних занять (MS Office, MS VisualStudio, Eclipse, ANSYS та ін.).

Технології, які використовуються в проєкті ПВК

- *Служба каталогів MS Active Directory Domain Services* призначена для поєднання об'єктів каталога в єдину систему, забезпечення доступу користувачів до цих об'єктів, забезпечення авторизації користувачів при доступі до ЛВС і ресурсів системи, а також для забезпечення централізованого керування налаштуваннями ПВК.

- *Поштова система MS ExchangeServer* надає єдине інформаційне середовище системи ПВК. Користувачами поштової системи є викладачі та студенти. Робота поштової системи базується на сервісах ActiveDirectory, надаючи кожному з користувачів засоби планування (календарі, завдання) і поштове середовище [2].

- *СУБД MS SQL Server* забезпечує керування базами даних системи ПВК, в тому числі базами даних MS ExchangeServer, System Center Configuration Manager, System CenterOperation Manager тощо.

- *MS System Center Virtual Machine Manager* призначена для керування інфраструктурою віртуальних машин системи ПВК на основі платформи віртуалізації MicrosoftHyper-V Server R2 і дозволяє спростити розгортання віртуальних систем з централізованою бібліотекою шаблонів.

- *Сервер віртуалізації додатків MS App-V* дозволяє скоротити обсяг диска віртуальних машин шляхом перетворення додатків на служби MS за технологією App-V. Крім того, ця технологія дозволяє централізовано керувати програмами та встановлювати їх за допомогою кінцевого користувача.

- *Система віртуалізації робочих станцій CitrixXenDesktop* забезпечує централізований запуск і доставку віртуальних робочих станцій як послугу через Інтернет.

- *CitrixProvisioningServices* – програмний продукт, що дозволяє завантажувати віртуальні машини з образу, розташованого на системі зберігання даних. Для роботи використовуються сервіси ActiveDirectory, SQL Server, TFTP, DHCP. ProvisioningServices забезпечує доставку вмісту одного стандартного віртуального диска на будь-яку кількість віртуальних робочих станцій, використовуючи технологію потокової доставки [3].

- *Конфігурація MS System Center Manager*. За допомогою засобів SCCM забезпечується відповідність системи ПВК заданої конфігурації, що дозволяє підвищити доступність, безпеку і продуктивність програм у системі. Також SCCM дозволяє встановлювати додатки і оновлення на персональні віртуальні комп'ютери [1].

Єдина мережа кластеру розділена на кілька логічних доменів спеціальної широкої передачі за допомогою технології VLAN [7], що дозволяє не допускати несанкціонований доступ з мережі віртуальних машин у сервісну мережу системи.

ПВК може надати студентам і викладачам доступ до таких освітніх сервісів:

1. Методичні сервіси:

- середовище електронного навчання і тестування Competentum;

- електронна бібліотека;

- електронний розклад;

- електронні навчальні курси.

2. Документи.

3. Програмне забезпечення:

- Продукти Microsoft (Office, Visual Studio, Visio, Expression Studio та ін.);

- IBM Rational System Architect;

- MikTeX;

- Eclipse;

- CAD/CAM/CAE, LS-DYNA, Ansys, Abaqus, Deform, MatLab, FlowVision, 3ds Max.

Основні технологічні тенденції створення та використання інформаційно-освітнього середовища в технічному університеті. До основних сучасних технологічних тенденцій відносять:

- віртуалізацію і «хмарні» обчислення: більш ефективне використання ресурсів і введення додатків для роботи на віддалених комп'ютерах в режимі оренди або аутсорсингу;

- розширення використання сервіс-орієнтованих архітектур як для реалізації окремих завдань у вигляді сервісів, так і для інтеграції додатків;

- експансію планшетів, появу на ринку «ультрабука» від Intel і пристроїв Microsoft Surface: впровадження мобільних пристроїв і вирішення на корпоративному рівні, щоб отримати доступ до ресурсів і виконання корпоративних додатків;

- посилення диференціації переваг користувача: збільшується кількість молодих людей, які віддають перевагу планшетах і смартфонам як основному засобу для роботи та доступу в Інтернет замість традиційного персонального комп'ютера;

- візуалізацію, вебінари і відеоконференц-зв'язок: поява доступних 2D- і 3D-інструментів для візуалізації процесів і поведінки об'єктів, у тому числі у веб-середовищі, розширення застосування вебінарів і відеоконференц-зв'язку в освітній діяльності;

Висновки. У статті розглядаються питання створення інформаційно-освітнього середовища технічного університету, яке базується на системах нульового клієнта та персонального віртуального комп'ютера. Запропоновано технічні рішення побудови інфраструктури віртуальних робочих місць (Virtual Desktop Infrastructure, VDI) з використанням нульових клієнтів та системи персонального віртуального комп'ютера для створення інформаційно-освітнього середовища в Черкаському технологічному університеті.

Список літератури

1. Крюков В. В. Информационные технологии в университете: стратегия, тенденции, опыт / В. В. Крюков, К. И. Шахгельдян // Университетское управление: практика и анализ. – 2012. – № 4. – С. 101–112.
2. Хмарні обчислення проти розподілених обчислень: сучасні перспективи / Ю. О. Бабій, В. П. Нездоровін, Є. Г. Махрова, Л. П. Луцкова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 6. – (Серія «Технічні науки»).
3. Яковичський І. Л. Технологія «хмарних обчислень» як інструмент створення інформаційної інфраструктури управління / І. Л. Яковичський. // Комунальне господарство міст. – 2012. – Вип. 102. – (Серія «Економічні науки»).
4. Шишкіна М. П. Перспективні технології розвитку систем електронного навчання / М. П. Шишкіна // Інформаційні технології в освіті. – 2011. – № 10. – С. 132–139.

5. Биков В. Ю. Хмарні технології, ІКТ-аутсорсинг і нові функції ІКТ підрозділів освітніх і наукових установ / В. Ю. Биков // Інформаційні технології в освіті. – 2011. – № 10.
6. Сейдаметова З. С. Хмарні сервіси в освіті / З. С. Сейдаметова, С. Н. Сейтвелієва // Інформаційні технології в освіті. – 2011.
7. Риз Дж. Облачные вычисления / Дж. Риз; пер. с англ. – С.Пб. : БХВ-Петербург, 2011. – 288 с.
8. Орлов С. Хмарні сервіси: безпека і надійність [Електронний ресурс] / С. Орлов // Журнал мережевих рішень LAN. – 2012. – № 12. – Режим доступу : <http://www.osp.ru/lan/2012/12/13033028/>
9. Модель і принципи побудови прототипу інформаційної системи доступу до повнотекстової інформації та електронних каталогів вузівських бібліотек в межах єдиного Інтернет-ресурсу / В. М. Саух, Л. П. Оксамитна, Т. В. Фесенко, С. О. Поздняков // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2014. – № 1. – С. 28–35.
10. Саух В. М. Сервіс-орієнтована модель електронно-бібліотечної системи ЧДТУ на базі хмарних обчислень / В. М. Саух, Т. В. Фесенко // Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – № 2. – С. 57–63

References

1. Kriukov, V. V. and Shakhheldian, K. I. (2012) Information technologies in university: strategy, tendencies, experience. *Universitetskoye upravleniye: praktika i analiz*, (4), pp. 101–112 [in Russian].
2. Babii, Yu. O., Nezdorovin, V. P., Makhrova, Ye. H. and Lutsкова, L. P. (2011) Cloud computing versus distributed computing: modern prospects. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tehnichni nauky*, No. 6 [in Ukrainian].
3. Yakovytskyi, I. L. (2012) Technology of "cloud computing" as a tool of the creation of management information infrastructure. *Komunalne hospodarstvo mist. Seriya: Ekonomichni nauky*, No. 102 [in Ukrainian].
4. Shyshkina, M. P. (2011) Advanced technologies of e-learning systems. *Informatsijni tehnologiyi v osviti*, No. 10, pp. 132–139 [in Ukrainian].

5. Bykov, V. Yu. (2011) Cloud technologies, ICT outsourcing and new functions of ICT divisions of educational and scientific institutions. *Informatsijni tehnologiyi v osviti*, No. 10 [in Ukrainian].
6. Seidametova, Z. S. and Seitvelieva, S. N. (2011) Cloud services in education. *Informatsijni tehnologiyi v osviti*, No. 10 [in Ukrainian].
7. Riz, Dzh. (2011) Cloud computing. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 288 p. [in Russian].
8. Orlov, S. (2012) Cloud services: security and reliability. *Zhurnal merezhevyh rishen LAN*, No. 12, available at: <http://osp.ru/lan/2012/12/13033028/>
9. Saukh, V. M., Oksamytna, L. P., Fesenko, T. V. and Pozdniakov, S. O. (2014) The model and principles of prototype construction of access information system to full-text information and electronic catalogues of HEI's libraries within a single Internet-resource. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, No. 1, pp. 28–35 [in Ukrainian].
10. Saukh, V. M. and Fesenko, T. V. (2015) Service-oriented model of ChSTU electronic library system on the basis of cloud computing. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, No. 2 [in Ukrainian].

V. M. Saukh, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: maxsoft@i.ua

L. P. Oksamytna, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: barchat_08@mail.ru

V. O. Andriienko, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: andrienko22@ukr.net

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

INFORMATION-EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF TECHNICAL UNIVERSITY, TOOLS AND TECHNOLOGIES OF REALIZATION

The article is devoted to the creation of information-educational environment and electronic campus in technological HEI's educational process which is based on the systems of zero client and , personal virtual computer. Conceptual approach to the creation of information-educational environment is considered by the experience of Cherkasy State Technological University (Engineering University). Modern tools and technologies of the realization of information-educational environment of engineering university are considered in the article. These developments can be used in the implementation of modern information technologies in HEI's educational process.

Technical decisions of the construction of Virtual Desktop Infrastructure using the systems of zero client and personal virtual computer to create information-educational environment in Cherkasy State Technological University are offered.

Keywords: *information-educational environment, cloud technologies, virtual environment, zero client, personal virtual computer.*

Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н., професор,
В. С. Антонюк, д.т.н., професор.

Т. В. Миронюк, старший викладач

Черкаський державний технологічний університет,

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

e-mail: tanjamiron85@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ОПЕРАЦІЙ БАЗОВОЇ ГРУПИ ПЕРЕСТАНОВОК, КЕРОВАНИХ ІНФОРМАЦІЄЮ

В статті представлені результати дослідження базових операцій криптоперетворення, що утворюють базову групу операцій перестановок, керованих інформацією. За результатами проведеного обчислювального експерименту було отримано базову групу операцій перестановок, керованих інформацією, та побудовано для неї дискретні моделі представлення операцій. У ході аналізу одержаних результатів експерименту виявлено залежності для основних елементів операцій та визначено, що базову групу операцій криптографічного перетворення можуть утворювати лише ті операції криптографічного перетворення, в яких значення основних елементів по діагоналі дорівнює 2^3 варіантам.

Ключові слова: базова операція, група базових операцій перестановок, керована інформацією, дискретна модель, матриця інверсії, матриця доповнення, основний елемент.

Постановка проблеми. Протягом багатьох років криптографія слугувала виключно військовим цілям. Сьогодні звичайні користувачі отримали можливість звертатися до засобів, які дозволяють їм захистити себе від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації, застосовуючи методи комп'ютерної криптографії.

Захист інформації за допомогою шифрування є одним із найнадійніших шляхів вирішення її безпеки, оскільки зашифрована інформація стає доступною лише для того, хто знає, як її розшифрувати, і абсолютно безглуздою для несанкціонованого користувача.

У цій статті обмежимося дослідженням синтезу лише однієї базової групи трирозрядних елементарних операцій перестановки, керованих інформацією, для криптографічного перетворення.

Аналіз останніх досліджень. Серед останніх досліджень і публікацій варто виділити: [1], де проведено класифікацію трирозрядних елементарних функцій для криптографічного перетворення інформації; [2], де проведено синтез множин моделей спеціалізованих трирозрядних логічних функцій і здійснено групування моделей трирозрядних логічних функцій для криптографічного перетворення за обраними критеріями; [3], де введено твердження для елементарних функцій перестановок, керованих інформацією; [4], де для подальшого дослідження визначено групу елементарних функцій мінімальної складнос-

ті; [5], де отримано визначення для прямих та інверсних елементарних функцій, керованих інформацією, визначено базові операції та базові групи операцій для криптографічного перетворення.

Проте в цих дослідженнях не вивчалася можливість практичної реалізації базових операцій перестановок, керованих інформацією.

Метою дослідження є визначення та аналіз елементарних операцій базової групи операцій перестановок, керованих інформацією.

Виклад основного матеріалу. Для виділення та отримання з визначених базовими операціями криптографічного перетворення базових груп скористаємося обчислювальним експериментом.

Для цього наведемо як приклад експериментально отриману базову групу операцій криптоперетворення для кодування та декодування функцій у вигляді табл. 1.

Представлена в табл. 1 група операцій є прикладом базової групи операцій криптографічного перетворення для кодування та декодування, визначеної внаслідок обчислювального експерименту.

Повна множина базових груп операцій криптографічного перетворення, визначених внаслідок обчислювального експерименту, які утворюють математичну групу операцій, становить 764 базові групи операцій.

Таблиця 1

Базова група операцій криптографічного перетворення

Група операцій	кодування	92 46 27	53 71 27	83 29 39	58 29 78	58 116 39	53 46 114	92 71 114	83 116 78
	декодування	83 116 78	83 29 39	53 71 27	53 46 114	92 71 114	58 29 78	58 116 39	92 46 27

Кожна визначена базова група операцій криптографічного перетворення має свій порядковий номер, а елементарні операції для кодування та декодування, що відповідають базовим групам операцій, позначені кодами функцій [4].

Для подальших досліджень трирозрядних операцій криптографічного перетворення представимо основні елементарні функції у такому вигляді [6]:

$$\begin{aligned} & f_m^{(1)}(x_1, x_2, x_3), \\ & f_m^{(2)}(x_1, x_2, x_3), \\ & f_m^{(3)}(x_1, x_2, x_3) \end{aligned} \quad - \text{це функції перетво-}$$

рення першого, другого та третього розряду інформації відповідно, що являють собою дискретні логічні функції; m – це код функції перетворення, що застосовується; x_1, x_2, x_3 – значення першого, другого, третього розрядів інформації відповідно.

Відомо, що $x_1, x_2, x_3 \in \{0;1\}$, а відповідно і значення дискретних логічних функцій

$$f_m^{(1)}, f_m^{(2)}, f_m^{(3)} \in \{0;1\}.$$

Оскільки операції криптографічного перетворення синтезуються на основі вибраних

елементарних функцій, то їх можна представити у вигляді композиції відповідних функцій перетворення:

$$F_{1,2,3} = (f_m^{(1)}, f_m^{(2)}, f_m^{(3)}).$$

Звідси випливає, що елементарні функції $f_m^{(1)}, f_m^{(2)}, f_m^{(3)}$ утворюють операцію криптографічного перетворення.

Виконавши дослідження операцій криптографічного перетворення, з яких утворюється базова група операцій криптографічного перетворення, було визначено, що множину елементарних функцій, які утворюють операції, можливо використовувати як для перетворення, так і для оберненого перетворення відповідно. Надалі будемо називати такі відповідні пари криптографічною операцією перетворення F^k та криптографічною операцією оберненого перетворення F^d інформації відповідно.

Представимо, відповідно до визначених позначень, базові групи операцій криптографічного перетворення в явному вигляді.

Розглянемо представлену в табл. 1, визначену внаслідок обчислювального експерименту групу операцій криптоперетворення в такому вигляді:

1. $F_{92,46,27}^k = (f_{92}^{(1)}, f_{46}^{(2)}, f_{27}^{(3)}) \Rightarrow F_{83,116,78}^d = (f_{83}^{(1)}, f_{116}^{(2)}, f_{78}^{(3)})$
2. $F_{53,71,27}^k = (f_{53}^{(1)}, f_{71}^{(2)}, f_{27}^{(3)}) \Rightarrow F_{83,29,39}^d = (f_{83}^{(1)}, f_{29}^{(2)}, f_{39}^{(3)})$
3. $F_{83,29,39}^k = (f_{83}^{(1)}, f_{29}^{(2)}, f_{39}^{(3)}) \Rightarrow F_{53,71,27}^d = (f_{53}^{(1)}, f_{71}^{(2)}, f_{27}^{(3)})$
4. $F_{58,29,78}^k = (f_{58}^{(1)}, f_{29}^{(2)}, f_{78}^{(3)}) \Rightarrow F_{53,46,114}^d = (f_{53}^{(1)}, f_{46}^{(2)}, f_{114}^{(3)})$
5. $F_{58,116,39}^k = (f_{58}^{(1)}, f_{116}^{(2)}, f_{39}^{(3)}) \Rightarrow F_{92,71,114}^d = (f_{92}^{(1)}, f_{71}^{(2)}, f_{114}^{(3)})$
6. $F_{53,46,114}^k = (f_{53}^{(1)}, f_{46}^{(2)}, f_{114}^{(3)}) \Rightarrow F_{58,29,78}^d = (f_{58}^{(1)}, f_{29}^{(2)}, f_{78}^{(3)})$

$$7. F_{92,71,114}^k = (f_{92}^{(1)}, f_{71}^{(2)}, f_{114}^{(3)}) \Rightarrow F_{58,116,39}^d = (f_{58}^{(1)}, f_{116}^{(2)}, f_{39}^{(3)})$$

$$8. F_{83,116,78}^k = (f_{83}^{(1)}, f_{116}^{(2)}, f_{78}^{(3)}) \Rightarrow F_{92,46,27}^d = (f_{92}^{(1)}, f_{46}^{(2)}, f_{27}^{(3)})$$

Якщо розписати кожен елементарну модель представлення криптографічних операцій, то отримаємо дискретну модель представлення криптографічних операцій, що матиме такий вигляд:

$$F_{92,46,27}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot x_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{83,116,78}^d = \begin{bmatrix} x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$F_{53,71,27}^k = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot x_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{83,29,39}^d = \begin{bmatrix} x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$F_{83,29,39}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{53,71,27}^d = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot x_3 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$F_{58,29,78}^k = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{53,46,114}^d = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$F_{58,116,39}^k = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{92,71,114}^d = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$F_{53,46,114}^k = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{58,29,78}^d = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$F_{92,71,114}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{58,116,39}^d = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot \bar{x}_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$F_{83,116,78}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ \bar{x}_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \cdot x_3 \end{bmatrix} \Rightarrow F_{92,46,27}^d = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \cdot x_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot \bar{x}_3 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \vee x_2 \cdot x_3 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Однак для визначення базових груп операцій криптографічного перетворення представлені за допомогою такої дискретної моделі елементарні операції є складними для розуміння. Тому, представимо визначені операції криптографічного перетворення за допомогою дискретної моделі, яка утворюється поєднанням матриць перестановки й доповнення. Значення основного розряду інформації

елементарної функції для такого типу дискретної моделі визначається за станом, в якому він знаходиться в першому розряді елементарної функції.

Для подальшого дослідження представимо групу операцій для криптоперетворення за допомогою дискретної моделі, що представляється у вигляді поєднання двох матриць (матриці перестановки та матриці доповнення).

$$F_{92,46,27}^k = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{0} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{83,116,78}^d = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$F_{53,71,27}^k = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{0} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{83,29,39}^d = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$F_{83,29,39}^k = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{53,71,27}^d = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{0} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$F_{58,29,78}^k = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{0} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{53,46,114}^d = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$F_{58,116,39}^k = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{92,71,114}^d = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$F_{53,46,114}^k = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{58,29,78}^d = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{0} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$F_{92,71,114}^k = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{58,116,39}^d = \begin{bmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$F_{83,116,78}^k = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{0} & \underline{1} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} \Rightarrow F_{92,46,27}^d = \begin{bmatrix} \underline{1} & \underline{0} & \underline{1} \\ \underline{1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{1} & \underline{1} & \underline{0} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

де $\underline{0}$ або $\underline{1}$ – значення основного елемента елементарної операції в прямому або інверсному значенні; 0 або 1 – значення додаткового елемента елементарної операції, який знаходиться в прямому значенні, що позначено «1», або інверсному значенні, що відповідає «0».

Розглянувши базову групу операцій криптографічного перетворення, представлену вище у вигляді дискретної моделі, було визначено наступні залежності для основних елементів операцій:

$$F_{92,46,27}^k = x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0 \Rightarrow F_{83,116,78}^d = x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 0,$$

$$F_{53,71,27}^k = x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 0 \Rightarrow F_{83,29,39}^d = x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 1,$$

$$F_{83,29,39}^k = x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 1 \Rightarrow F_{53,71,27}^d = x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 0,$$

$$F_{58,29,78}^k = x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0 \Rightarrow F_{53,46,114}^d = x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 1,$$

$$F_{58,116,39}^k = x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 1 \Rightarrow F_{92,71,114}^d = x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1,$$

$$F_{53,46,114}^k = x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 1 \Rightarrow F_{58,29,78}^d = x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0,$$

$$F_{92,71,114}^k = x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1 \Rightarrow F_{58,116,39}^d = x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 1,$$

$$F_{83,116,78}^k = x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 0 \Rightarrow F_{92,46,27}^d = x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0.$$

Дослідивши отримані залежності, можна зробити висновок, що значення по діагоналі основних елементів операцій криптографічного перетворення, які входять до досліджуваної групи, утворює вісім варіантів операцій, тобто 2^3 варіантів. Звідси можна зробити припущення, що базову групу операцій криптографічного перетворення можуть утворювати лише ті операції криптографічного перетворення, в яких значення основних елементів по діагоналі дорівнює 2^3 варіантам.

Висновки. За результатами проведеного обчислювального експерименту визначено базові операції, що входять до базової групи операцій перестановок, керованих інформацією.

В результаті представлення групи базових операцій у вигляді дискретних моделей було визначено залежності для основних елементів операцій.

У ході аналізу одержаних результатів було виявлено, що базову групу операцій криптографічного перетворення можуть утворювати лише ті операції криптографічного перетворення, в яких значення основних елементів по діагоналі дорівнює 2^3 варіантам.

Список літератури

1. Бабенко В. Класифікація трирозрядних елементарних функцій для криптографічного перетворення інформації / В. Бабенко, О. Мельник, Р. Мельник. // Безпека інформації. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 56–59.
2. Рудницький С. В. Криптографическое преобразование информации на основе трехразрядных логических функций / С. В. Рудницький, Р. П. Мельник, В. В. Веретельник // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – № 4 (22). – С. 119–122.
3. Миронюк Т. В. Синтез елементарних функцій перестановок, керованих інформацією / Т. В. Миронюк, О. Г. Мельник // Інформаційні технології в освіті, науці й техніці (ІТОНТ-2014) : зб. тез. доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., (Черкаси, 24-26 квітня). – Черкаси : ЧДТУ, 2014. – С. 147–148.
4. Синтез елементарних функцій перестановок, керованих інформацією / В. М. Рудницький, Т. В. Миронюк, О. Г. Мельник, В. П. Щербина // Безпека інформації. – Т. 20, № 3. – К. : НАУ, 2014. – С. 242–247.
5. Криптографическое кодирование : [колл. монография] / под ред. В. Н. Рудницького, В. Я. Мильчевича. – Харьков : Изд-во «Щедрая усадьба плюс», 2014. – 240 с.
6. Бабенко В. Г. Дослідження способів запису трьохрозрядних криптографічних операцій / В. Г. Бабенко, Р. П. Мельник, С. В. Рудницький // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. праць. – Вип. 1 (21), т. 2. – К. : Центр. наук.-досл. ін-т навігації і управл., 2012. – С. 170–173.

References

1. Babenko, V., Melnyk, O. and Melnik, R. (2013) Classification of three digit basic functions for cryptographic transformation of information. *Bezpeka informatsiyi*, 19 (1), pp. 56–59 [in Ukrainian].
2. Rudnytsky, S. V., Melnyk, R. P. and Veretelnik, O. V. (2012) Cryptographic transformation of information based of three digit logical functions. *Vektor nauki Toliattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 4 (22), pp. 119–122 [in Russian].
3. Myronyuk, T. V. and Melnyk, O. H. (2014) Synthesis of permutations elementary functions controlled by information. *Informatsijni tehnologiyi v osviti, nauci j tehnitsi (ITONT-2014): conf. proceedings of the II Internat. scient.-pract. conf. (Cherkasy, April 24-26).*- Cherkasy: ChDTU, pp. 147–148 [in Ukrainian].
4. Rudnytsky, V. M., Myronyuk, T. V., Melnyk, O. H. and Scherbina, V. P. (2014) Synthesis of elementary transposition functions controlled by information. *Bezpeka informatsiyi*, 20 (3), pp. 242–247 [in Ukrainian].
5. Cryptographic coding: collective monograph (2014). In: V. N. Rudnicki, V. Ya. Milchevich. Kharkov: Izd-vo "Schedraya usadba plus", 240 p. [in Russian].
6. Babenko, V. G., Melnyk, R. P. and Rudnytsky, S. V. (2012). Investigation of recording of three digit cryptographic operations. *Systemy upravlinnya, navigatsiyi ta zvyazku: collection of scientific works*, 1 (21), pp. 170–173 [in Ukrainian].

T. V. Myronyuk, *senior lecturer*
Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: tanjamiron85@gmail.com

DEFINITION OF ELEMENTARY OPERATIONS OF CORE GROUP PERMUTATIONS, CONTROLLED BY INFORMATION

Introduction. Over the years, cryptography served to only military targets. Today ordinary users have the opportunity to use tools that allow them to protect themselves from unauthorized access to confidential information using methods of computer cryptography.

Data protection with the use of encryption is one of the most reliable ways to address its security as encrypted information is available only for those who know how to decipher it.

The purpose of scientific work. The objective of this research is to identify and analyze elementary operations which consist of basic operations of permutations, controlled by information.

Formulation of the problem. In modern printed editions special attention is given to the use of three digit matrix operations of cryptographic transformations and based on these algorithms resources for information protection. However, in these studies, no analysis of the operations of permutations, controlled by information, is performed for encoding and decoding of the information.

Summary of the main part. The article presents the results of research of basic cryptographic operations that form the core group of permutations operations, controlled by information. After the results of numerical experiment the core group of permutations operations, controlled by information, is received and discrete models of operations representation are constructed. During the analysis of the results of the experiment dependences for basic elements of operations are revealed.

Conclusions. It is determined that the core group of cryptographic transformation operations can be formed only by those cryptographic transformation operations in which the value of the main elements diagonally is equal to 2^3 options.

Keywords: basic operation, group of basic operations of permutations, controlled by information, discrete model, inversion matrix, addition matrix, main element.

Рецензенти: С.В. Голуб, д.т.н., професор,
В. М. Рудницький, д.т.н., професор

ДО 20-РІЧЧЯ ЗАСНУВАННЯ «ВІСНИКА ЧІТІ – ЧДТУ»

ГАЛИНА МИКОЛАЇВНА ДУБРОВСЬКА
ТА ЇЇ НАУКОВА ШКОЛА

Галина Миколаївна Дубровська – кандидат хімічних наук, професор, керівник міжкафедральної навчально-дослідної лабораторії матеріалознавства – працювала в стінах нашого вишу більше 20 років. Вона відзначалася винятковою працездатністю, високою вимогливістю до себе, до співробітників, до результатів наукових досліджень, а також умінням чітко формулювати наукові задачі та шляхи їх розв'язання. Яскрава і неординарна людина, талановитий вчений, вона користувалася великим авторитетом та повагою у науковому світі.

Галина Миколаївна народилася 11 жовтня 1935 р. в селищі Бурдалик, Туркменістан. У 1958 р. закінчила Московський інститут тонкої хімічної технології за спеціальністю «Хімія рідкісних та рідкоземельних елементів», була направлена на роботу в м. Київ – в «Інститут металокераміки та спеціальних сплавів» Академії наук України у відділ тугоплавких сполук, який очолював відомий вчений, член-кореспондент Академії наук СРСР, доктор технічних наук, професор Г. В. Самсонов. У 1967 р. захистила кандидатську дисертацію на тему «Дослідження процесу одержання та властивостей сульфідів Ti, Zr, Hf та Th». З 1964 по 1986 рр. Г. М. Дубровська працювала в Білоруському НВО порошкової металургії та Білоруському політехнічному інституті. У 1986 р. Міністерством освіти СРСР була переведена в Черкаський філіал політехнічного інституту, де була обрана за конкурсом старшим науковим співробітником (доцентом). З 1987 р. в Черкаському філіалі Київського політехнічного інституту (згодом в Черкаському державному технологічному університеті) Г. М. Дубровська створила і очолила лабораторію структурного аналізу, яка з 2001 р. набула статусу міжкафедральної навчально-дослідної лабораторії матеріалознавства

(МНДЛМ). З 1999 р. Галина Миколаївна суміщала посаду професора кафедри фізики та завідувача цієї лабораторії. Основні наукові результати лабораторії матеріалознавства доповідалися на наукових конференціях різних країн (Україна, Росія, США, Німеччина, Білорусь).

Історія розвитку та становлення наукової школи професора Г. М. Дубровською почалася з її студентських наукових робіт з хімії рідкісних та розсіяних металів. У 1960 – 1970-ті роки основними питаннями її наукової роботи були закономірності процесів технології отримання та дослідження властивостей композиційних порошків і покриттів на основі тугоплавких металів та сполук. У цей період науковцями під її керівництвом ретельно вивчалися фізико-хімічні процеси і термодинамічні характеристики в технології отримання порошків дисперсно-зміцнених сплавів W-ZrO₂-La₂O₃ та композиційних покриттів Al₂O₃-TiO₂-La₂O₃, властивості легованих металевих порошків (Fe, Co, Ni) та механізми їх взаємодії з хлоракогелями Nb та Ta; досліджувались умови отримання, фазовий склад і стабільність структури порошків дисперсно-зміцненого W та Mo, отриманих селективним відновленням гідрооксидів.

Починаючи з 1980 р., основною тематикою досліджень Галини Миколаївни були теоретичні та експериментальні розробки методу газофазного осадження тонких (менших 1 мкм) тугоплавких покриттів на основі нітридів титану та цирконію. Результати досліджень були опубліковані в журналі "Powder Metallurgy International Voe" [1].

З кінця 1980-х основним напрямом її наукової діяльності стало розроблення високоефективних методик дослідження поверхневих властивостей і структури, границь контакту фаз різної фізико-хімічної природи (скло, ситал, п'єзокераміка, порошки карбідів, нітридів, оксиди, металополімери, композиції на основі тугоплавких сполук та ін.).

Г. М. Дубровська завжди турбувалася про виховання генерації нових науковців. Можна стверджувати, що багатогранність її особистості відбилася на особливостях її наукового пошуку і діяльності очолюваного нею напрямку, в руслі якого захистили дисертаційні дослідження два доктори і шість кандидатів технічних наук.

З перших днів роботи у вищій школі Галина Миколаївна вмilo поєднувала наукову діяльність з педагогічною, зокрема читала лекції з курсів «Теорія технологічних процесів», «Основи хроматографії», «Системи сучасних технологій», «Основи сучасних технологій».



Наукові здобутки професора Г. М. Дубровської відображені у більш ніж 300 наукових працях, 5 монографіях, 20 авторських свідоцтвах, 8 патентах на винахід. Монографія «Газофазне осадження покриттів з нітриду титану» отримала визнання як в Україні, так і за кордоном.

Галина Миколаївна входила до складу редакційної колегії «Вісника Черкаського інженерно-технологічного інституту» – «Вісника Черкаського державного технологічного університету».

Оцінкою її досягнень є почесні нагороди: бронзова медаль ВДНГ СРСР за досягнуті успіхи в розвитку народного господарства (1972 р.); медаль «Pitcon-97» (Атланта, США) за високий технічний і науковий рівень розробок; почесна грамота Черкаської обласної ради (2005 р.); диплом III ступеня міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології машинобудування та сучасність»; державна стипендія видатним діячам освіти (2005 р.); почесна грамота найкращому винахіднику та раціоналізатору по Черкаській області та посвідчення члена Черкаського регіонального відділення Українського матеріалознавчого товариства (2007 р.).

Визначною рисою Г. М. Дубровської в науковій творчості було прагнення до вищого рівня в теорії та експерименті. Широкий науковий світогляд і ерудиція, доброзичливість та пристрасна захопленість новими науковими ідеями зробили її осередком наукової школи, до якого прагнули і студенти, і молоді вчені, і досвідчені науковці.

Основні публікації Г. М. Дубровської:

1. Dubrovskaya G. M., Roman O. V., Kirilyuk L. M., Anikeev A. I. On the nucleation process and kinetics of chemical vapour deposition of titanium nitride // Powder Metallurgy International. – 1981. – 13, № 4. – P. 192–194.

2. Дубровская Г. Н., Кирилук Л. М., Витязь П. А. Газофазное осаждение покрытий из нитрида титана : монография. – БССР : Наука и техника, 1983. – 96 с.

3. Дубровская Г. Н., Роман П. А., Витязь П. А., Кирилук Л. М. Формирование тонких тугоплавких покрытий, их свойства и области применения

// Сб. трудов Европейской конференции "IVCVD", Нидерланды. – 1983. – Т. 1.

4. Дубровская Г. Н., Кунцевич И. Е. Определение свинца в организме человека методом беспламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии // Здравоохранение Белоруссии. – 1984. – № 1.

5. Дубровская Г. Н. Исследование лазерного взаимодействия с Ме-оксидами, используемыми в новых технологиях // Сб. трудов Международного симпозиума "NALT"-92, Зеленоград, 14-18 сентября 1992 г.

6. Дубровская Г. Н. Методика препарирования дисперсных порошков для электронно-микроскопических исследований // Заводская лаборатория. – 1994. – № 7, т. 60. – 80 с.

7. Дубровська Г. М., Биков В. І., Губар Є. Я. Порошкові матеріали та технологія одержання газотермічних покриттів для деталей двигунів машин та механізмів // Вісті АНУ. – 1995. – № 1.

8. Дубровская Г. Н., Канашевич Г. В., Котляр А. В., Божко Н. И. Исследование межфазных слоев и тонких металлических покрытий на подложках В8 и К108 с ЭЛО-поверхностями // Сборник трудов Украинского вакуумного общества (Харьков). – 1996. – С. 218–222.

9. Vashchenko V. A., Dubrovskaya G. N., Kanashevich G. V., Pozdeev S. V. Optical properties of the substrates from glasses after low-energy electron-beam treatment // ISVTE-4 and ISDF-4, Charkiv, 20-25.09.1999.

10. Дубровская Г. Н., Олексенко Н. В., Божко Н. И. Изучение стабилизации структуры и сплава карбид бора-связка Ti-Ni-Mo // Поверхность (РАН). – 2000. – № 2.

11. Дубровська Г. М., Колінько С. О., Ковтуненко В. С., Іваніцький В. П. Формування наноструктури аморфних плівок As_xSe_{100-x} та Ge_xSb_{100-x} в умовах дискретного термічного напilenня // Український фізичний журнал. – 2000. – № 9, т. 45. – С. 1078.

12. Dubrovskaya G. M., Butenko T. I. Mass-spectrometric definition of changing the elemental formulation of surface layer of frictional composites under rubbing G.I.T. // Laboratory Journal. – 2001. – V. 5, № 6. – P. 274–275.

13. Дубровская Г. Н., Губарь Е. Я., Частокленко И. П. Оптимизация режимов напыления плазменных покрытий на основы самофлюсующихся сплавов с добавлениями гидридов-интерметаллидов Zr и Hf // Порошковая металлургия. – 2002. – № 1/2. – С. 40–46.

14. Дубровская Г. Н., Корниенко С. В., Олексенко Н. В., Бутенко Т. И. Компьютерное моделирование переходной зоны карбид-связка в системе (Ti-Mo-C) // Поверхность. – 2004. – № 3. – С. 120–123.

ВІСНИК
Черкаського державного технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

2 • 2016

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY

2 • 2016

Статті друкуються в авторській редакції

Технічний редактор Костенко О. А.

Коректура Костенко Т. В.

Комп'ютерна обробка Костенко О. А., 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 Третьяков О. М.
вул. Слави, 1, м. Черкаси, 18000.