

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія : Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

4/2016

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
<https://chdtu.edu.ua>

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

ЗАСНОВНИК –
Черкаський державний
технологічний університет

4 • 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 № 6
від 15.12.2016 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”, № 4, 2016

ЗМІСТ

Бондаренко О. В., Степанов Д. М., Багачук Д. Г., Тіхонов В. І., Вербицький О. О. Методика забезпечення конструктивної стійкості підземних оптичних кабелів до розтягувальних навантажень	5
Лелеко С. А., Лега Ю. Г., Палагін В. В. Поліноміальні виявлячі радіосигналів з флуктуацією амплітуди, оптимальні за моментним критерієм якості типу Неймана-Пірсона	12
Яценко І. В., Гордієнко В. І., Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цибулін В. В. Визначення розподілів температури та термopужних напружень по товщині оптичних обтічників ІЧ-приладів в умовах інтенсивних зовнішніх термодій	20
Нестеренко С. А. Оценка эффективности использования энергоэффективных технологий в компьютерных сетях.....	28
Петрищев О. Н., Базило К. В. Алгоритм экспериментального определения физико-механических констант пьезокерамических материалов.....	34
Гончаров А. В., Філіпов В. В., Чепинога А. В., Безпалый М. О. Алгоритми розрахунку коефіцієнтів рівняння максимізації усіченого полінома при оцінювання параметра постійного сигналу на тлі негаусівських завад	39
Оксамитна Л. П., Кравченко О. В. Розробка автоматизованої системи обліку медичних досліджень	46
Базіло К. В., Бондаренко Ю. Ю., Заїка В. М., Петрушко Ю. А., Федорук Л. О. Застосування п'єзоелектричних елементів в ультразвуковій хірургії	53
Фауре Э. В. Метод повышения эффективности факториального кодирования с восстановлением данных.....	57
Лепський В. В. Стратегічне управління сучасними медичними закладами.....	62
Кальченко В. І., Кальченко В. В., Слєднікова О. С., Кальченко Д. В. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами.....	69
Кальченко В. І., Кальченко В. В., Єрошенко А. М., Сіра Н. М. Дослідження способу шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі	80
Розломій І. О. Методи обчислення хеш-функції електронного документа на основі матричних криптографічних перетворень	88
Свояк Н. І., Ящук Л. Б., Загоруйко Н. В. Екологічна оцінка рибних ресурсів Черкаської області.....	95
Веретільник Т. І., Мисник Л. Д., Капітан Р. Б. Застосування інформаційних технологій у поліграфії та видавничій справі	102
Рудь М. П., Похил О. О., Лега О. В., Бабенко С. П. Дослідження ефективності термобар'єра екструдера пристроїв адитивного виробництва за технологією FDM	108
Demchuk I. M., Stolyarenko G. S., Tupytska N. I. Recuperation of bound nitrogen by processing into hydrazine sulfate in industrial wastewater	114
Лега Ю. Г. До 20-річчя «Вісника Черкаського державного технологічного університету».....	122

CONTENTS

Bondarenko O. V., Stepanov D. M., Bahachuk D. H., Tikhonov V. I., Verbytskyi O. O. The method for providing constructive stability of underground optical cables to tensile stresses	5
Leleko S. A., Lega Yu. G., Palahin V. V. Polynomial detectors of radiofrequency signals with amplitude fluctuations by Neyman-Pearson moment quality criterion	12
Yatsenko I. V., Gordienko V. I., Kirichenko O. V., Vaschenko V. A., Tsybulin V. V. Determination of distributions of temperature and thermoelastic stresses through the thickness of optical fairings of IR-devices in the conditions of intense external thermo-influences	20
Nesterenko S. A. Evaluation of the effectiveness of energy efficient technologies implementation in computer networks	28
Petrishchev O. N., Bazilo C. V. The algorithm for experimental determination of physical and mechanical constants of piezoceramic materials	34
Honcharov A. V., Filipov V. V., Chepynoga A. V., Bezpalyi M. O. Algorithms for calculation of coefficients of the equation of truncated polynomial maximization at the estimation of constant signal parameter on the background of non-Gaussian noises	39
Oksamytna L. P., Kravchenko O. V. The development of automated system of medical research records	46
Bazilo C. V., Bondarenko Yu. Yu., Zaika V. M., Petrushko Yu. A., Fedoruk L. O. Application of piezoelectric elements in ultrasonic surgery	53
Faure E. V. The method for increasing factorial coding efficiency with data recovery	57
Lepskiy V. V. Strategic management by modern medical institutions	62
Kalchenko V. I., Kalchenko V. V., Slednikova O. S., Kalchenko D. V. The study of the process of grinding of oriented part ends by profiled disks	69
Kalchenko V. I., Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Sira N. M. Investigation of the method for grinding of the rolls of rolling mills with crossed axes of the tool and workpiece.....	80
Rozlomii I. O. Methods for calculating the hash function of electronic document on the basis of matrix cryptographic transformations	88
Svojak N. I., Yashchuk L. B., Zagoruiko N. V. Environmental assessment of fishery resources of Cherkasy region	95
Veretil'nyk T. I., Mysnyk L. D., Kapitan R. B. Application of information technologies in printing and publishing industries	102
Rud' M. P., Pohyl O. O., Lega O. V., Babenko S. P. Investigation of the effectiveness of extruder thermal barrier for additive manufacturing devices by FDM technology	108
Demchuk I. M., Stolyarenko G. S., Tupytska N. I. Recuperation of bound nitrogen by processing into hydrazine sulfate in industrial wastewater.....	114
Lega Yu. G. To the 20 th anniversary of «Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu»	122

О. В. Бондаренко, д.т.н., професор, проректор з навчальної роботи,
Д. М. Степанов, к.т.н. доцент,
Д. Г. Багачук, к.т.н., доцент кафедри волоконно-оптичних ліній зв'язку,
В. І. Тіхонов, д.т.н., доцент, професор кафедри інформаційних мереж зв'язку,
О. О. Вербицький, аспірант
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова
вул. Кузнечна, 1, м. Одеса, 65029, Україна
e-mail: vols@onat.edu.ua

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СТІЙКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ДО РОЗТЯГУВАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У статті розроблено методику забезпечення конструктивної стійкості підземних оптичних кабелів до розтягувальних навантажень, яке приймають на себе центральний силовий елемент (ЦСЕ) зі сталевого дроту або склопластикового стрижня та периферійний одношаровий або багатшаровий силовий елемент (ПСЕ) зі сталевого дроту чи склопластикового стрижня або арамідних ниток «Тварон». Методика призначена для розрахунку та оцінювання стійкості оптичних кабелів до сил розтягу в межах максимально допустимої деформації. Проведені розрахунки показали, що в умовах незначного видовження кабелю (до 0,5 %) для отримання більшого значення допустимих розтягувальних навантажень F_d доцільно використовувати як ЦСЕ сталевий дріт, а як ПСЕ – арамідні нитки «Тварон» типу D-2200 з більшою лінійною густиною, що в комбінації з ПСЕ дає можливість досягти значення розтягувального зусилля 5140 Н, яке значно більше, ніж використання як ЦСЕ склопластикових стрижнів.

Ключові слова: конструкція оптичного кабелю, силові елементи, розтягувальне навантаження, деформація, металевий дріт, склопластиковий стрижень, арамідні нитки.

Введення в проблему. Питання розробки конструкцій оптичних кабелів (ОК) в Україні досліджені не повною мірою. Одним із недоліків конструювання ОК є відсутність в Україні керівних нормативних документів, що регламентують розробку конструкцій кабелю та, в першу чергу, його механічної міцності.

Методика розрахунку механічної міцності ОК передбачає, в свою чергу, визначення його допустимого розтягувального зусилля.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка інженерної методики забезпечення стійкості ОК до розтягувальних навантажень, що унеможливило зміни характеристик оптичних волокон (ОВ) під час будівництва кабельних трас та усього терміну експлуатації кабелю.

Вирішення поставленої задачі. Величина допустимого розтягувального навантаження, яке забезпечено конструкцією ОК, що складається із n елементів, визначається виразом [1]:

$$F_d = \sum_{i=1}^n E_i S_i \varepsilon_{mk}, \quad (1)$$

де F_d – допустиме розтягувальне навантаження ОК, Н; E_i – модуль Юнга i -го елемента ОК, МПа; S_i – площа поперечного перерізу i -го елемента ОК, мм²; ε_{mk} – максимальне допустиме видовження ОК, %.

Різні конструкції ОК можуть забезпечувати допустимі розтягувальні навантаження завдяки центральному силовому елементу (ЦСЕ), периферійному силовому елементу (ПСЕ) або їх комбінації [1].

Як матеріали силових елементів (СЕ) ОК, як правило, використовують сталевий дріт, склопластикові прутки й арамідні нитки.

Розтягувальні навантаження, які можуть забезпечити решта елементів ОК, є незначними. Тому їх сумарне значення враховується, як правило, як технологічний запас конструкції ОК по розтягувальних навантаженнях.

Тому F_d визначається виразом [1]:

$$F_d = F_{\text{ЦСЕ}} + F_{\text{ПСЕ}}, \quad (2)$$

де $F_{\text{ЦСЕ}}$ – розтягувальне навантаження, яке забезпечується ЦСЕ – сталевим дротом або

склопластиковим стрижнем, Н; $F_{\text{ПСЕ}}$ – розтягувальне навантаження, яке забезпечується ПСЕ – арамідними нитками, склопластиковими прутками або сталевим дротом, Н.

Розглянемо забезпечення конструкцією ОК розтягувального навантаження силовими елементами з різних матеріалів, виходячи з досягнення кабелем граничного видовження,

яке може виникнути під час його прокладення та експлуатації.

Як приклади використаємо ОК з різними силовими елементами (рис. 1) [2]. Для цього при розрахунках F_d його складові з виразу (2) визначаються залежно від їх матеріалу, площі поперечного перерізу СЕ та $\epsilon_{\text{МК}}$.

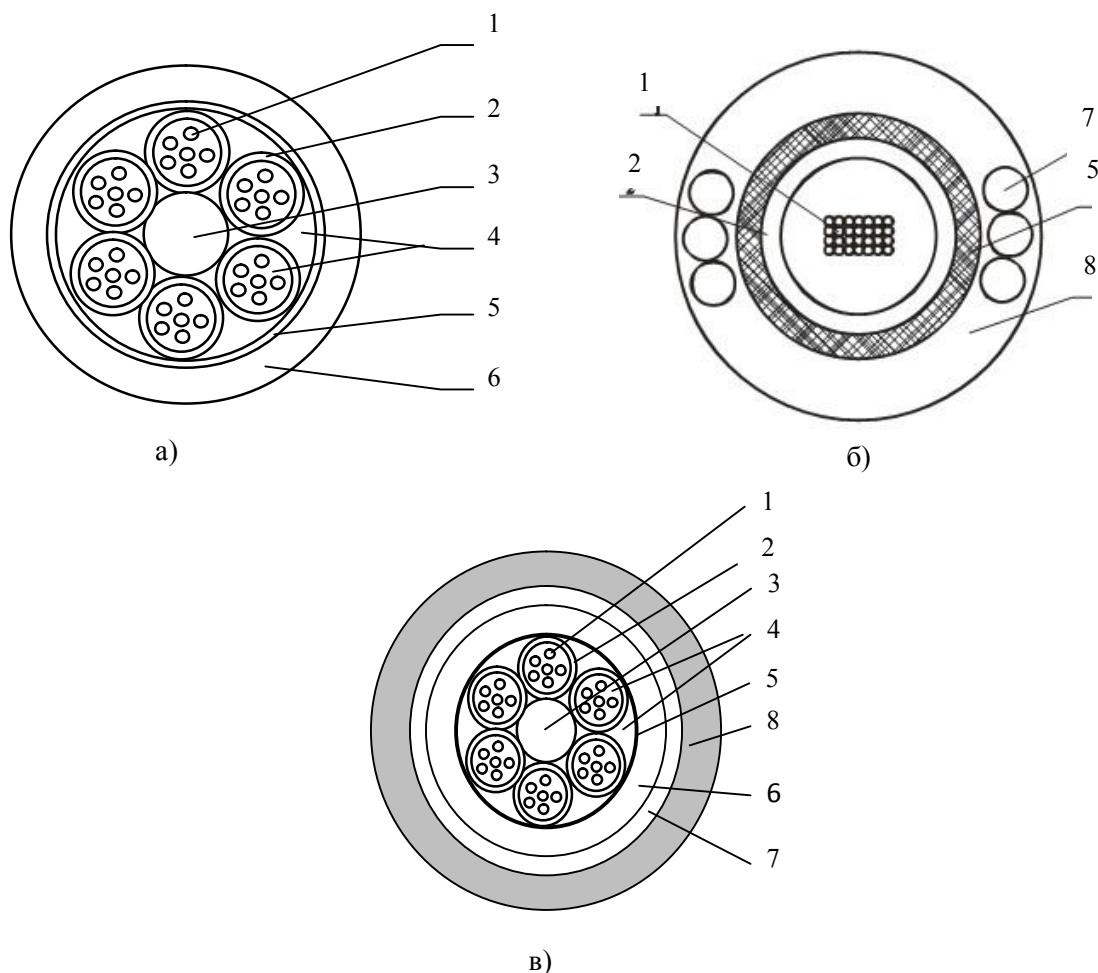


Рис. 1. Модульні конструкції ОК з:

а) центральним, б) периферійним і в) центральним та периферійним силовими елементами: 1 – ОВ; 2 – трубка модуля; 3 – центральний силовий елемент; 4 – гідрофобні компаунди; 5 – скріплювальна плівка; 6 – проміжна оболонка; 7 – периферійний силовий елемент; 8 – захисний шланг

У зв'язку з викладеним вище розглянемо метод розрахунку розтягувальних навантажень, які приймають на себе СЕ ОК із різних матеріалів.

Як правило, критерієм розрахунку розтягувального навантаження ОК вважається досягнення його конструкцією максимального видовження (деформації) $\epsilon_{\text{МК}}$, при якому ОВ втрачають свободу переміщення в трубці оптичного модуля або пазі профільованого осердя та видовжуються до певної допустимої ве-

личини $\epsilon_{\text{дОВ}}$. Згідно з [1, 3] $\epsilon_{\text{МК}}$ визначається за виразом

$$\epsilon_{\text{МК}} = \epsilon_{\text{к}} + \epsilon_{\text{дОВ}}, \quad (3)$$

де $\epsilon_{\text{к}}$ – допустиме видовження ОК, при якому ОВ не підлягає механічному навантаженню, %; $\epsilon_{\text{дОВ}}$ – допустиме видовження ОВ, %.

Залежно від конструкції ОК величина $\epsilon_{\text{МК}}$ становить від 0,25 до 1 %.

При цьому в роботі прийняті такі припущення:

- сталевий дріт працює в межах пружної деформації матеріалу, що не перевищують межу найбільшого напруження металу, при якому справедливий закон Гука;
- склопластикові стрижні працюють у межах пружної деформації;
- відносне видовження повзучості арамідних ниток в розрахунку розтягувального навантаження ПСЕ не враховується;
- додаткові напруги розтягу сталевих дроту та склопластикового стрижня і стискування арамідних ниток незначні.

Останнє припущення є справедливим, тому що дослідження ведуться для підземних ОК, які експлуатуються в умовах незначної зміни річної температури від -2 до $+18^{\circ}\text{C}$ [4] в землі, кабельній каналізації, лотках колекторів.

Розтягувальне навантаження, яке забезпечує сталевий дріт. Для розрахунку механічної міцності до розтягу СЕ зі сталевих дроту необхідно знати межу пропорційності напруження сталі $\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}}$ при розтягненні дроту. Цей параметр знаходиться за виразом [5]:

$$\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}} = 0,5 \cdot \sigma_{\text{ст}}^{\text{р}}, \quad (4)$$

де $\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}}$ – напруження матеріалу на межі пропорційності сталі при розтягненні дроту, кгс/мм²;

$\sigma_{\text{ст}}^{\text{р}}$ – розривна міцність дроту, кгс/мм².

Як відомо, дріт, крім цієї межі, має межу плинності $\sigma_{\text{ст}}^{\text{т}}$, після якої його властивості змінюються, тобто він стає пластичним та має залишкову деформацію, при якій захищати конструкцію ОК від розтягувальних зусиль стає неможливим.

Для забезпечення стійкості кабелю до розтягування необхідно переглядати роботу його елементів у межах дотримання закону Гука, в області пружної деформації.

Напруження матеріалу дроту при розтязі на межі пропорційності сталі визначається за законом Гука з виразу

$$\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}} = E \cdot \varepsilon_{\text{ст}}^{\text{п}}, \quad (5)$$

де $\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}}$ – напруження матеріалу на межі пропорційності сталі при розтягненні, кгс/мм²;

$\varepsilon_{\text{ст}}^{\text{п}}$ – видовження дроту на межі пропорційності, %;

$E = 200$ ГПа – модуль пружності дроту при розтягненні (1-го роду) [5–7].

Розтягувальне навантаження, яке забезпечується одним дротом при видовженні ОК, визначається як

$$F_{\text{д}} = \sigma_{\text{ст}}^{\text{п}} \cdot S_{\text{др}}, \quad (6)$$

де $F_{\text{д}}$ – розтягувальне навантаження, яке забезпечується дротом при видовженні ОК, Н;

$\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}}$ – напруження матеріалу на межі пропорційності сталі при розтягненні дроту, кгс/мм²;

$S_{\text{др}}$ – площа поперечного перерізу одного сталевих дроту, мм².

$$S_{\text{др}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{др}}^2}{4}, \quad (7)$$

де $S_{\text{др}}$ – площа поперечного перерізу одного сталевих дроту, мм²;

$d_{\text{др}}^2$ – діаметр дроту, мм.

Розтягувальне навантаження, яке забезпечує склопластиковий стрижень. Розрахунок розтягувального навантаження СЕ зі склопластикового стрижня $F_{\text{сп}}$ проводиться, виходячи також із заданого досягнення оптичним кабелем граничного видовження $\varepsilon_{\text{мк}}$.

Навантаження, яке забезпечується склопластиковим стрижнем ЦСЕ ($F_{\text{сп}}$) при видовженні кабелю на величину $\varepsilon_{\text{мк}}$, може визначатися за формулою [8]

$$F_{\text{сп}} = \frac{\varepsilon_{\text{мк}}}{\varepsilon_{\text{сп}}^{\text{р}}} \cdot F_{\text{сп}}^{\text{р}}, \quad (8)$$

де $\varepsilon_{\text{сп}}^{\text{р}}$ – видовження склопластикового стрижня при розриві, %;

$F_{\text{сп}}^{\text{р}}$ – навантаження при розриві склопластикового стрижня, Н.

Згідно з [1, 4, 5] $F_{\text{сп}}^{\text{р}}$ визначається за виразом

$$F_{\text{сп}}^{\text{р}} = S_{\text{сп}} \cdot \sigma_{\text{сп}}^{\text{р}}, \quad (9)$$

де $S_{\text{сп}}$ – площа поперечного перерізу склопластикового стрижня, мм²;

$\sigma_{\text{сп}}^{\text{р}}$ – межа міцності при розтягуванні склопластикового стрижня до розриву (розривна міцність), МПа.

В нормативній документації на склопластикові стрижні $\varepsilon_{\text{сп}}^{\text{р}}$ різних фірм становить від 2,5 до 3 %, а величина $\sigma_{\text{сп}}^{\text{р}}$ – від 900 до 1500 МПа [2, 5].

Розтягувальне навантаження, яке забезпечують n сталевих дротів чи склопластикових стрижнів. Конструкції периферій-

них силових елементів можуть реалізовуватися на основі певної кількості сталевих дротів або склопластикових стрижнів.

При наявності в конструкції ОК ПСЕ із n сталевих дротів або склопластикових стрижнів, розташованих концентрично, розрахунок $F_{\text{ПСЕ}}$ виконується за виразом [4, 8]

$$F_{\text{ПСЕ}}^{(\text{сп})} = \frac{n \cdot F_{\text{сп}}}{\sin \beta_1}, \quad (10)$$

де $F_{\text{ПСЕ}}^{(\text{сп})}$ – розтягувальне навантаження одноповивного ПСЕ, Н; n – кількість сталевих дротів або склопластикових стрижнів, шт; β_1 – кут скручування сталевих дротів або склопластикових стрижнів, град.

Цей кут скручування визначається за виразом [1, 5]

$$\beta_1 = \arctg \frac{h_1}{2\pi R_1}, \quad (11)$$

де h_1 – крок скручування дротів або склопластикових стрижнів, мм; R_1 – радіус скручування дротів або склопластикових стрижнів, мм.

При наявності в конструкції ПСЕ кількох повивів склопластикових стрижнів їх сумарне розтягувальне навантаження $F_{\Sigma \text{ПСЕ}}^{(\text{сп})}$

визначається за виразом

$$F_{\Sigma \text{ПСЕ}}^{(\text{сп})} = \sum_{i=1}^m \frac{n_i \cdot F_{\text{сп}}^{(\text{сп})}_i}{\sin \beta_i}, \quad (12)$$

де $F_{\text{сп}}^{(\text{сп})}_i$ – розтягувальне навантаження дротів або склопластикового стрижня i -го повиву, Н; n_i – кількість дротів або стрижнів в i -му повиві; β_i – кут скручування склопластикових стрижнів i -го повиву.

Розтягувальне навантаження, яке забезпечують синтетичні волокна в силовому елементі. Розглянемо розтягувальне навантаження, яке забезпечують арамідні нитки в силовому елементі.

Для розрахунку розтягувального навантаження ПСЕ ($F_{\text{ПСЕ}(H)}$), яке забезпечується за допомогою арамідних ниток, необхідно знати площу арамідних ниток повиву, які використовуються в кабелі, значення їх модуля Юнга і максимальне допустиме видовження кабелю. Тоді $F_{\text{ПСЕ}(H)}$ буде дорівнювати [8–10]

$$F_{\text{ПСЕ}(H)} = E \cdot S_n \cdot \varepsilon_{\text{МК}}, \quad (13)$$

де $F_{\text{ПСЕ}(H)}$ – розтягувальне зусилля, яке забезпечують арамідні нитки повиву, Н; E – модуль Юнга арамідних ниток, МПа; S_n – площа ниток, мм²; $\varepsilon_{\text{МК}}$ – максимальне видовження (деформація).

Площа ниток визначається за формулою

$$S_n = \frac{LD}{\rho} \cdot n \cdot 10^{-4}, \quad (14)$$

де S_n – площа ниток, мм²; LD – лінійна густина однієї нитки, дтекс; ρ – густина арамідних ниток, г/см³; n – кількість арамідних ниток у повиві, шт.

Розтягувальне навантаження, яке забезпечують n ниток повиву, накладені на осердя ОК під кутом β_1 , визначаються виразом

$$F_{\text{ПСЕ}(H)\beta_1} = \frac{F_{\text{ПСЕ}(H)}}{\beta_1}, \quad (15)$$

де $F_{\text{ПСЕ}(H)}$ – розтягувальне зусилля, яке забезпечують арамідні нитки повиву, Н; β_1 – кут скручування ниток, град.

При наявності в ПСЕ кількох повивів ниток сумарне розтягувальне навантаження $F_{\Sigma \text{ПСЕ}(H)}$ визначається за виразом

$$F_{\Sigma \text{ПСЕ}(H)} = \sum_{i=1}^m \frac{F_{\text{ПСЕ}(H)i}}{\sin \beta_i}, \quad (16)$$

де $F_{\text{ПСЕ}(H)i}$ – розтягувальне навантаження ниток i -го повиву ПСЕ, Н; β_i – кут скручування арамідних ниток i -го повиву, град; m – кількість повивів у ПСЕ.

У роботі як два приклади було визначено розтягувальні навантаження, які забезпечуються центральним та периферійним силовими елементами в конструкції ОК, зображених на рис. 1, в.

У першому варіанті конструкції кабелю взято ЦСЕ зі сталевого дроту, діаметр якого дорівнює 2 мм, і одноповивного ПСЕ з шести арамідних ниток типу «Тварон» D2200-8050. Для обчислення F_d , $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$ були використані вирази, відповідно, F_d – (2); $F_{\text{ЦСЕ}}$ – (5)...(7); $F_{\text{ПСЕ}}$ – (13)...(15).

Розрахунки F_d , $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$ виконані при $\varepsilon_{\text{МК}}$ 0,1; 0,3; 0,5 %. Результати розрахунків $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$, F_d зведені в табл. 1.

У другому варіанті конструкції кабелю взято ЦСЕ зі склопластикового стрижня типу «Neptco» діаметром 2 мм. Як ПСЕ розглянемо шість арамідних ниток типу «Тварон»

D2200-2420. Для обчислення розтягувальних зусиль F_d , $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$, які спроможна витримувати така конструкція кабелю, використані ті самі вирази.

Розрахунки F_d , $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$ виконані при $\epsilon_{\text{МК}}$ 0,1, 0,2, 0,3 та 0,5 %. Результати розрахунків $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$, F_d зведені в табл. 2.

Таблиця 1

Результати розрахунків розтягувальних навантажень (Н) $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$, F_d ОК залежно від видовження кабелю (%)

Силовий елемент	Розтягувальне навантаження (Н) при видовженні кабелю, %			
	0,1	0,2	0,3	0,5
Центральний (зі сталі)	628	1256	1884	3140
Периферійний	375	751	1126	2000
Комбінований	1003	2007	3010	5140

Таблиця 2

Результати розрахунків розтягувальних навантажень (Н) $F_{\text{ЦСЕ}}$, $F_{\text{ПСЕ}}$, F_d на ЦСЕ залежно від видовження кабелю (%)

Силовий елемент	Розтягувальне навантаження (Н) при видовженні кабелю, %			
	0,1	0,2	0,3	0,5
Центральний (зі склопластика)	157	314	471	800
Периферійний	234	468	702	1200
Комбінований	391	782	1173	2000

Проведені розрахунки показали, що в умовах незначного видовження кабелю (до 0,5 %) для отримання більшого значення F_d доцільно використовувати як ЦСЕ сталевий дріт, а як ПСЕ – арамідні нитки «Тварон» типу D-2200 з більшою лінійною густиною, що в комбінації з ПСЕ дає можливість досягти значення розтягувального зусилля 5140 Н, яке значно більше, ніж використання як ЦСЕ склопластикових стрижнів.

Оскільки застосування сталевго дроту має певні обмеження, то при подовженні кабелю більше 0,5 % потрібно застосовувати як ЦСЕ склопластикові стрижні.

Висновки:

1. У статті розроблено методику забезпечення конструктивної стійкості підземних оптичних кабелів до розтягувальних навантажень, яке приймають на себе центральний силовий елемент зі сталевго дроту або склопластикового стрижня та периферійний одношаровий або багатошаровий силовий елемент зі сталевго дроту чи склопластикового стрижня або арамідних ниток «Тварон».

2. Представлена методика забезпечення конструктивної стійкості підземних ОК до розтягувальних навантажень може бути використана при розробці нормативного документа по конструюванню механічної міцності кабелів.

Список літератури

1. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация : [монография / Иоргачев Д. В., Бондаренко О. В., Дашенко А. Ф., Усов А. В. и др.]. – Одесса : Астропринт, 2000. – 536 с. – ISBN 966-549-542-9.
2. Кабелі зв'язку оптичні для магістральних, зонових та міських мереж зв'язку. Технічні умови. ТУ-У 05758730.007-97: 1997. – [Чинні від 1997-12-10]. – Одеса : УПУ Держстандарту, Одеський центр стандартизації і метрології, 1997. – 69 с. – (Технічні умови ВАТ «Одескабель»).
3. Мальке Г. Волоконно-оптические кабели: Основы проектирования кабелей, планирование систем / Г. Мальке, П. Гессинг. – Новосибирск : Издатель, 1997. – 264 с.
4. Гроднев И. И. Линейные сооружения связи / И. И. Гроднев, Н. Д. Курбатов. – М. : Связь, 1974. – 544 с.
5. Захарченко М. В. Вплив конструкції оптичного кабелю на стабільність параметрів передавання / М. В. Захарченко, О. В. Бондаренко // Східно-Європейський журнал передових

- технологій системи управління. – 2009. – Вип. 4/11 (40). – С. 31–34.
6. Ларин Ю. Т. Кабели оптические. Заводы изготовители. Общие сведения. Конструкции, оборудование, техническая документация, сертификаты / Ларин Ю. Т., Ильин А. А., Нестерко В. А. – М. : Престиж, 2007. – 320 с.
 7. Ларин Ю. Т. Оптические кабели: методы расчета конструкции. Материалы. Надежность и стойкость к ионизированному излучению / Ю. Т. Ларин. – М. : Престиж, 2006. – 190 с.
 8. Бондаренко О. В. Розробка методу розрахунку стійкості діелектричних оптичних кабелів до розтягуючих навантажень / О. В. Бондаренко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – Вип. 17 (148). – С. 64–68. – (Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація»).
 9. Бондаренко О. В. Выбор конструкции самонесущего оптического кабеля по растягивающим нагрузкам / О. В. Бондаренко, Д. В. Иоргачев, Л. Л. Мурадян // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001. – Вип. 1. – С. 18–21.
 10. Мурадян Л. А. Аprobация методики расчета конструкции СОК по растягивающим усилиям / Л. А. Мурадян // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса, 2007. – Вип. 1. – С. 158–160.
 - metrologiyi, 69 p. (Specifications of open joint stock company "Odeskabel") [in Ukrainian].
 3. Malke, G. and Gessing, P. (1997) Fiber-optic cables: Cables design fundamentals, system planning, Novosibirsk: Izdatel, 264 p. [in Russian].
 4. Grodnev, I. I. and Kurbatov, N. D. (1974) Linear constructions of communication. Moscow: Sviaz, 544 p. [in Russian].
 5. Zakharchenko, M. V. and Bondarenko, O. V. (2009) The influence of optical cable design on transmission parameters stability. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii systemy upravlinnia*, 4/11 (40), pp. 31–34 [in Ukrainian].
 6. Larin, Yu. T., Ilyin, A. A. and Nesterko, V. A. (2007) Optic cables. Enterprises-manufactures. General information. Construction, equipment, technical documentation, certificates. Moscow: Prestizh, 320 p. [in Russian].
 7. Larin, Yu. T. (2006) Optical cables: methods of construction analysis. Materials. Reliability and resistance to ionizing radiation. Moscow: Prestizh, 190 p. [in Russian].
 8. Bondarenko, O. V. (2009) Development of the method for calculation of the resistance of dielectric optical cables to tensile stress. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: "Obchysliuvalna tekhnika ta avtomatyzatsiia"*. Donetsk, 17(148), pp. 64–68 [in Ukrainian].
 9. Bondarenko, O. V., Iorgachev, D. V. and Muradian, L. L. (2001) The choice of the design of self-supporting optical cable for tensile loads. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, No. 1, pp. 18–21 [in Russian].
 10. Muradian, L. A. (2007) Testing of the methodology for calculating SOC construction for tensile forces. *Naukovi pratsi ONAZ im. O. S. Popova*. Odesa, (1), pp. 158–160 [in Russian].

References

O. V. Bondarenko, *D.Tech.Sc., professor, vice-rector on education,*
D. M. Stepanov, *Ph.D., associate professor, assistant professor of the department*
of fiber-optic communication lines,
D. H. Bahachuk, *Ph.D., associate professor of the department of fiber-optic communication lines,*
V. I. Tikhonov, *D.Tech.Sc., associate professor, professor of information networks department*
O. O. Verbytskyi, *postgraduate*
Odesa National Academy of Telecommunications named by O. S. Popov
Kuznechna str., 1, Odesa, 65029, Ukraine
e-mail: vols@onat.edu.ua

THE METHOD FOR PROVIDING CONSTRUCTIVE STABILITY OF UNDERGROUND OPTICAL CABLES TO TENSILE STRESSES

The development of optical cables constructions is not investigated fully in Ukraine. One of the drawbacks in OC construction in Ukraine consists in the lack of governing regulations, that regulate the development of cable constructions, especially its mechanical strength. The method for calculation of OC mechanical strength involves, in its turn, the determination of its permissible tensile force.

The research aims at the development of engineering technique to ensure OC sustainability to tensile stresses, making the changes of optical fiber characteristics during construction of cable lines and entire cable lifetime impossible.

In this paper the method for providing constructive stability of underground optical cables (OC) to tensile stresses, which is taken by central power element from steel wire or fiberglass rod and peripheral one-layer or multilayer power element from steel wire or fiberglass rod or aramid threads "Twaron", is developed. The method is designed to calculate and assess the stability of optical cables to tensile stresses within the maximum deformation. The calculations have shown that in the conditions of cable slight lengthening (to 0.5%) in order to obtain greater value of tensile forces F_d it is expedient to use steel wire as a central power element (CPE), as well as aramid threads «Twaron» of D- 2200 type with greater linear density should be used as a peripheral power element (PPE). This enables in combination with PPE to achieve tensile force value 5140 N, that is much bigger than the use of fiberglass rods as CPE.

Since the use of steel wire has certain limitations, then it is necessary to use fiberglass rods as CPE at cable lengthening more than 0.5%.

The given method for providing constructive stability of underground OC to tensile stresses can be used in the development of normative documents on designing of cable mechanical strength.

Keywords: *optical cable construction, power elements, tensile stress, deformation, metal wire, fiber glass rod, aramid threads.*

Статтю представляє О. В. Бондаренко, д.т.н., професор, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.

С. А. Лелеко, асистент кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем,
e-mail: Leleko@i.ua

Ю. Г. Лега, д.т.н., професор кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем,
e-mail: radiotex@ukr.net

В. В. Палагін, д.т.н., професор кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем
e-mail: palahin@yahoo.com

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

ПОЛІНОМІАЛЬНІ ВИЯВЛЯЧІ РАДІОСИГНАЛІВ З ФЛУКТУАЦІЄЮ АМПЛІТУДИ, ОПТИМАЛЬНІ ЗА МОМЕНТНИМ КРИТЕРІЄМ ЯКОСТІ ТИПУ НЕЙМАНА-ПІРСОНА

В роботі проведено розробку алгоритму виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди на тлі асиметрично-ексцесних негаусівських завад на основі адаптованого моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез типу Неймана-Пірсона, моментно-кумулянтного опису випадкових величин і нелінійних стохастичних розв'язувальних правил. Знайдено нелінійні розв'язувальні правила для степенів стохастичного полінома $S=1...3$, побудовано структурну схему алгоритму реалізації цих розв'язувальних правил та досліджено їх ефективність.

Ключові слова: негаусівські завади, виявлення сигналів, моментний критерій якості, радіосигнал з флуктуацією амплітуди.

Вступ. Задача виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди є актуальною для багатьох технічних систем, зокрема в радіолокації, геофізиці, супутниковому зв'язку, в системах неруйнівного контролю та діагностичних системах [1, 2]. Флуктуаційні процеси є досить поширеним результатом взаємодії сигналів, наприклад з зарядженими частинками іоносфери, під час розповсюдження вздовж хвилястих поверхонь, при багатопробному розповсюдженні сигналів тощо.

Як відомо, для виявлення сигналів застосовують добре розроблену теорію перевірки статистичних гіпотез, що ґрунтується на порівнянні відношення правдоподібності з порогом, який обирається відповідно до обраних ймовірнісних критеріїв якості [1]. Як априорна інформація використовуються відомості про закон розподілу випадкової величини. Таким розподілом часто виступає нормальний або гаусівський закон розподілу, що пояснюється зручністю і простотою математичної моделі. На практиці ж виникає інтерес і необхідність перевірки статистичних гіпотез в припущенні про негаусівський або близький до гаусівського закон розподілу випадкових величин, на фоні яких спостерігаються сигнали [3–6]. В такому випадку застосування ймо-

вірнісних критеріїв якості викликає ряд труднощів, пов'язаних як зі знаходженням функції розподілу випадкових величин, так і алгоритмічною реалізацією отриманих розв'язувальних правил (РП) [7–10]. Альтернативою цьому підходу є застосування часткового опису випадкових величин за допомогою моментів і кумулянтів вищих порядків [11, 12] та використання нового моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез для синтезу поліноміальних РП [13].

Мета роботи полягає у створенні та реалізації моделей процесів виявлення радіосигналів на фоні негаусових завад на основі моментно-кумулянтного представлення випадкових величин з формуванням моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез типу Неймана-Пірсона та поліноміальних розв'язувальних правил для забезпечення побудови ефективних методів функціонування систем прийому та обробки даних.

Постановка задачі. Нехай спостерігається випадкова величина $\xi(t)$ у вигляді адитивної сумиш корисного сигналу $S(t)$ та асиметрично-ексцесної стаціонарної негаусівської завади $\eta(t)$, яка характеризується відмінними від нуля коефіцієнтами асиметрії γ_3 та

експесу γ_4 з нульовим математичним очікуванням та дисперсією χ_2 і має вигляд

$$\xi(t) = S(t) + \eta(t),$$

де $S(t) = (a_0 + \Delta(t)) r(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ – радіосигнал з амплітудою a_0 , обвідною $r(t)$, частотою ω_0 і фазою φ_0 , $\Delta(t)$ – негаусівська стаціонарна завада, що характеризує флуктуацію амплітуди радіосигналу з дисперсією μ_2 та кумулянтними коефіцієнтами β_3, β_4 .

Нехай з випадкового сигналу $\xi(t)$ проводиться вибірка незалежних величин $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ об'ємом n . За результатами обробки необхідно винести рішення про прийняття гіпотези H_1 , коли приймається корисний сигнал виду $\xi_v = S_v + \eta$, $S_v = (a_0 + \Delta_v) r_v \cos(\omega_0 v \Delta + \varphi_0)$, $v = \overline{1, n}$, або гіпотези H_0 , коли приймається лише завада – $\xi_v = \eta$.

Представимо відношення правдоподібності як стохастичний поліном степені S , оптимальні коефіцієнти якого знаходяться за моментними критеріями якості перевірки статистичних гіпотез. Адаптуємо моментний критерій якості верхньої границі ймовірностей помилок [14] так, щоб мінімізувати ймовірність помилки другого роду β РП при фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду α , і назовемо цей критерій типу Неймана-Пірсона [4, 8]. Для неоднаково розподілених вибірових значень РП представиться у вигляді

$$\Lambda_{ns}(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^s \sum_{v=1}^n k_{iv} x_v^i + k_0 \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_0 \end{matrix}, \quad (1)$$

де невідомі коефіцієнти визначаються як

$$k_0 = E_0 C + (1 - C) E_1, \quad (2)$$

а k_{iv} знаходяться з мінімуму критерію якості $KuP(G, E)$

$$KuP(G, E) = \frac{\frac{G_0}{(1-C)^2} + \frac{G_1}{C^2}}{[E_1 - E_0]^2}, \quad (3)$$

де E_0, E_1, G_0, G_1 – математичне очікування і дисперсія РП (1) при гіпотезах H_0 та H_1 відповідно, C – нормувальний коефіцієнт, що

визначає ймовірність помилки першого роду α РП.

Математичні очікування E_0, E_1 та дисперсії G_0, G_1 при гіпотезі і альтернативі РП (1) запишуться у вигляді

$$E_0 = \sum_{i=1}^s \sum_{v=1}^n k_{iv} u_{iv}, \quad E_1 = \sum_{i=1}^s \sum_{v=1}^n k_{iv} m_{iv},$$

$$G_0 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{v=1}^n k_{iv} k_{jv} F_{(i,j)v}(H_0),$$

$$G_1 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{v=1}^n k_{iv} k_{jv} F_{(i,j)v}(H_1),$$

де коефіцієнти k_{iv} , які мінімізують (3), знаходяться з рішення системи рівнянь:

$$\sum_{j=1}^s k_{jv} \left[\frac{F_{(i,j)v}(H_0)}{(1-C)^2} + \frac{F_{(i,j)v}(H_1)}{C^2} \right] = m_{iv} - u_{iv}, \quad (4)$$

$$i = \overline{1, S},$$

де $F_{(i,j)v}(H_0), F_{(i,j)v}(H_1)$ – корелянти порядку (i, j) випадкової величини ξ при гіпотезі H_0 та H_1 відповідно для v -го вибіркового значення.

Нормувальний коефіцієнт C знаходиться з умови заданої ймовірності помилки першого роду:

$$\frac{G_0(C)}{(1-C)^2 [E_1(C) - E_0(C)]^2} = \alpha. \quad (5)$$

Показано, що мінімізована ймовірність помилки другого роду РП визначиться як

$$\beta = \frac{G_1}{C^2 [E_1 - E_0]^2} \quad (6)$$

Для класичного ймовірнісного критерію Неймана-Пірсона справедливе відношення [1]:

$$k_0 = E_0 + \chi_2 x_\alpha / \sqrt{n},$$

де x_α – процентна точка гаусівського розподілу (квантіль), яка визначає задану величину ймовірності помилки першого роду. Величини k_0, E_0 мають такий же фізичний зміст, як і для моментного критерію Неймана-Пірсона, а саме: порога прийняття рішення і математичного сподівання РП. Поріг k_0 обирається таким чином, щоб забезпечити фіксацію ймовірності помилки першого роду α .

При цьому квантіль правильного виявлення визначається як

$$x_{1-\beta} = x_\alpha - \frac{E_1 - E_0}{\chi_2} \sqrt{n}. \quad (7)$$

Зі співвідношення (7) видно, що для ймовірнісного критерію типу Неймана-Пірсона існує співвідношення між ймовірностями помилок α і β . З (7) випливає, що при $n \rightarrow \infty$ ймовірність помилок другого роду РП прямує до нуля $\beta \rightarrow 0$. Таким чином, співвідношення (7) при заданих α і β визначає мінімально можливу величину $(E_1 - E_0)/\chi_2 \sqrt{n}$. Отже, при заданих α , β і відношенні сигнал-шум $q = a^2/\chi_2$ повинен існувати певний мінімальний об'єм вибірки для перевірки статистичних гіпотез, який знаходиться зі співвідношення

$$n \geq \frac{\chi_2 (x_{1-\beta} - x_\alpha)^2}{[E_1 - E_0]^2}.$$

Для оцінювання ефективності синтезованих РП використовується значення критерію $KuP(G, E)$. Чим менше його значення, тим менші ймовірності помилок другого роду при фіксованих значеннях α і тим ефективніші алгоритми обробки сигналів.

$$\begin{aligned} m_{1v} &= e_v \sqrt{q} \sqrt{\chi_2}, \quad m_{2v} = (e_v^2 (q + 3) + 1) \chi_2, \\ m_{3v} &= \chi_2^{3/2} (3e_v \sqrt{q} + \gamma_3 + e_v^3 (3p \sqrt{q} + q^{3/2} + \beta_3 p^{3/2})), \\ m_{4v} &= (3 + 6e_v^2 (p + q) + 3e_v^4 p (p + 3q) + q^2 e_v^4 + p^2 e_v^4 \beta_4 + \\ &+ 4\sqrt{q} e_v \gamma_3 + \gamma_4) \chi_2^2 + 4\sqrt{q} e_v^4 \beta_3 \sqrt{\chi_2}, \\ m_{5v} &= \chi_2^{5/2} (10\gamma_3 + 10(p + q) e_v^2 \gamma_3 + 5\sqrt{q} e_v (3 + \gamma_4) + \\ &+ 10e_v^3 \chi \sqrt{q} (3p + q) + \beta_3 p + e_v^5 (\sqrt{q} (15p^2 + 10pq + \\ &+ q^2 + 5p^2 \beta_4) + 10p(p + q) \beta_3)) \\ m_{6v} &= \chi_2^3 (15 + 45(p^2 e_v^2 + q + 2pq e_v^2) e_v^2) + 15e_v^4 (q^2 + \\ &+ p^3 e_v^2 + pq^2 e_v^2) + 45p^2 q e_v^6 + q^3 e_v^6 + 10p^3 e_v^6 \beta_3^2 + \\ &+ 15p^2 e_v^4 (1 + (p + q) e_v^2) \beta_4 + 60\sqrt{q} e_v \gamma_3 + 20q^{3/2} e_v^3 \gamma_3 + \\ &+ 10\gamma_3^2 + 20p^{3/2} e_v^3 \beta_3 (\sqrt{q} e_v (3 + e_v^2 (3p + q) + \gamma_3) + \\ &+ 15\gamma_4 (1 + p e_v^2 + q e_v^2)) \end{aligned}$$

де $e_v = r_v \cos(\omega_0 v \Delta + \varphi_0)$,

$q = \frac{a_0^2}{\chi_2}$ – відношення сигнал-шум по потужності, $p = \frac{\mu_2}{\chi_2}$ – відношення потужності флуктуаційної завади амплітуди сигналу Δ до потужності адитивної завади η , β_3, β_4 – куму-

лянтні коефіцієнти флуктуаційної завади, що характеризують її негаусовість. Центровані корелянти $F_{(i,j)v}(H_0)$, $F_{(i,j)v}(H_1)$ визначаються згідно з виразами:

$$\begin{aligned} u_1 &= 0, \quad u_2 = \chi_2, \quad u_3 = \gamma_3 \chi_2^{3/2}, \\ u_4 &= (3 + \gamma_4) \chi_2^2, \quad u_5 = 10\gamma_3 \chi_2^{5/2}, \\ u_6 &= (10\gamma_3^2 + 15\gamma_4 + 15) \chi_2^3, \end{aligned}$$

де γ_3, γ_4 – коефіцієнти асиметрії та ексцесу відповідно, що характеризують негаусівську заваду η .

Початкові моменти випадкової величини при гіпотезі H_1 матимуть такий вигляд:

$$F_{(i,j)v}(H_0) = u_{(i+j)v} - u_{iv} u_{jv},$$

$$F_{(i,j)v}(H_1) = m_{(i+j)v} - m_{iv} m_{jv}.$$

При степені полінома $S=1$ з (1) отримаємо лінійне РП у вигляді

$$\Lambda(\mathbf{X})_{1n} = k_0 + \sum_{v=1}^n k_{1v} x_v \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} 0.$$

Тоді невідомі коефіцієнти k_{1v} РП отримуються з (4) і мають вид

$$k_{1v} = \frac{q^{0.5} e_v}{\chi_2^{0.5} \left(\frac{1}{(1-C)^2} + \frac{1+pe_v^2}{C^2} \right)},$$

а поріг РП визначається з (2):

$$k_0 = \frac{(1-C)q^{0.5} e_v}{\chi_2^{0.5} \left(\frac{1}{(1-C)^2} + \frac{1+pe_v^2}{C^2} \right)}.$$

Невідомий коефіцієнт C знаходиться з виразу (5) при фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду α .

Відзначимо, що отримане лінійне РП при відсутності флуктуацій амплітуди ($p=0$) та значенні коефіцієнта $C=0.5$ збігається з оптимальним лінійним РП, отриманим для гаусівської моделі завади при застосуванні критерію ідеального спостерігача.

Лінійні РП не враховують негаусівський розподіл завад, тому що використовують

початкові моменти тільки до другого порядку. Тому збільшимо степінь полінома. Для побудови нелінійного РП при степені полінома $S=2$ постановка задачі буде збігатися з постановкою задачі для випадку $S=1$. Використовуючи в загальному вигляді РП (1), отримаємо

$$\Lambda(\mathbf{X})_{2n} = \sum_{v=1}^n k_{1v} x_v + \sum_{v=1}^n k_{2v} x_v^2 + k_0 \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} 0. \quad (8)$$

Невідомі коефіцієнти РП (8) знаходяться з системи рівнянь (4) та виразу (2) при знаходженні нормувального коефіцієнта C з виразу (5). Побудова РП при степені полінома $S=3$ буде аналогічною, де використовується апріорна інформація у вигляді моментно-кумулянтного опису до $2S$ порядку.

На рис. 1 зображено структурну схему реалізації РП при степені стохастичного полінома $S=1 \dots 3$. Структурна схема складається з суматорів з накопиченням вибірових значень x_v , блоків множення на знайдені коефіцієнти k_{iv} , суматора та порогового пристрою (ПП). Результати операцій над вхідними вибіровими значеннями порівнюються з порогом у пристрої порівняння та виносяться рішення про реалізацію відповідної гіпотези.

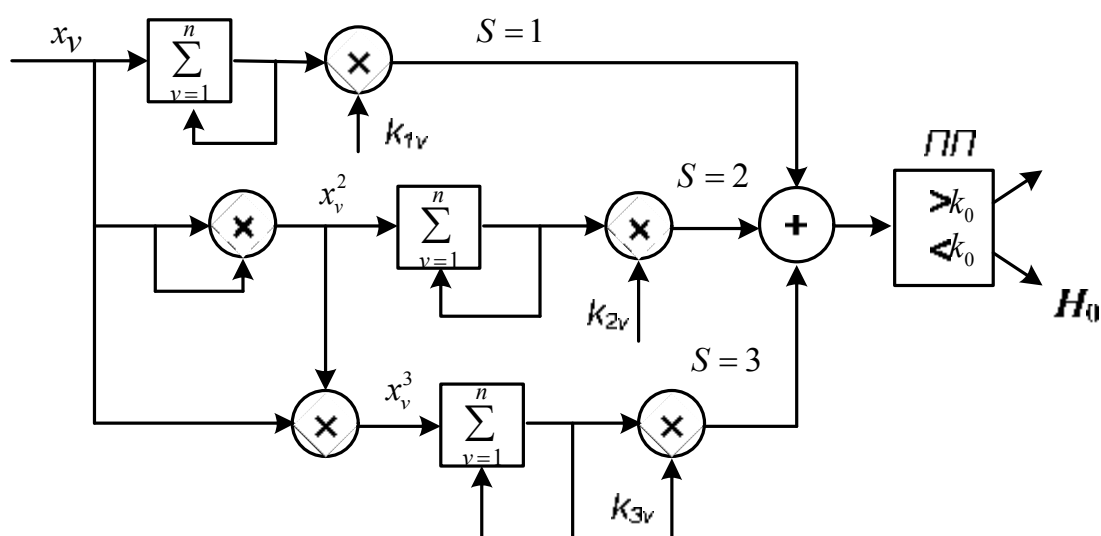


Рис. 1. Структурна схема виявлення радіосигналу з застосуванням поліноміальних РП при степені полінома $S=1 \dots 3$

Аналіз отриманих результатів. Проведено дослідження властивостей синтезованих нелінійних РП. Їх ефективність оцінюється відношенням значення критеріїв якості KuP_S/KuP_1 .

На рис. 2 отримано поверхню, що показує зміну значення відношення критеріїв KuP_2/KuP_1 залежно від кумулянтних коефі-

цієнтів асиметрії та ексцесу γ_3, γ_4 відповідно. З характеру зміни поверхні видно, що зі зростанням значення кумулянтних коефіцієнтів відношення KuP_2/KuP_1 зменшується, що, в свою чергу, свідчить про те, що синтезовані нелінійні РП характеризуються меншими значеннями ймовірності помилок порівняно з лінійними РП при степені полінома $S = 1$.

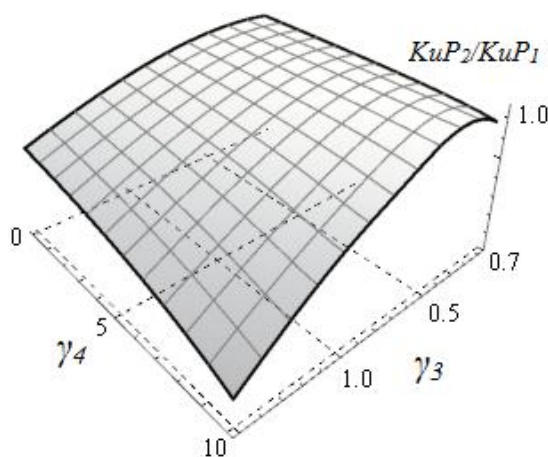


Рис. 2. Залежність ефективності нелінійного РП (при $S = 2$) виявлення радіосигналу відносно лінійного ($S = 1$) від коефіцієнтів асиметрії γ_3 та ексцесу γ_4 . при $\alpha = 10^{-3}$, $n = 100$, $\beta_3 = 0.2, \beta_4 = 0.4, q = 1$

На рис. 3 та 4 зображено порівняння ефективності нелінійних РП $S = 2 \dots 3$ відносно лінійного РП при різних значеннях $\gamma_4, p, \beta_3, \beta_4$ та змінному коефіцієнті асиметрії γ_3 . З графіків видно, що значення критеріїв KuP_2 та KuP_3 менші за значення KuP_1 залежно від параметрів сигналу і завади. Наприклад, при значенні $\gamma_3 = 0.75$ (рис. 3, а) значення критерію якості зменшується на 30 %, що свідчить про зменшення ймовірностей помилок нелінійного РП при степені полінома $S = 2$ порівняно з лінійним. Урахування параметрів негаусовості флуктуації β_3, β_4 також зменшують значення критеріїв якості KuP_2, KuP_3 , що, в свою чергу, теж свідчить про покращення характеристик РП.

З графіків на рис. 4 видно, що при зростанні степені полінома РП до $S = 3$ також відбувається зменшення значення критерію KuP_3 порівняно з нелінійною обробкою РП при степені полінома $S = 2$. Так, при степені полінома РП $S = 3$ вигаш становить 10 % порівняно з нелінійним РП при степені полі-

нома $S = 2$ при однакових параметрах $\gamma_3, \gamma_4, \beta_3, \beta_4$.

Висновки. Розробка ефективних систем виявлення сигналів потребує вдосконалення та впровадження моделей і методів обробки сигналів, які ґрунтуються на альтернативному підході щодо опису випадкових процесів у вигляді моментно-кумулянтного представлення та моментних критеріїв якості перевірки статистичних гіпотез.

В роботі представлено новий метод виявлення радіосигналів з флуктуацією амплітуди на фоні негаусівських завад з застосуванням стохастичних поліномів як розв'язувальних правил, оптимальних за моментним критерієм якості типу Неймана-Пірсона. Синтезовано нелінійні поліноміальні алгоритми виявлення сигналів та наведено їх якісні характеристики.

Показано, що врахування негаусівського розподілу завад у вигляді кумулянтних коефіцієнтів вищих порядків, а також негаусівського характеру флуктуації амплітуди радіо-

сигналу дозволяє зменшити значення критерію KuP для нелінійних розв'язувальних правил порівняно з відомими результатами в

припущенні гаусівських моделей завад, що приводить до підвищення ефективності систем виявлення сигналів.

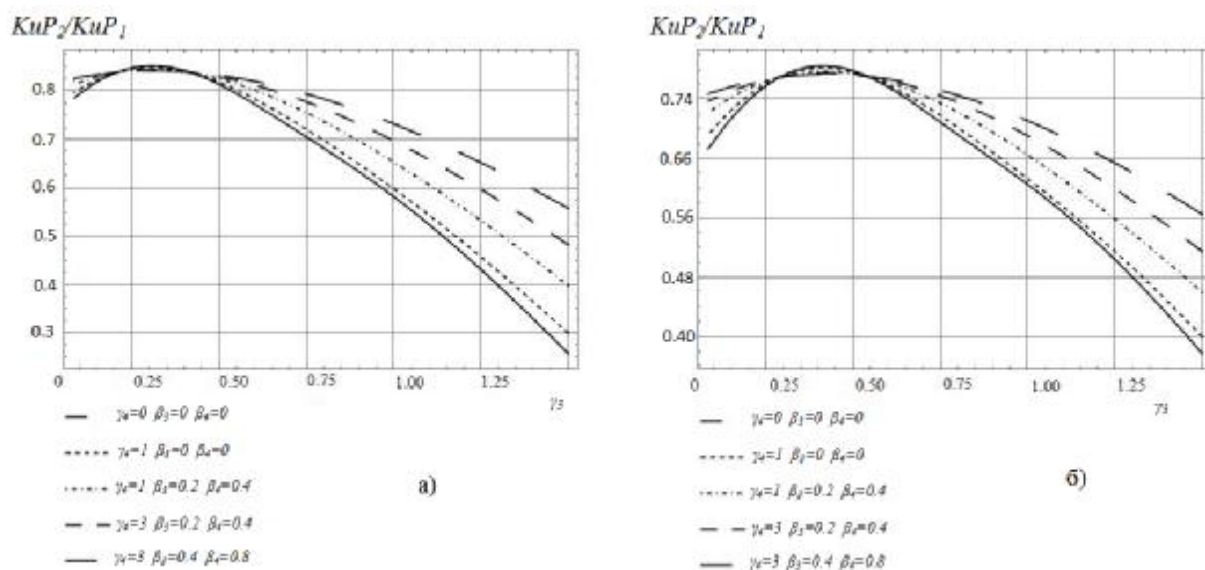


Рис. 3. Залежність ефективності нелінійного РП (при $S = 2$) виявлення радіосигналу відносно лінійного ($S = 1$) від коефіцієнта асиметрії γ_3 при $q = 1, n = 50, \alpha = 10^{-3}$ при: а) $p = 1$, б) $p = 2$

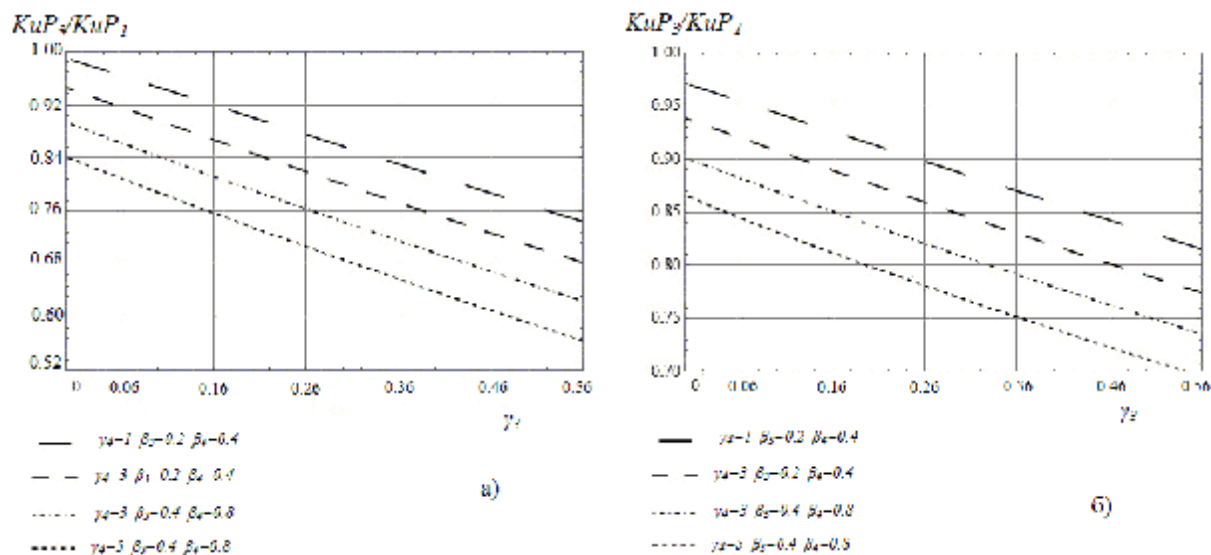


Рис. 4. Залежність ефективності нелінійного РП (при $S = 3$) виявлення радіосигналу відносно лінійного ($S = 1$) від коефіцієнта асиметрії γ_3 при $q = 1, n = 50, \alpha = 10^{-3}$ при: а) $p = 1$, б) $p = 2$

Список літератури

1. Van Trees H. L. Detection estimation and modulation theory. Part I. Detection, estimation, and filtering theory / H. L. Van Trees, K. L. Bell, Z. TiTany. – [2nd ed.]. – John Wiley & Sons, 2013.
2. Primak, S. Stochastic methods and their applications to communications stochastic differential equations approach / S. Primak, V. Kontorovich, V Lyandres. – John Wiley & Sons, 2004.
3. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований / А. Н. Малахов. – М. : Сов. радио, 1978. – 376 с.
4. Лега Ю. Г. Построение полиномиальных решающих правил по моментному критерию типа Неймана-Пирсона для проверки статистических гипотез / Ю. Г. Лега, В. В. Палагин, С. А. Лелеко // Електроніка та системи управління. – 2008. – № 4 (18). – С. 71–78.
5. Duana F. Non-gaussian noise benefits for coherent detection of narrow band weak signal / F. Duana, F. Chapeau-Blondeaub, D. Abbott // *Physics Letters A.* – 2014. – 378. – P. 1820–1824.
6. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы / Ю. П. Кунченко. – К. : Наукова думка, 2006. – 275 с.
7. Biglieri E. Linear-quadratic detectors for spectrum sensing / E. Biglieri, M. Lops // *Journal of Communications and Networks.* – 2014. – 16 (5). – P. 485–492.
8. Палагин В. В. Использование моментного критерия качества проверки статистических гипотез типа Неймана-Пирсона для построения решающих правил / В. В. Палагин, С. А. Лелеко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 72–77.
9. Denkovski D. HOS Based goodness-of-fit testing signal detection / D. Denkovski, V. Atanasovski, L. Gavrilovska // *IEEE Communications Letters.* – 2012. – Vol. 16 (3). – P. 310–313.
10. Kunchenko Yu. Polynomial parameter estimation of close to Gaussian random variables / Yu. Kunchenko. – Aachen : Shaker Verlag, 2002.
11. Palahin V. Joint signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization / V. Palahin, J. Juhár // *Journal of Electrical Engineering.* – 2016. – Vol. 67, No. 3. – P. 217–221.
12. Palahina E. Signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise using higher order statistics / E. Palahina, V. Palahin // *Radioelectronika 2016: 26th International conf.* (19-20 April, Kosice, Slovak Republic). – 2016. – P. 262–267.
13. Modeling of joint signal detection and parameter estimation on background of non-Gaussian noise / [V. Palahin, O. Palahina, V. Filipov et al.] // *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics.* – 2015. – Issue 14 (3).
14. Kunchenko Yu. A moment performance criterions of a decision-making for testing simple statistical hypothesis / Yu. Kunchenko // *ISIT (Ulm, Germany).* – 1997. – 407 p.

References

1. Van Trees, H. L., Bell, K. L. and TiTany, Z. (2013) Detection estimation and modulation theory. 2nd ed., Part I. Detection, estimation, and filtering theory, John Wiley & Sons.
2. Primak, S., Kontorovich, V. and Lyandres, V. (2004) Stochastic methods and their applications to communications stochastic differential equations approach, John Wiley & Sons.
3. Malakhov, A. N. (1978) Cumulant analysis of non-Gaussian random processes and their transformations. Moscow: Sov. radio, 376 p. [in Russian].
4. Lega, Yu. G., Palagin, V. V. and Leleko, S. A. (2008) Construction of polynomial decision rules according to torque-type Neyman-Pearson criterion for statistical hypotheses testing. *Elektronika ta systemy upravlinnya*, No. 4 (18), pp. 71–78 [in Russian].
5. Duana, F., Chapeau-Blondeaub, F. and Abbott, D. (2014) Non-Gaussian noise benefits for coherent detection of narrow band weak signal. *Physics Letters A.*, 378, pp. 1820–1824.
6. Kunchenko, Yu. P. (2006) Stochastic polynomial. Kyiv: Naukova dumka, 275 p. [in Russian].
7. Biglieri, E. and Lops, M. (2014) Linear-quadratic detectors for spectrum sensing. *Journal of Communications and Networks*, 16 (5), pp. 485–492.

8. Palagin, V. V. and Leleko, S. A. (2008) The use of torque criterion on the quality of testing of Neyman-Pearson type statistical hypotheses for constructing decision rules. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo Tekhnologichnogo Universytetu*, No. 1, pp. 72–77 [in Russian].
9. Denkovski, D., Atanasovski, V. and Gavrilovska, L. (2012) HOS based goodness-of-fit testing signal detection. *IEEE Communications Letters*, vol. 16 (3), pp. 310–313.
10. Kunchenko, Yu. (2002) Polynomial parameter estimation of close to Gaussian random variables. Aachen: Shaker Verlag.
11. Palahin, V. and Juhár, J. (2016) Joint signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization. *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 67, No. 3, pp. 217–221.
12. Palahina, E. and Palahin, V. (2016) Signal detection in additive-multiplicative non-Gaussian noise using higher order statistics. *Radioelectronika 2016: 26th International conf.* (19-20 April, Kosice, Slovak Republic), pp. 262–267.
13. Palahin, V., Palahina, O., Filipov, V. et al. (2015) Modeling of joint signal detection and parameter estimation on background of non-Gaussian noise. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 14 (3).
14. Kunchenko, Yu. (1997) A moment performance criteria of a decision-making for testing simple statistical hypothesis. *ISIT, Ulm, Germany*, 407 p.

S. A. Leleko, lecturer of the department of radioengineering,
information and telecommunication systems,
e-mail: Leleko@i.ua

Yu. G. Lega, Dr.Sc., professor of the department of radioengineering,
information and telecommunication systems
e-mail: radiotex@ukr.net

V. V. Palahin, Dr.Sc., professor of the department of radioengineering,
information and telecommunication systems
e-mail: palahin@yahoo.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

POLYNOMIAL DETECTORS OF RADIOFREQUENCY SIGNALS WITH AMPLITUDE FLUCTUATIONS BY NEYMAN-PEARSON MOMENT QUALITY CRITERION

The complexity description of non-Gaussian processes in the theory of signal detection requires the use of a new approach. This approach is based on the use of moment-cumulant function of random processes and moment quality criterion for decision making. The adaptation of moment quality criterion of upper bounds of errors probability is proposed. The nonlinear algorithms of radiofrequency signal detection in non-Gaussian noise are presented. It is shown that taking into account of parameters of non-Gaussian noise in the form of cumulant coefficients of the third and higher orders, as well as the increase of the degree of polynomial decision rules (DR) allows to increase the probability of signal detection and reduce the probability of the second kind error. Generalized structure of polynomial decision rules for statistical hypothesis testing is offered.

The synthesis and analysis of the methods and algorithms of radiofrequency signal detection in non-Gaussian noise on the basis of moment-cumulant description of random variables, polynomial decision rules which are optimal by new moment quality criterion, such as Neyman-Pearson criterion, are the main objective of the paper. Such approach gives us the possibility to create the effective computer toolkit for the functioning of data receiving and processing systems.

The obtained results can be used to improve the accuracy of data processing in information-measuring, diagnostics, monitoring and control systems.

Keywords: non-Gaussian noise, signal detection, moment quality criterion, radiosignal with amplitude fluctuation

Рецензент С. А. Положаєнко, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет МОН України.

І. В. Яценко¹, к.т.н., доцент,
e-mail: irina.yatsenko.79@mail.ru

В. І. Гордієнко², д.т.н.,
О. В. Кириченко³, д.т.н., с.н.с.,
В. А. Ващенко¹, д.т.н., професор,
В. В. Цибулін¹

¹ Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18030, Україна

² Державне підприємство Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад»
вул. Б. Вишневецького, 85, м. Черкаси, 18000, Україна

³ Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнко, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ТЕРМОПРУЖНИХ НАПРУЖЕНЬ ПО ТОВЩИНІ ОПТИЧНИХ ОБТІЧНИКІВ ІЧ-ПРИЛАДІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОДІЙ

До цього часу недостатньо досліджено процеси нагріву обтічників з оптичних керамік у вигляді напівсферичних оболонок зустрічним надзвуковим потоком повітря, а також не вивчено комплексний вплив теплофізичних характеристик матеріалу кераміки (об'ємної теплоємності $C_V(T)$ і коефіцієнта теплопровідності $\lambda(T)$) в умовах надзвукового обдуву потоком повітря на розподіл температур і термопружних напружень у зонах максимальних зовнішніх термодій. Тому цю роботу присвячено математичному моделюванню процесу нагріву обтічників надзвуковим газовим потоком, а також визначенню критичних значень його параметрів (швидкості потоку, часу його дії, режиму обтікання), перевищення яких призводить до їх руйнування і виходу з ладу ІЧ-приладів.

Ключові слова: термопружні напруження, оптичний обтічник, тепловий вплив.

Вступ. Для підвищення надійності ІЧ-приладів в умовах пострілу і польоту необхідно на стадії їх проектування прогнозувати критичні значення параметрів зовнішніх термодій (швидкості обдуву потоком повітря для різних режимів обтікання (ламінарного, турбулентного) та часу зовнішньої термодії), перевищення яких призводить до виходу з ладу приладів.

До цього часу недостатньо досліджено процеси нагріву обтічників з оптичних керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12 тощо) у вигляді напівсферичних оболонок зустрічним надзвуковим потоком повітря, а також не вивчено комплексний вплив теплофізичних характеристик матеріалу кераміки (об'ємної теплоємності $C_V(T)$ і коефіцієнта теплопровідності $\lambda(T)$) в умовах надзвукового обдуву потоком повітря на розподіл температур і термопружних напружень у зонах максимальних зовнішніх термодій [1–7].

Метою роботи є математичне моделювання процесу нагріву обтічників надзвуковим газовим потоком, а також визначення критичних значень його параметрів (швидкості

потоку, часу його дії, режиму обтікання), перевищення яких призводить до їх руйнування і виходу з ладу ІЧ-приладів.

1. Математична модель процесу нагріву поверхні півсферичного обтічника при заданому тепловому потоці з приграничного шару. В роботі розглянуто задачу нагріву півсферичного обтічника зовнішнім газовим потоком: при заданому тепловому потоці з приграничного шару розраховується розподіл температури вздовж поверхні обтічника і термопружних напружень по його товщині з подальшим знаходженням їх критичних значень, перевищення яких призводить до руйнування обтічників [8, 9].

При обтіканні півсферичного обтічника надзвуковим потоком повітря на його поверхню з приграничного шару надходить тепловий потік q_w (рис. 1) [10].

При цьому розглядається симетричне обтікання, враховуються температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалу обтічника ($C_V(T) = C_{V0} \cdot T^\alpha$ та $\lambda(T) = \lambda_0 \cdot T^\alpha$, де C_{V0} , λ_0 , α – емпіричні константи) [5, 10].

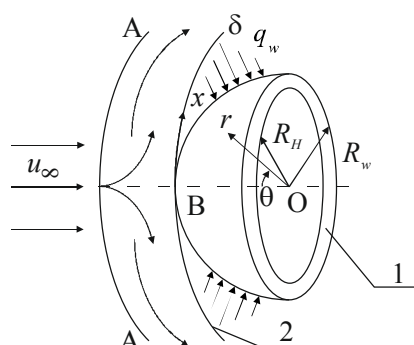


Рис. 1. Схема нагріву півсферичного обтічника: 1 – півсферична оболонка з оптичного матеріалу;
 В – передня критична точка (швидкість потоку дорівнює нулю);
 2 – зовнішня межа приграничного шару товщиною δ , r , θ – сферичні координати;
 R_w , R_H – радіуси зовнішньої та внутрішньої поверхонь обтічника відповідно;
 індекс « ∞ » – значення параметрів у повітряному потоці, що набігає

Також передбачається, що радіаційні тепловтрати з поверхні обтічника дуже малі (через малі значення температури поверхні). Також передбачається, що сферичного обтічника являє собою нестационарне нелінійне рівняння теплопроводності з граничними умовами II роду [11]:

$$C_V(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}[\lambda(T) \cdot \text{grad} T], \quad R_H < r < R_w, \quad 0 < \theta < \pi/2, \quad 0 < t < +\infty, \quad (1)$$

$$T|_{t=0} = T_0, \quad (2)$$

$$\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_w} = q_w, \quad (3)$$

$$\lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_H} = 0 \quad (\text{умова теплоізоляції}). \quad (4)$$

Вводячи заміну змінних

$$\bar{T} = T^{\alpha+1} - T_0^{\alpha+1}, \quad (5)$$

вихідну систему рівнянь (2)–(5) можна звести до такого лінеаризованого вигляду:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} = a_0^2 \left[\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \cdot \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial \theta} \right) \right], \quad (6)$$

$$\bar{T}|_{t=0} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial r} \Big|_{r=R_w} = \bar{q}_w, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial r} \Big|_{r=R_H} = 0, \quad (9)$$

$$\text{де } a_0^2 = \frac{\lambda_0}{C_{V0}}, \quad \bar{q}_w = \frac{\alpha+1}{\lambda_0} q_w(\theta). \quad (10)$$

Для розв'язання отриманої лінеаризованої системи рівнянь (6)–(9) було використано стандартний метод розділення змінних Фур'є [13].

В результаті, рішення вихідної задачі (1)–(4) було отримано у вигляді

$$T(r, \theta, t) = \left\{ T_0^{v+1} + \frac{(v+1) \cdot q_w(\theta) \cdot r \cdot (r - 2R_w)}{2(R_w - R_H)} + \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{m=l}^l \left[\frac{2l+1}{2\pi\epsilon} \cdot \frac{(l-m)!}{(l+m)!} \right]^2 \cdot E_i^{(l)}(r) \cdot Y_l^m(\theta) \cdot \int_{R_H}^{R_w} \int_0^{\pi} \int_0^t F(r, \theta, t) \cdot E_i^{(l)}(r) \cdot Y_l^m(\theta) \cdot e^{-\lambda_i^{(l)}(t-\tau)} \cdot r^2 \sin\theta \cdot dr d\theta d\tau \right\}^{\frac{1}{v+1}}, \quad (11)$$

де функції $q_w(\theta)$, $E_i^{(l)}(r)$, $Y_l^m(\theta)$ та параметри $\lambda_i^{(l)}$ знаходяться з відомих співвідношень [13].

2. Знаходження розподілів температури вздовж поверхні обтічника та по його товщині. З використанням відомих фізико-технічних даних та розроблених пакетів прикладних програм [3, 5] для оптичних керамік КО1, КО2, КО3, КО5, КО12 проведено розрахунки розподілів температури вздовж поверхні обтічника та по його товщині для різних швидкостей обдуву потоком повітря, режимів обтікання та часу теплового впливу.

Розподіл температури вздовж поверхні обтічника найбільш істотно залежить від режиму обтікання: для ламінарного режиму максимум температури знаходиться поблизу його передньої критичної точки ($\theta = 0^\circ$, $u_\infty = 0$), а для турбулентного режиму цей максимум зміщений уздовж поверхні обтічника на відстань, що відповідає $\theta_{max} = 17...21^\circ$.

При цьому зміна швидкості обдуву потоком повітря і часу теплового впливу не впливають на розташування максимуму температури.

Збільшення швидкості потоку повітря від $5 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^3$ м/с і часу теплового впливу до 16 с призводить до зростання максимальної температури поверхні обтічника T_{max} у 1,5...2,8 разу для ламінарного режиму обтікання та у 2,6...4,7 разу – для турбулентного режиму.

При збільшенні відстані від поверхні обтічника до його нижньої сторони максимальна температура зменшується для всіх режимів обтікання (в 1,2...1,3 разу для ламінарного режиму обтікання та в 1,4...1,5 разу для турбулентного режиму обтікання).

Таким чином, максимальна температура поверхні обтічника для усіх розглянутих оптичних керамік (аналогічно й температура нижньої сторони) у випадку турбулентного режиму обтікання значно перевищує її значення для випадку ламінарного режиму обтікання (наприклад, для $u_\infty = 10^3...2 \cdot 10^3$ м/с і $t = 5...10$ с – у 2,5...3,5 разу).

Зіставлення результатів розрахунків з експериментальними даними показує, що різниця між ними не перевищує 5...7 %.

3. Знаходження термопружних напружень у зонах максимального термовпливу на поверхні обтічника. Руйнування обтічників відбувається на ділянках їх поверхонь, де температура досягає максимального значення T_{max} , тобто в зонах максимальних зовнішніх термодій [3, 5].

Тому, в першу чергу, важливо вміти прогнозувати значення термопружних напружень у зонах, де $T_n = T_{max}$.

Враховуючи також, що ділянки поверхні обтічника, які піддаються максимальним зовнішнім термодіям, мають малу кривизну ($\Delta\theta_{max} \approx 4^\circ$, див. рис. 1), їх можна розглядати як плоскі шари товщиною $H = R_w - R_H$ (відносна похибка становить менше 1 % [13]), по глибині яких має місце розподіл температури

$$\bar{T}(r, t) = T_{nmax}(r, t) = T(r, \theta, t)|_{\theta=\bar{\theta}_{max}}, \quad (12)$$

де як $\bar{\theta}_{max}$ прийнято його середнє значення встановленого діапазону зміни $\theta_{max} = 19^\circ...23^\circ$.

Експериментальні дослідження з вимірювання температури поверхні обтічника проводили в його передній критичній точці за допомогою хромель-алюмелевих термопар (діапазон вимірювання температури – 400...1600 К [14]).

Для вимірювання величин мікронапружень у поверхневих шарах обтічників з оптичних керамік використовували дифрактометри загального призначення «ДРОН-0.5», «ДРОН-2.0», «ДРОН-3.0», а також відомі методи, які розроблені для аналізу структури полікристалів за допомогою зйомки у рентгенівських променях з різними довжинами хвиль [15].

Виникнення термопружних напружень у випадку, що розглядається, пов'язане з градієнтом температури по товщині (вздовж r) обтічника. Тоді компоненти термопружних напружень можуть бути визначені на основі припущень, що має місце плоский термонапружений стан і плоскі перерізи, перпендику-

лярні до поверхні обтічника, що нагрівається, залишаються такими ж у процесі нагріву.

В цьому випадку для одновимірного температурного поля $\bar{T}(r, t)$ в необмеженому, віль-

ному від поверхневих сил плоскому шарі з не-закріпленими краями термopружні напруження $\sigma(r, t)$ визначаються таким виразом [16]:

$$\sigma(r, t) = \frac{\alpha_V \cdot E}{1 - \nu} \cdot \left[-\bar{T}(r, t) + \frac{2}{H^2} \cdot (2H - 3r) \cdot \int_0^H \bar{T}(r, t) dr - \frac{6}{H^3} \cdot (H - 2r) \cdot \int_0^H \bar{T}(r, t) \cdot r dr \right]. \quad (13)$$

За формулою (13) з урахуванням (11) і (12) за допомогою пакетів прикладних програм та фізико-технічних параметрів обтічника [3, 5, 12] проведено розрахунки розподілів $\sigma(r, t)$ у досліджуваних зонах на його поверхні залежно від швидкості обдуву потоком повітря, різних режимів обтікання та часу теплового впливу (рис. 2–7).

Термopружні напруження в зонах максимального зовнішнього термовпливу розподілені по товщині обтічника таким чином: на поверхні обтічника і в його поверхневих шарах мають місце стискаючі напруження ($\sigma < 0$, $|\sigma|_{max}$ досягає значень $10^8 \text{ Н/м}^2 \dots 3,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$), а на його нижній стороні – розтяжні напруження ($\sigma > 0$, $|\sigma|_{max}$ досягає значень $0,5 \cdot 10^8 \dots 1,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$); при цьому, для турбулентного режиму обтікання $|\sigma|_{max}$ перевищує його значення для ламінарного режиму обтікання у 4...5 разів.

При збільшенні швидкості обдуву потоком повітря від $5 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^3$ м/с величина $|\sigma|_{max}$ зростає як для ламінарного, так і для турбулентного режимів обтікання до значення σ^* (σ^* – граничні значення термopружних напружень, при яких руйнується матеріал; u_∞^* – значення швидкості обдуву потоком повітря, при якій величина $|\sigma|_{max}$ стає рівною σ^*).

При цьому, величина u_∞^* істотно залежить як від режиму обтікання півсфери, так і від часу зовнішнього теплового впливу t : наприклад, при збільшенні t від 5 до 35 с значення u_∞^* зменшуються в 1,4...1,5 разу (турбулентний режим обтікання); для усього дослідженого діапазону зміни u_∞ у випадку ламінарного режиму обтікання значення u_∞^* відсутні.

Таким чином, у зонах максимальних зовнішніх термодій на поверхню обтічника процес руйнування його матеріалу найбільш

суттєво залежить від режиму обтікання: для турбулентного режиму обтікання руйнування матеріалу обтічника відбувається в його приповерхневих шарах; для ламінарного режиму обтікання його руйнування вже не спостерігається.

Зіставлення розглянутих вище результатів розрахунків з результатами проведених експериментальних досліджень на спеціально розробленій випробувальній установці [3, 5], що моделює надзвуковий обдув потоком повітря зі швидкістю до $2 \cdot 10^3$ м/с та вісесиметричне обертання з кутовою швидкістю до $4 \cdot 10^3$ рад/с зразків обтічників, показало [1], що вони повністю адекватні один одному (відносна похибка не перевищує 5...7 % замість 8...12 % у існуючих моделей).

Висновки:

1. Встановлено, що розподіл температури вздовж поверхні обтічника найбільш істотно залежить від режиму обтікання: для ламінарного режиму максимум температури знаходиться поблизу його передньої критичної точки, а для турбулентного режиму максимум температури зміщений уздовж поверхні обтічника на відстані, що відповідають

$$\theta_{max} = 17 \dots 21^\circ.$$

2. Показано, що термopружні напруження в зонах максимальних зовнішніх термодій по товщині обтічника розподілені таким чином: на поверхні обтічника і в його поверхневих шарах мають місце стискаючі напруження ($\sigma < 0$, $|\sigma|_{max}$ досягає значень $10^8 \text{ Н/м}^2 \dots 3,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$), а на нижній стороні обтічника і в його прилеглих шарах – розтяжні напруження ($\sigma > 0$, $|\sigma|_{max}$ досягає значень $0,5 \cdot 10^8 \dots 1,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$); при цьому, для турбулентного режиму обтікання $|\sigma|_{max}$ перевищує його значення для ламінарного режиму в 4...5 разів.

3. Встановлено взаємозалежності критичних значень швидкостей обдуву потоком повітря обтічника і часу його теплового впливу, перевищення яких призводить

до руйнування обтічника; при цьому для турбулентного режиму обтікання руйнування обтічника відбувається поблизу його

поверхні, а для ламінарного режиму руйнування обтічника вже не спостерігається.

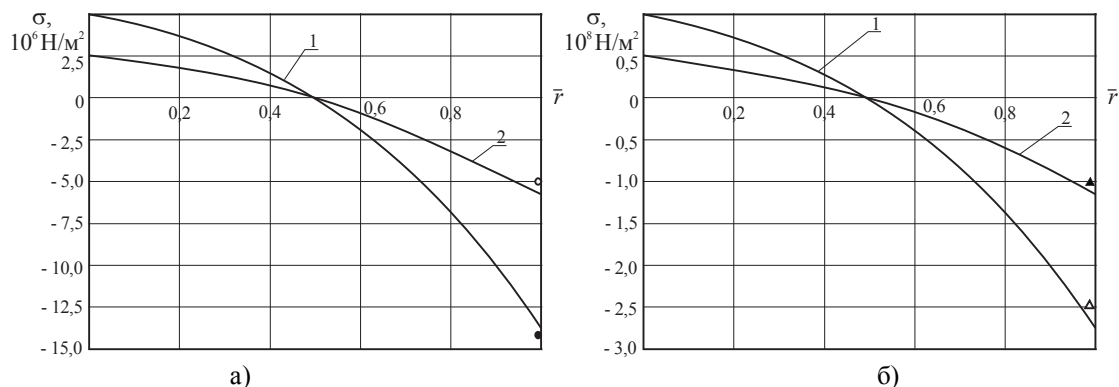


Рис. 2. Розподіл термопружних напружень по товщині обтічника з оптичної кераміки КО2 у зонах максимальної зовнішньої термодії для турбулентного (а) та ламінарного (б) режимів обтікання ($T_0 = 300$ К, $R_w = 0,02$ м, $R_H = 0,015$ м, $t = 10$ с): 1 – $u_\infty = 1,5 \cdot 10^3$ м/с; 2 – $u_\infty = 10^3$ м/с;

●, ○, Δ, ▲ – експериментальні дані

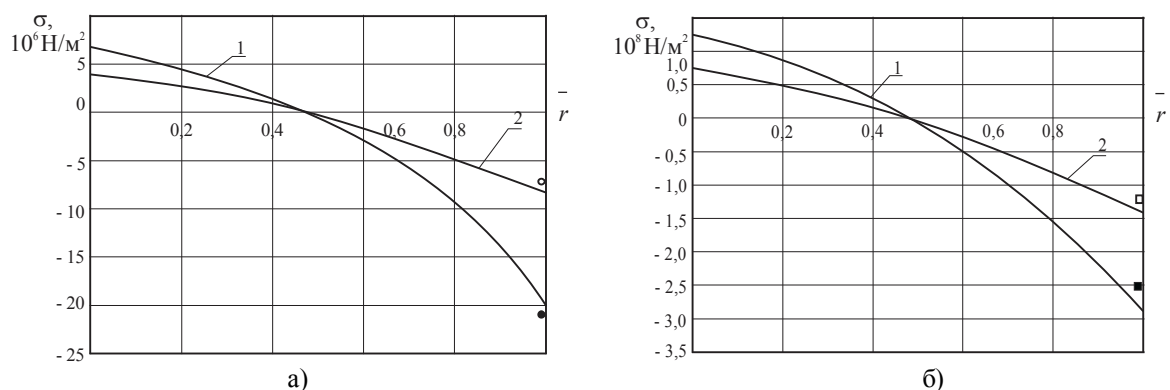


Рис. 3. Розподіл термопружних напружень по товщині обтічника з оптичної кераміки КО1 в зонах максимальної зовнішньої термодії для ламінарного (а) та турбулентного (б) режимів обтікання (решта позначень аналогічні рис. 2)

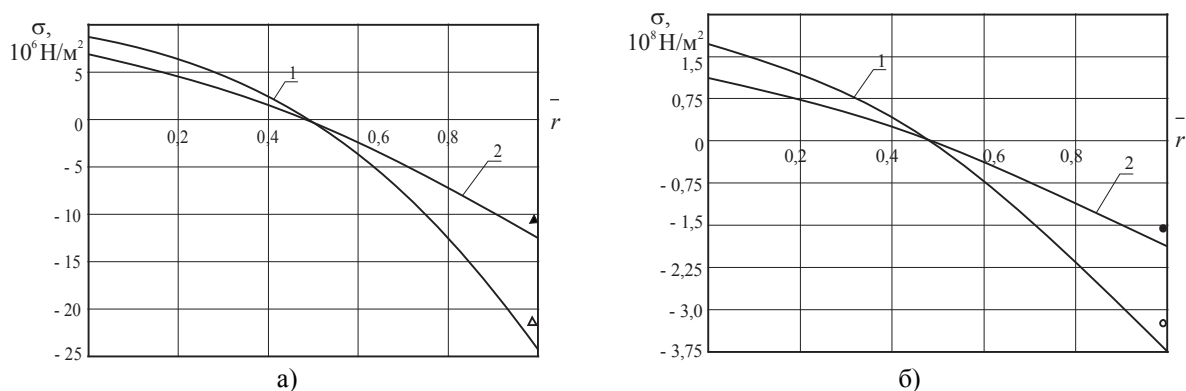


Рис. 4. Розподіл термопружних напружень по товщині обтічника з оптичної кераміки КО12 в зонах максимальної зовнішньої термодії для ламінарного (а) та турбулентного (б) режимів обтікання (решта позначень аналогічні рис. 2)

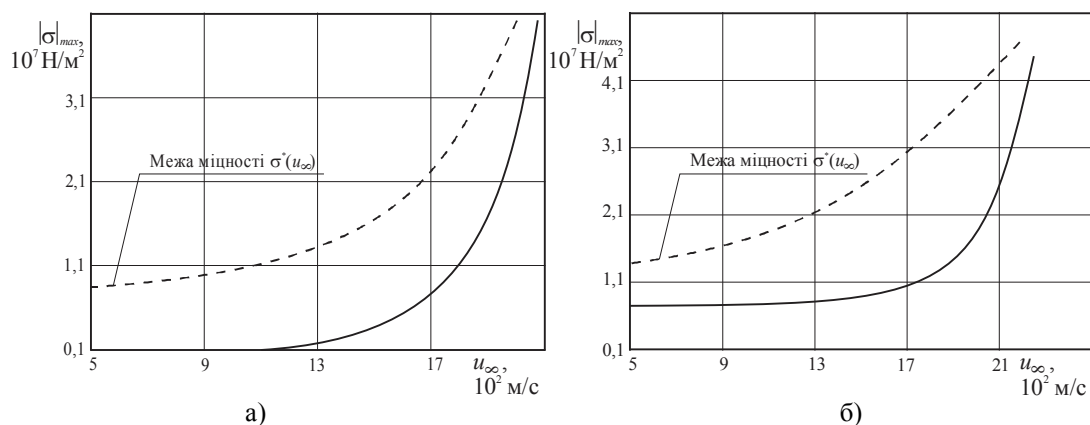


Рис. 5. Залежність модуля максимальних термопружних напружень $|\sigma|_{max}$ в зоні максимальної термодії на поверхні обтічника з оптичної кераміки КО2 (а) та КО5 (б) від швидкості обдуву потоком повітря для ламінарного режиму обтікання (решта позначень аналогічні рис. 2)

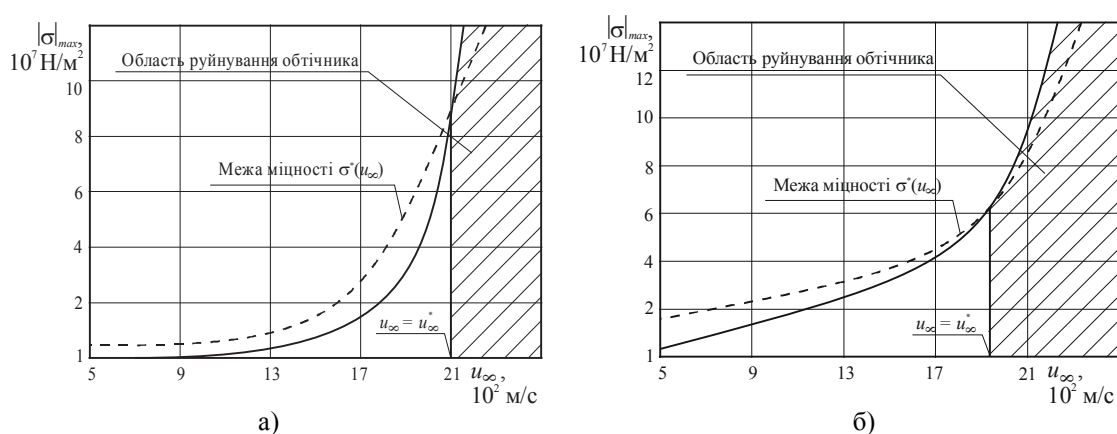


Рис. 6. Залежність модуля максимальних термопружних напружень $|\sigma|_{max}$ в зоні максимальної термодії на поверхні обтічника з оптичної кераміки КО2 (а) та КО5 (б) від швидкості обдуву потоком повітря для турбулентного режиму обтікання ($T_0 = 300$ К, $R_w = 0,02$ м, $R_H = 0,015$ м, $t = 15$ с)

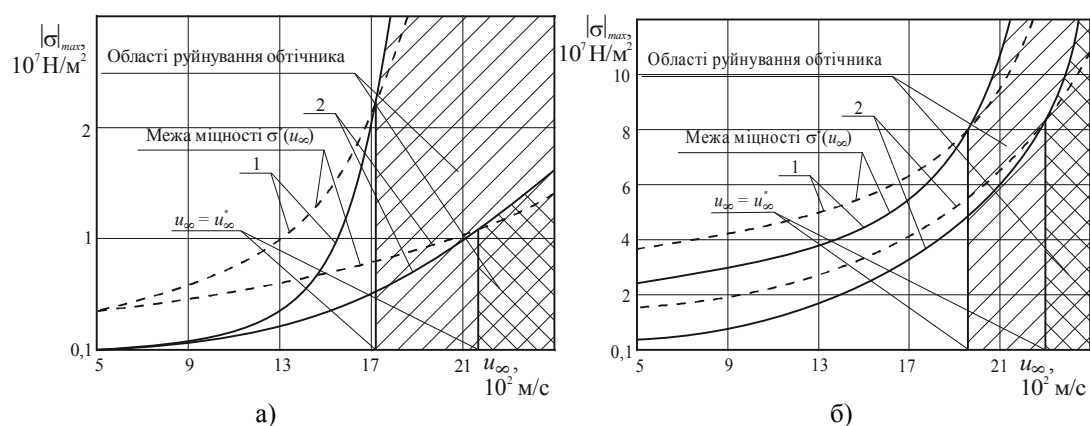


Рис. 7. Вплив на залежність $|\sigma|_{max}(u_{\infty})$ часу зовнішньої термодії для турбулентного режиму обтікання поверхні півсферичного обтічника з оптичної кераміки КО2 (а) та КО1 (б): 1 – $t = 30$ с; 2 – $t = 15$ с (решта позначень аналогічні рис. 6)

Список літератури

1. Лазарев Л. П. Инфракрасные приборы самонаведения летательных аппаратов / Л. П. Лазарев. – М. : Машиностроение, 1970. – 231 с.
2. Обтекатели и защитные окна / [А. И. Лазарев, П. А. Захаров, А. И. Герасимов и др.]. – М. : ЦНИИ информации, 1982. – 312 с.
3. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплу-

- атации изделий на их основе : монография / [В. А. Ващенко, Д. И. Котельников, Ю. Г. Лега и др.]. – К. : Наукова думка, 2006. – 368 с.
4. Тарасов В. В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
 5. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів / В. А. Ващенко, І. В. Яценко, Ю. Г. Лега, О. В. Кириченко. – К. : Наукова думка, 2011. – 562 с.
 6. Попередження можливих руйнувань оптичних елементів точного приладобудування в умовах зовнішніх термодій / І. В. Яценко, В. С. Антонюк, В. А. Ващенко, В. В. Цибулін // Журнал нано- та електронної фізики. – 2016. – Т. 8, № 1. – С. 01027 – 01032.
 7. Yatsenko I. V. Experimental and statistical models of impact determination of the electron beam parameters on surface layers properties of optical elements in precision instruments building / I. V. Yatsenko // Pratsi. Odes'kyi politechnichnyi universytet. – 2016. – Issue 1 (48). – P. 63–69.
 8. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.
 9. Гинзбург И. П. Аэрогазодинамика / И. П. Гинзбург. – М. : Высшая школа, 1966. – 404 с.
 10. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1987. – 840 с.
 11. Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування : навч. посіб. / [В. А. Ващенко, В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик та ін.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 412 с.
 12. Окатов М. А. Справочник оптика-технолога / Окатов М. А., Антонов Э. А., Байгожин А. Б. – С-Пб. : Политехника, 2004. – 679 с.
 13. Бугров Я. С. Высшая математика. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного : учебник для вузов / Я. С. Бугров, С. М. Никольский. – М. : Наука, 1989. – 454 с.
 14. Температурные измерения : справочник / [О. А. Геращенко, А. Н. Гордов, А. К. Еремина и др.]. – К. : Наукова думка, 1989. – 704 с.
 15. Дубровська Г. М. Прилади застосування фізичних методів дослідження структури поверхні / Дубровська Г. М., Канашевич Г. В., Божко Н. І. – Сільхет : Шобуж Біпоні, Удоун Офсет Принтерс, 2007. – 248 с.
 16. Коваленко А. Д. Основы термоупругости. / А. Д. Коваленко. – К. : Наукова думка, 1970. – 307 с.

References

1. Lazarev, L. P. (1970) Infrared devices for aircraft homing. Moscow: Mashinostroeniye, 231 p. [in Russian].
2. Lazarev, A. I., Zakharov, P. A., Gerasimov, A. I. et al. (1982) Fairings and protective windows. Moscow: CNII informatsii, 312 p. [in Russian].
3. Vashchenko, V. A., Kotelnikov, D. I., Lega, Yu. G. et al. (2006) Thermal processes in electronic processing of optical materials and operation of products based on them. Kiev: Naukova dumka. 368 p. [in Russian].
4. Tarasov, V. V. and Yakushenkov, Yu. G. (2004) Infrared systems of “supervisor” type. Moscow: Logos, 444 p. [in Russian].
5. Vashchenko, V. A., Yatsenko, I. V., Lega, Yu. G. and Kyrychenko, E. V. (2011) The basics of electronic processing of optical materials. Kyiv: Naukova dumka, 562 p. [in Ukrainian].
6. Yatsenko, I. V., Antonyuk, V. S., Vashchenko, V. A. and Tsybulin, V. V. (2016) Prevention of possible destruction of optical elements of precision instrument-making in the conditions of external thermo-influences. *Zhurnal nano ta elektronnoyi fizyky*, Vol. 8, No. 1, pp. 01027 – 01032 [in Ukrainian].
7. Yatsenko, I. V. (2016). Experimental and statistical models of impact determination of the electron beam parameters on surface layers properties of optical elements in precision instruments building. *Pratsi. Odes'kyi politechnichnyi universytet*, Issue 1 (48), pp. 63–69.
8. Abramovich, G. N. (1969) Applied gas dynamics. Moscow: Nauka, 824 p. [in Russian].
9. Ginsburg, I. P. (1966) Aerogas dynamics. Moscow: Vyschaya shkola, 404 p. [in Russian].
10. Loytsyanskii, L. G. (1987) Mechanics of liquid and gas. Moscow: Nauka. 840 p. [in Russian].
11. Vashchenko, V. A., Antonyuk, V. S., Tymchyk, G. S. et al. (2012) Fundamentals of heat transfer in optical instrument elements. Kyiv: NTUU “KPI”, 412 p. [in Ukrainian].
12. Okatov, M. A., Antonov E. A. and Baigozhin, A. B. (2004) Handbook of optics technologist. St.-Petersburg: Politechnica, 679 p. [in Russian].

13. Bugrov, Ya. S. and Nikolskii, S. M. (1989) Higher mathematics. Differential equations. Multiple integrals. Ranks. Functions of a complex variable. Moscow, Nauka. 454 p. [in Russian].
14. Gerashchenko, O. A., Gordov, A. N., Eremina, A. K. et al. (1989) Temperature measurements: Directory. Kyiv: Naukova dumka, 704 p. [in Russian].
15. Dubrovskaya, G. M., Kanashevich, G. V. and Bozhko, N. I. (2007) Devices of the use of physical methods for surface structure investigation. Silchet: Shobuzh Biponi, Udown Offset Printers. 248 p. [in Ukrainian].
16. Kovalenko, A. D. (1970) Fundamentals of thermo-elasticity. Kyiv: Naukova dumka, 307 p. [in Russian].

I. V. Yatsenko¹, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: irina.yatsenko.79@mail.ru

V. I. Gordienko², *Dr.Sc.,*

O. V. Kirichenko³, *Dr.Sc., professor, senior staff scientist,*

V. A. Vaschenko¹, *Dr.Sc., professor,*

V. V. Tsybulin¹

¹Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18030, Ukraine

²State Enterprise Research and Production Complex "Photopribor"

B. Vyshnevetskogo str., 85, Cherkasy, 18000, Ukraine

³Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes

of National University of Civil Protection of Ukraine,

Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

DETERMINATION OF DISTRIBUTIONS OF TEMPERATURE AND THERMOELASTIC STRESSES THROUGH THE THICKNESS OF OPTICAL FAIRINGS OF IR-DEVICES IN THE CONDITIONS OF INTENSE EXTERNAL THERMO-INFLUENCES

By this time the processes of heating of optical ceramics fairings in the form of hemispherical shells by oncoming supersonic air stream are insufficiently investigated, and also integrated effect of thermophysical characteristics of ceramics material (volumetric heat capacity $C_V(T)$ and thermal conductivity coefficient $\lambda(T)$) under supersonic blowing by air flow on the distribution of temperatures and thermoelastic stresses in zones of maximum external thermo-influences is not studied.

This work is devoted to mathematical modeling of the process of fairings heating by supersonic gas flow and determination of critical values of its parameters (flow rate, its duration, mode of flow), the excess of which leads to their destruction and IR-devices failure. Mathematical model for heating infrared devices fairings by supersonic air stream, taking into account temperature dependence of thermal-physical properties of optical materials, is developed. The calculations of temperature distributions and thermal-elastic stresses in fairings are performed. Critical velocity of blowing air flow of the fairing and time of heat exposure, the excess of which leads to fairing destruction and IR-devices failure are calculated. It is established that temperature distribution along fairing surface most significantly depends on flow regime: for laminar regime the maximum temperature is close to its front critical point, and for turbulent regime the maximum temperature is shifted along fairing surface at the distance corresponding to $\theta_{max} = 17...21^\circ$. It is shown that thermo-elastic stresses in zones of maximum external thermo-influences on fairing thickness are distributed as follows: on fairing surface and in its surface layers compressive stresses take place ($\sigma < 0$, $|\sigma|_{max}$ reaches the values of $10^8...3,5 \cdot 10^8$ N/m²), and on fairing underside and in its adjacent layers tensile stresses are present ($\sigma > 0$, $|\sigma|_{max}$ reaches the values of $0,5 \cdot 10^8$ to $1,5 \cdot 10^8$ N/m²); however, for turbulent regime the flow exceeds its value for laminar regime in 4...5 times. Interdependences of critical values of the velocity of fairing blowing by air flow and the time of its exposure to heat, the excess of which leads to fairing destruction, are established; while for turbulent flow regime the fairing destruction occurs near its surface, and for laminar regime the fairing destruction is no longer observed.

Keywords: thermal-elastic stresses, optical fairing, thermal influence.

Статтю представляє В. А. Ващенко, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.

С. А. Нестеренко, д.т.н., профессор

Одесский национальный политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина

e-mail: sa_nesterenko@ukr.net

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Рассмотрена актуальная научно-техническая проблема, связанная с оценкой эффективности использования новых энергоэффективных технологий стандарта IEEE 802.3az в коммуникационных системах компьютерных сетей. Показано, что оценку эффективности применения энергоэффективных технологий в компьютерной сети целесообразно проводить на уровне каждого порта ее коммуникационной системы.

Проведена разработка математических моделей для расчета потребляемой мощности портом коммуникационного устройства, работающим по стандарту IEEE 802.3 и стандарту IEEE 802.3az. В качестве моделей для расчета мощности, потребляемой портом, используются стохастические модели массового обслуживания. Модели учитывают вероятность нахождения канала в активном состоянии (передача данных) и в состоянии паузы (отсутствие передачи данных). Проведена верификация моделей, которая подтвердила достаточную для инженерных расчетов точность получаемых результатов.

С использованием полученных моделей предложены аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать экономическую эффективность проведения модернизации компьютерной сети по снижению потребления электроэнергии и определять сроки окупаемости затрат на оборудование для модернизации.

Ключевые слова: стандарт IEEE 802.3az, математическая модель, компьютерная сеть, снижение потребления электроэнергии.

Введение. Появление в 2010 г. новой модификации стандарта для проводных сетей Ethernet, ориентированного на существенное уменьшение потребления энергии в коммуникационных системах, – энергосберегающего стандарта IEEE 802.3az – Energy Efficient Ethernet (EEE) [1] положило начало новому этапу в развитии компьютерных сетей (КС). Данный этап получил название Green Networks и связан с построением энергоэффективных коммуникационных систем КС [2]. Появление в последнее время большого количества коммуникационных устройств и сетевых адаптеров, поддерживающих технологию EEE, переводит этот вопрос из теоретической в практическую плоскость [3]. Появление модификации стандарта EEE под названием EEE+ позволяет строить энергоэффективные КС путем замены только коммуникационного оборудования без замены сетевых адаптеров абонентов сети, что делает этот процесс менее затратным и более привлекательным для широкого класса сетей – от домашних до корпоративных и производственных сетей [4].

При принятии решения о переходе на энергосберегающие технологии перед сетевыми инженерами возникает задача оценки экономической эффективности данного перехода. Экономическая эффективность определяется двумя показателями: затратами на проведение модернизации и экономией средств, связанных с внедрением энергосберегающих технологий. Расчет затрат на внедрение новой технологии выполняется тривиальным образом и определяется стоимостью покупки энергосберегающего оборудования. Расчет экономии средств от внедрения энергосберегающего оборудования является нетривиальной задачей и требует наличия соответствующих моделей для проведения данных расчетов.

Анализ известных работ в данной области показывает, что исследования, проведенные в работах, посвященных анализу EEE, можно разделить на две группы. К первой группе относятся работы, которые посвящены разработке и анализу эффективности различных алгоритмов управления состояниями канала, работающего по технологии EEE, а

именно, переключению в режим пониженного энергопотребления и возвращению в активный режим. В работах, как правило, с использованием имитационных систем моделирования, исследуются режимы без группирования кадров [2], режимы с группированием кадров [5, 6], режим адаптивного управления переключениями [7], а также различные их комбинации [8]. По результатам исследований делается вывод об эффективности того или иного алгоритма, с точки зрения минимизации потребления энергии, в зависимости от интенсивности поступления кадров, их размера и пропускной способности канала.

Вторая группа работ посвящена практическому исследованию эффективности использования энергосберегающего оборудования на базе технологии EEE [9, 10]. Основным выводом данных работ связан с подтверждением того факта, что технология EEE уменьшает потребление электроэнергии в канале Ethernet на 40–80 % в зависимости от его загрузки.

Таким образом, в работах, посвященных анализу EEE, отсутствуют модели, позволяющие сетевому инженеру ответить на вопрос об эффективности и сроках окупаемости внедрения энергоэффективных сетевых технологий. Это, во многих случаях, является замедляющим фактором в принятии решения о проведении Green Networks модернизации КС.

В статье предлагаются модели расчета экономической эффективности внедрения энергосберегающих технологий. Модели используют простые аналитические зависимости, что позволяет проводить требуемые расчеты, связанные с оценкой эффективности и сроков окупаемости затрат на модернизацию КС, быстро и без использования сложных систем моделирования или разработки программ расчета сложных аналитических зависимостей. Простота расчетов и достаточная для инженерных расчетов точность предлагаемых моделей делают их удобным инструментом при принятии решений о проведении энергоэффективной модернизации КС.

Расчет стоимости эксплуатации коммуникационного устройства. Расчет стоимости эксплуатации проводится для типового коммуникационного устройства (КУ), в качестве которого в современных КС используются N -портовые коммутаторы или маршрутизаторы [11]. Расчет потребляемой мощности КУ проводится на уровне его пор-

тов. Суммарная потребляемая мощность КУ рассчитывается в виде

$$P_K = \sum_{i=1}^N P_i,$$

где P_K – мощность, потребляемая КУ, P_i – мощность, потребляемая i -м портом.

При использовании стандартной технологии 802.3 канал может находиться в двух состояниях: активном (Active) при передаче кадра данных и паузы (Idle), когда передача данных отсутствует (рис. 1). Типовые значения потребляемой мощности в каждом из возможных состояний для двух реализаций канала 100 и 1000 Мбит Ethernet приведены в табл. 1 [9].



Рис. 1. Диаграмма работы стандартного канала IEEE 802.3

Таблица 1

Потребляемая портом мощность в различных состояниях канала IEEE 802.3

Реализации технологии IEEE 802.3	Потребляемая мощность (Вт·10 ⁻³)
1000 Mbps Active	541
1000 Mbps Idle	529
100 Mbps Active	215
100 Mbps Idle	208

Потребляемая портом мощность зависит от величины загрузки канала U , которая определяется в виде

$$U = \frac{\lambda}{\mu},$$

где λ – интенсивность передачи кадров в канале, μ – пропускная способность канала.

Пропускная способность канала определяется максимальным количеством кадров, которое может пропустить канал в единицу времени.

С учетом допущения о Пуассоновском распределении интервалов между кадрами и допущения об экспоненциальном распределении времени обслуживания кадров в канале

порт КУ можно представить в виде системы М/М/1. Тогда пропускную способность канала, работающего в стандартном режиме стандарта IEEE 802.3, можно представить в виде [12]

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{ПЕР}}}, \quad T_{\text{ПЕР}} = \frac{\lambda \cdot T_{\text{ТР}}}{\lambda(1 - \lambda \cdot T_{\text{ТР}})},$$

$$T_{\text{ТР}} = \frac{L_{\text{К}} + L_{\text{П}}}{V_{\text{К}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ПЕР}}$ – среднее время передачи кадра в канале, которое учитывает время ожидания кадра в очереди на передачу, $T_{\text{ТР}}$ – время транзакции кадра по физическому каналу, $L_{\text{К}}$ – размер кадра в битах, $L_{\text{П}}$ – минимальный размер паузы в битах, который определен стандартом IEEE 802.3 в 96 бит [1], $V_{\text{К}}$ – скорость передачи битов в физическом канале связи.

Мощность, потребляемую i -м портом, работающим по стандарту IEEE 802.3, можно записать в виде

$$P_i^S = [P_A U_i + P_{\text{П}}(1 - U_i)], \quad (2)$$

где P_A – мощность, потребляемая портом в активном состоянии, $P_{\text{П}}$ – мощность, потребляемая в состоянии паузы.

Выражение (2) является моделью потребления мощности портом КУ, работающим по стандарту IEEE 802.3.

Количество энергии Q_i^S , потребленное i -м портом, работающим по стандарту IEEE 802.3, за время T выразится в виде

$$Q_i^S = P_i^S \cdot T.$$

Количество энергии Q^S , потребленное N -входовым КУ, работающим по стандарту IEEE 802.3, за время T , запишется как

$$Q^S = Q_i^S \cdot N.$$

Стоимость эксплуатации КУ, работающего по стандарту IEEE 802.3, за время T будет равна

$$C^S = Q^S \cdot C_{\text{К}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{К}}$ – стоимость 1 кВт/час электроэнергии.

Расчет стоимости эксплуатации коммуникационного устройства в режиме ЕЕЕ. Работа канала в режиме ЕЕЕ описывается временной диаграммой, представленной на рис. 2 [1].

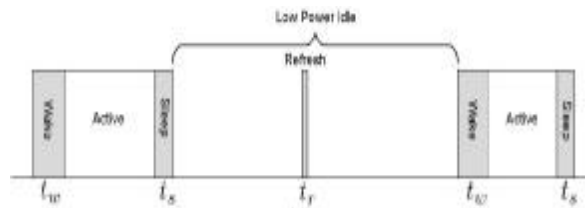


Рис. 2. Временная диаграмма работы канала в режиме ЕЕЕ

После завершения передачи кадра следует процедура (Sleep), выполняющая переход канала из активного состояния (Active) в режим пониженного энергопотребления (Low Power Idle – LPI). В этом состоянии канал находится до появления следующего кадра для передачи. При появлении кадра выполняется процедура пробуждения канала (Wake), после чего канал вновь переходит в активное состояние и выполняется процедура передачи кадра. Типовые значения потребляемой энергии для различных состояний режима ЕЕЕ для 100 и 1000 Мбит/с стандарта IEEE 802.3az приведены в табл. 2 [8].

Таблица 2

Потребляемая мощность в различных состояниях канала IEEE 802.3az

Реализации технологии IEEE 802.3az	Потребляемая мощность (Вт·10 ⁻³)
1000 Mbps Active	535
1000 Mbps Low Power Idle	152
100 Mbps Active	208
100 Mbps Low Power Idle	139

Для расчета потребляемой портом КУ мощности надо учесть диаграмму переходов между состояниями канала. Для реализаций 100 и 1000 Мбит/с стандарта IEEE 802.3az диаграмма переходов приведена на рис. 3. Очевидно, что время передачи кадра зависит от того, в каком состоянии будет находиться канал в момент прихода кадра. Если канал находится в активном состоянии или в состоянии переключения из активного состояния в состояние пониженного энергопотребления, то, как следует из диаграммы, время передачи минимально и определяется в виде

$$T_{\text{ПЕР}}^{\text{min}} = \frac{\lambda \cdot T_{\text{ТР}}}{\lambda(1 - \lambda \cdot T_{\text{ТР}})},$$

где $T_{\text{ТР}}$ – время транзакции кадра по физическому каналу связи.

Очевидно, что при таком определении $T_{\text{ПЕР}}^{\min}$ мы получим верхнюю границу потребления мощности в режиме ЕЕЕ, что соответствует моменту прихода кадра в конце периода t_S .

В противном случае время передачи кадра максимально и равно

$$T_{\text{ПЕР}}^{\max} = T_{\text{ПЕР}}^{\min} + t_W,$$

где t_W – время возврата в активное состояние. Значения времени переключения для реализаций 100 и 1000 Мбит/с, определенные в стандарте IEEE 802.3az, приведены в табл. 3 [1].

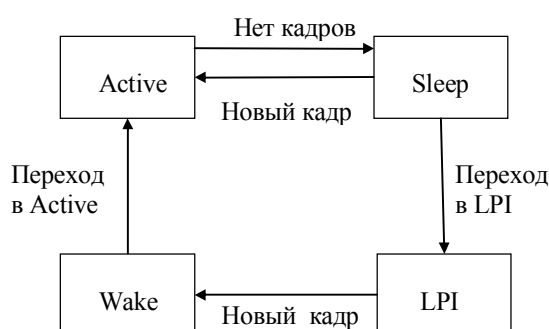


Рис. 3. Диаграмма переходов канала стандарта IEEE 802.3az для реализаций 100 и 1000 Мбит/с

Очевидно, что среднее время передачи кадра можно представить в виде

$$T_{\text{ПЕР}}^{\text{avr}} = T_{\text{ПЕР}}^{\min} \cdot P_1 + T_{\text{ПЕР}}^{\max} \cdot P_2,$$

где P_1 – вероятность прихода следующего кадра в момент передачи предыдущего, когда канал находится в активном состоянии, либо в момент времени до завершения фазы t_S , когда канал не успел переключиться в состояние пониженного энергопотребления, P_2 – вероятность противоположного события.

Таблица 3
Временные параметры работы стандарта IEEE 802.3az

Реализации технологии IEEE 802.3az	t_S , мкс	t_W , мкс
1000 Mbps	182	16
100 Mbps	200	30

В предположении, что интервалы времени между приходом кадров распределены по закону Пуассона, вероятность того, что за время передачи кадра и времени t_S не придет ни одного нового кадра, будет равна

$$P_0 = \frac{(\lambda \cdot T)^0}{0!} e^{-\lambda T} = e^{-\lambda T}, \quad T = T_{\text{ПЕР}}^{\min} + t_S,$$

где λ – интенсивность поступления кадров в канал, t_S – время переключения канала из активного состояния в состояние пониженного энергопотребления.

Тогда вероятности P_1 и P_2 будут равны

$$P_1 = T_{\text{ПЕР}}^{\min} \cdot (1 - e^{-\lambda T}),$$

$$P_2 = T_{\text{ПЕР}}^{\min} \cdot e^{-\lambda T},$$

Загрузка i -го порта коммутатора U_i , работающего в режиме ЕЕЕ, в соответствии с выражением (1) запишется в виде

$$U_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} = \lambda_i \cdot T_{\text{ПЕР}_i}^{\text{avr}}.$$

Мощность, потребляемую i -м портом в режиме ЕЕЕ, можно записать в виде

$$P_i^{\text{EEE}} = [P_A U_i + P_{LPI} (1 - U_i)], \quad (4)$$

где P_{LPI} – мощность, потребляемая в режиме пониженного энергопотребления.

Выражение (4) является моделью потребления мощности портом КУ, работающим по стандарту IEEE 803.3az.

Для оценки точности предложенных моделей проведено сравнение данных, полученных с использованием моделей (2) и (4), с экспериментальными данными измерений потребляемой мощности, приведенными в [8]. Максимальная погрешность расчетных результатов не превышает 8 %, что говорит о достаточной точности предложенных моделей.

Количество энергии Q^{EEE} , потребленное N -входовым КУ, работающим в режиме ЕЕЕ, за время T запишется как

$$Q^{\text{EEE}} = \sum_{i=1}^N Q_i, \quad Q_i = P_i^{\text{EEE}} \cdot T.$$

Стоимость эксплуатации КУ, работающего в режиме ЕЕЕ, за время T будет равна

$$C^{\text{EEE}} = Q^{\text{EEE}} \cdot C_K. \quad (5)$$

Очевидно, что экономия средств C_3 , связанная с эксплуатацией КУ, работающего в режиме ЕЕЕ, за период времени T будет равна

$$C_3 = C^S - C^{EEE}.$$

Из (3) и (4) срок окупаемости затрат T_{OK} на покупку КУ, работающего в стандарте IEEE 802.3az, можно выразить в виде

$$T_{OK} = \frac{C_{КУ}}{N \cdot (P_i^S - P_i^{EEE})},$$

где $C_{КУ}$ – стоимость КУ, работающего в стандарте IEEE 802.3az.

При выполнении модернизации КС, связанной с заменой M КУ, работающих в стандарте IEEE 802.3, на их энергоэффективные аналоги, суммарная экономия средств C_3^C , связанная с эксплуатацией модернизированной сети, работающей в режиме ЕЕЕ, за период времени T будет равна

$$C_3^C = \sum_{i=1}^M C_i^S - \sum_{i=1}^M C_i^{EEE}.$$

Срок окупаемости затрат T_{OK} на покупку M КУ, работающих в стандарте IEEE 802.3az, можно выразить в виде

$$T_{OK} = \frac{\sum_{i=1}^M C_{КУ_i}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_i^S - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_i^{EEE}}.$$

Заключение. В работе предложены простые аналитические модели расчета потребления мощности портом КУ, работающим по стандартной сетевой технологии IEEE 802.3 и технологии с пониженным энергопотреблением IEEE 802.3az. На основании данных моделей получены аналитические выражения для расчета экономического эффекта от внедрения энергосберегающих технологий и расчета срока окупаемости затрат на модернизацию сети, связанную с внедрением данных технологий. Проведенная верификация моделей подтвердила достаточную для инженерных расчетов точность получаемых результатов. Наличие простых выражений, не требующих для проведения расчетов привлечения специализированных систем моделирования, существенно облегчает работу сетевых инженеров при принятии решения о проведении энергоэффективной модернизации КС.

Список литературы

1. IEEE 802.3az-2010: energy efficient Ethernet, Amendment to IEEE standard 802.3-2008 (CSMA/CD) specifications, IEEE Std., 2010.
2. Christensen, K., Reviriego, P., Nordman B. et al. (2010) IEEE 802.3az: the road to energy efficient Ethernet. *Communications Magazine, IEEE*, vol. 48, No. 11, November, pp. 50–56.
3. ES 1100 switches series. Zexel white paper (2013), 5 p.
4. Nesterenko, S., Langman, R. and Makarov, O. (2012) The WOAS project: Web-oriented automation systems. *Proceedings of International conference REV-2012*, No. 1, pp. 341–345.
5. Kyung Jae Kim, Shunfu Jin, Naishuo Tian, Bong Dae Choi (2016) Mathematical analysis of burst transmission scheme for IEEE 802.3az energy efficient Ethernet. *Performance Evaluation*, vol. 102, pp. 1–52.
6. Meng, J., Ren, F., Jiang, W. and Lin, C. (2013) Modeling and understanding burst transmission algorithms for energy efficient Ethernet. *Quality of Service (IWQoS), IEEE/ACM 21st International Symposium on June 2013*, pp. 1–10.
7. Herreria-Alonso, S., Rodriguez-Perez, M., Fernandez-Veiga, M. and Lopez-Garcia, C. (2012) Optimal configuration of energy efficient Ethernet. *Computer Networks*, vol. 56, No. 10, pp. 2456–2467.
8. Reviriego, P., Christensen, K., Rabanillo, J. and Maestro J. (2011) An initial evaluation of energy efficient Ethernet. *IEEE Commun. Letters*, vol. 15, No. 5, pp. 578–580, May.
9. Reviriego, P., Hernandez, J. A., Larrabeiti, D. and Maestro, J. A. (2009) Performance evaluation of energy efficient Ethernet. *IEEE Commun. Lett.*, vol. 13, No. 9, pp. 697–699, Sept.
10. Sohan, R., Rice, A., Moore A. W. and Mansley K. (2010) Characterizing 10 Gbps network interface energy consumption. *35th IEEE Conference on Local Computer Networks*, Oct.
11. Campus Wired LAN. Cisco Technology design guide (2013), 97 p.
12. Nesterenko S. A. (2016) Costs evaluation methodic of energy efficient computer network reengineering. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*, No. 2 (49), pp. 70–75.

S. A. Nesterenko, D.Sc., professor
Odessa National Polytechnic University
Shevchenko ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine
e-mail: sa_nesterenko@ukr.net

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION IN COMPUTER NETWORKS

Actual scientific and technical problem, associated with evaluation of the effectiveness of new IEEE 802.3az energy efficient technology used in communication systems of computer networks, is considered. It is shown that evaluation of the effectiveness of energy efficient technologies in computer network is advisable to be carried out on the level of every port of its communications system.

Mathematical models to calculate power consumption by communication device port, running on IEEE 802.3 and IEEE 802.3az standards, are developed.

As models for calculation of port power consumption stochastic queuing models are used. Proposed models take into account the probability of channel being in active state (data transmission) and in pause state (no data transmission). The verification of models has confirmed the sufficient accuracy of the results for engineering calculations.

Using the obtained models analytical dependences for calculating the cost-effectiveness of computer network upgrading to reduce energy consumption and to determine payback period for equipment modernization are offered.

Keywords: IEEE 802.3az standard, mathematical model, computer network, energy consumption reducing.

Статтю представляє С. А. Нестеренко, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет.

О. Н. Петрищев, д.т.н., профессор,

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

К. В. Базило, к.т.н., доцент

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

АЛГОРИТМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Конечной целью математического моделирования физического состояния колеблющихся пьезокерамических элементов является качественное и количественное описание характеристик и параметров существующих в них электрических и упругих полей. Предложен алгоритм экспериментального определения материальных констант пьезокерамики, которая позволяет в рамках эксперимента на одном образце определить три (из четырех, не равных друг другу) модуля упругости, два (из двух, не равных друг другу) пьезомодуля и одно из двух, не равных друг другу, значение диэлектрической проницаемости. Впервые в практике измерения материальных констант пьезокерамики был поставлен и разрешен вопрос об определении частотной зависимости уровня потерь энергии в объеме колеблющейся пьезокерамики.

Ключевые слова: тонкий диск, пьезокерамика, электрический импеданс, физико-механические константы.

Введение. Конечной целью математического моделирования физического состояния колеблющихся пьезокерамических элементов является качественное и количественное описание характеристик и параметров существующих в них электрических и упругих полей. Совершенно ясно, что получение содержательных и достоверных количественных оценок параметров физического состояния пьезоэлектрических (пьезокерамических) элементов не представляется возможным без достоверных данных о величинах физико-механических констант материалов.

Целью данной работы является построение методики экспериментального определения материальных констант пьезокерамики.

Методика экспериментального определения материальных констант пьезокерамики. В работах [1, 2] рассмотрена методика расчета электрического импеданса пьезокерамического диска в области низких, средних и высоких частот. Схема для проведения экспериментальных исследований приведена на рис. 1.

Перед началом измерения электрического импеданса пьезокерамический диск взве-

шивают и измеряют его толщину α и радиус R . По известной массе m и размерам α и R определяется плотность пьезокерамики $\rho_0 = m/(\pi\alpha R^2)$, кг/м³. Для выполнения экспериментальных исследований рекомендуется использовать массивные диски. При этом минимизируются эффекты, связанные с присоединенной массой, которая возникает в процессе пайки проводников к электродированным поверхностям диска.

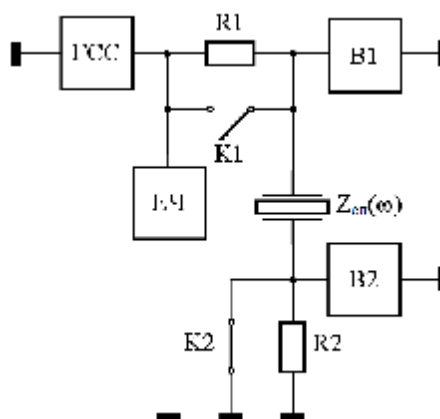


Рис. 1. Электрическая схема макета для измерения электрического импеданса пьезокерамического диска в широком диапазоне частот

При измерении электрического импеданса $Z_{эл}(\omega)$ диск рекомендуется подвешивать в воздухе на тонких нитях для того, чтобы избежать механического контакта с другими объектами. В помещении, где выполняются измерения, должен соблюдаться режим тишины.

Измерения электрического импеданса рекомендуется проводить на макете, электрическая схема которого показана на рис. 1. На схеме аббревиатурой ГСС обозначен генератор синусоидальных сигналов, ЕЧ – электронно-счетный частотомер, В1 и В2 – электронные вольтметры, К1 и К2 – механически замыкаемые и размыкаемые ключи, R1 и R2 – нагрузочные резисторы. Символом $Z_{эл}(\omega)$ на рисунке обозначен исследуемый образец. Показанное на схеме положение ключей К1 и К2 соответствует режиму измерения электрического импеданса в окрестности частоты электромеханического резонанса. При измерениях в окрестности частот электромеханических антирезонансов ключ К1 должен быть замкнут, а ключ К2 – разомкнут. Нагрузочные резисторы R1 и R2 подбираются таким образом, чтобы вольтметры В1 и В2 работали в диапазоне своей максимальной чувствительности, т. е. на шкалах $(1 \div 10)$ мВ. Величины резисторов R1 и R2 должны быть определены с точностью до одного ома.

Перед началом измерений в широком диапазоне частот на измерительном мосту определяется динамическая электрическая емкость C_{σ}^{σ} в области низких частот. По значениям этой емкости находится диэлектрическая проницаемость $\chi_{33}^{\sigma} = \alpha C_{\sigma}^{\sigma} / (\pi R^2)$, Ф/м.

В ходе измерения электрического импеданса $Z_{эл}(\omega)$ должно быть сформировано четкое представление о частотно зависимом изменении функции $Z_{эл}(\omega)$ и должны быть установлены границы областей средних и высоких частот, а также определены границы переходной области. По выполнению всех измерений образуется следующая база экспериментальных данных:

- область средних частот:

частоты первого и второго электромеханических резонансов (f_{p1} и f_{p2}) и антирезонансов (f_{a1} и f_{a2}), которые определяются с точностью до одного герца;

электрический импеданс на частотах первого и второго электромеханических резонансов, т. е. действительные положительные величины $Z_{эл}(f_{p1})$ и $Z_{эл}(f_{p2})$, определенные с

точностью до десятых долей ома;

значение динамической электрической емкости C_{σ}^* пьезокерамического диска, которое определяется через электрический импеданс диска, измеренный на частоте $f^* = (f_p + f_a)/2$, где $f_p = (f_{p1} + f_{p2})/2$ и $f_a = (f_{a1} + f_{a2})/2$;

- область высоких частот:

частоты первого и второго толщинного электромеханического резонанса, т. е. величины F_{p1} и F_{p2} , измеренные с точностью до одного герца, а также измеренная с той же точностью циклическая частота F_{a1} первого толщинного антирезонанса;

числовые значения $Z_{эл}(F_{p1})$ и $Z_{эл}(F_{p2})$ электрического импеданса диска на частотах первого и второго электромеханического резонанса, определенные с точностью до десятых долей ома;

числовое значение динамической электрической емкости C_{σ}^{ε} , которая, в принципе, должна определяться на бесконечно большой частоте, когда силы инерции обеспечат режим постоянства (равенства нулю) механических деформаций. В реальной ситуации C_{σ}^{ε} определяется через модуль электрического импеданса $Z_{эл}(F^{\varepsilon})$, где $F^{\varepsilon} \geq (F_{p1} + F_{p2})/2$.

Порядок обработки экспериментальных данных.

1. По известному значению C_{σ}^{ε} определяется диэлектрическая проницаемость

$$\chi_{33}^{\varepsilon} = \frac{\alpha C_{\sigma}^{\varepsilon}}{\pi R^2}, \text{ Ф/м.}$$

2. По известному значению частоты первого толщинного электромеханического антирезонанса F_{a1} определяется модуль упругости

$$c_{33}^D = \rho_0 (2\alpha F_{a1})^2, \text{ Па.}$$

3. По известным числовым значениям частот F_{p1} и F_{a1} определяется их отношение $\eta = F_{p1}/F_{a1}$ и квадрат коэффициента электромеханической связи для толщинных колебаний пьезокерамического диска

$$K_{33}^2 = \frac{(\pi\eta/2)}{\text{tg}(\pi\eta/2) - (\pi\eta/2)}.$$

4. По известным значениям K_{33}^2 и c_{33}^D определяется модуль упругости

$$c_{33}^E = \frac{c_{33}^D}{1 + K_{33}^2}, \text{ Па}.$$

5. По известным значениям K_{33}^2 , χ_{33}^E и c_{33}^E определяется пьезомодуль

$$e_{33} = K_{33} \sqrt{\chi_{33}^E c_{33}^E}, \text{ Кл/м}^2.$$

6. По известным значениям $Z_{эл}(F_{p1})$ и $Z_{эл}(F_{p2})$ электрического импеданса диска на частотах первого и второго электромеханического резонанса определяются механические добротности

$$Q_{mj}^{(z)} = \frac{K_{33}^2 \Psi(\Omega_{pj})}{2Z_{эл}(F_{pj}) \Omega_{pj} c_{33}^E (1 + K_{33}^2)}, \quad j = 1; 2,$$

где

$$\Psi(\Omega_{pj}) = \frac{2 \operatorname{tg}(\gamma_j \alpha / 2)}{(1 + K_{33}^2)(\gamma_j \alpha / 2)} + \frac{1 - \sin(\gamma_j \alpha) / (\gamma_j \alpha)}{\cos^2(\gamma_j \alpha / 2)};$$

$$\Omega_{pj} = 2\pi F_{pj}; \quad \gamma_j = \Omega_{pj} / \sqrt{c_{33}^D / \rho_0}.$$

7. По известным добротностям $Q_{mj}^{(z)}$ определяются коэффициенты затухания $\beta_j^{(z)}$ (непер, деленный на метр) в области высоких частот

$$\beta_j^{(z)} = \frac{\gamma_j}{2Q_{mj}^{(z)}}, \text{ Нп/м}, \quad j = 1; 2.$$

8. По известным коэффициентам затухания $\beta_j^{(z)}$ на частотах F_{pj} определяются структурные коэффициенты $\delta_1^{(z)}$ и $\delta_2^{(z)}$ в области высоких частот

$$\delta_1^{(z)} = \frac{\beta_1^{(z)} F_{p2}^4 - \beta_2^{(z)} F_{p1}^4}{F_{p1}^2 F_{p2}^4 - F_{p2}^2 F_{p1}^4}, \quad \delta_2^{(z)} = \frac{\beta_2^{(z)} F_{p1}^4 - \beta_1^{(z)} F_{p2}^4}{F_{p1}^2 F_{p2}^4 - F_{p2}^2 F_{p1}^4}.$$

9. По известным структурным коэффициентам $\delta_1^{(z)}$ и $\delta_2^{(z)}$ строится частотная зависимость коэффициента затухания $\beta^{(z)} = \delta_1^{(z)} f^2 + \delta_2^{(z)} f^4$ в области высоких частот и определяется частотная зависимость механической добротности в этом частотном диапазоне

$$Q_m^{(z)}(f) = \frac{\pi f}{v^D (\delta_1^{(z)} f^2 + \delta_2^{(z)} f^4)},$$

где $v^D = \sqrt{c_{33}^D / \rho_0}$ – скорость распространения плоских волн сжатия-растяжения в направлении вектора электрической поляризации пьезоэлектрического диска.

10. По известному значению динамической электрической емкости C_ϕ^* определяется

диэлектрическая проницаемость χ_{33}^E . Выполняется проверка на соответствие с ранее определенными значениями χ_{33}^E и K_{33}^2 , поскольку $\chi_{33}^* = \chi_{33}^E (1 + K_{33}^2)$. В случае существенного расхождения расчетной величины χ_{33}^* со значением χ_{33}^* , которое определено из эксперимента, необходимо проанализировать ситуацию и, в случае необходимости, повторить измерения.

11. По известным значениям частот f_{p1} и f_{p2} находится отношение $\xi_{21} = f_{p2} / f_{p1}$, и по этому отношению из табл. 1 находится параметр k и числовое значение корня x_1 .

12. По известному значению x_1 определяется модель упругости

$$c_{11} = \rho_0 (2\pi R f_{p1} / x_1)^2, \text{ Па}.$$

13. По известным величинам c_{11} и k определяется модуль упругости

$$c_{12} = k c_{11}, \text{ Па}.$$

14. По известным значениям c_{11} , c_{12} и c_{33}^E определяются модули упругости

$$c_{12}^E = \frac{c_{33}^E}{2} \left(1 - \sqrt{1 - 4 \frac{c_{12}}{c_{33}^E}} \right), \text{ Па},$$

$$c_{11}^E = c_{11} + \frac{(c_{12}^E)^2}{c_{33}^E}, \text{ Па}.$$

15. По известному значению параметра k и измеренной частоте f_{a1} первого электромеханического антирезонанса определяется квадрат коэффициента электромеханической связи в режиме радиальных (планарных) колебаний пьезоэлектрического диска

$$K_{31}^2 = \frac{1}{2} \left[1 - k - \frac{\zeta_1 J_0(\zeta_1)}{J_1(\zeta_1)} \right],$$

где $\zeta_1 = x_1 f_{a1} / f_{p1}$.

16. По известным значениям K_{31}^2 , c_{11} и χ_{33}^* определяется пьезомодуль для режима планарных колебаний

$$e_{31}^* = -K_{31} \sqrt{c_{11} \chi_{33}^*}, \text{ Кл/м}^2.$$

17. По известным значениям e_{31}^* , e_{33} , c_{12}^E и c_{33}^E определяется пьезомодуль

$$e_{31} = e_{31}^* + e_{33} c_{12}^E / c_{33}^E, \text{ Кл/м}^2.$$

18. По известным значениям электрического импеданса диска $Z_{эл}(f_{p1})$ и $Z_{эл}(f_{p2})$ на

частотах первого и второго электромеханического резонанса радиальных колебаний определяются добротности

$$Q_{mj}^{(p)} = \frac{R \left[(x_j^2 + k - 1) J_1(x_j) - k x_j J_0(x_j) \right]}{4 x_j \nu C_\theta^* K_{31}^2 J_1(x_j) Z_{эл}(f_{pj})}, \quad j = 1, 2,$$

где x_j – числовое значение j -го корня из табл. 1; $\nu = \sqrt{c_{11}/\rho_0}$ – скорость распространения радиальных (планарных) колебаний в пьезокерамическом диске, определенная без учета потерь на вязкое трение.

19. По известным добротностям $Q_{m1}^{(p)}$ и $Q_{m2}^{(p)}$, по аналогии с процедурами п.п. 7–9, выполняется оценка частотной зависимости механической добротности в области средних частот.

20. По известным значениям материальных параметров пьезокерамики рассчитывается диэлектрическая проницаемость

$$\chi_{33}^\sigma = \chi_{33}^\varepsilon (1 + \Delta\chi_{33}^\sigma), \quad \Phi/\text{м},$$

где

$$\Delta\chi_{33}^\sigma = \frac{2e_{31}^2 c_{33}^E - 4e_{31}e_{33}c_{12}^E + e_{33}^2(c_{11}^E + c_{12}^E)}{\chi_{33}^\varepsilon [c_{33}^E(c_{11}^E + c_{12}^E) - 2(c_{12}^E)^2]}.$$

Рассчитанное значение χ_{33}^σ сравнивается со значением χ_{33}^σ , которое получено в результате измерения емкости C_θ^σ на измерительном приборе. В случае большого расхождения числовых значений диэлектрической проницаемости χ_{33}^σ выполняется анализ предыдущих вычислений, и, если это необходимо, выполняются новые измерения [3].

Результаты экспериментального определения материальных констант пьезокерамики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментального определения материальных констант пьезокерамики

Входящие величины		Выходящие величины	
параметр	значение	параметр	значение
Материал	керамика типа ЦТС	Частота f_{a1} , Гц	$35,695 \cdot 10^3$
Радиус диска R , м	$33 \cdot 10^{-3}$	Частота f_{a2} , Гц	$84,530 \cdot 10^3$
Толщина диска α , м	$3 \cdot 10^{-3}$	Плотность ρ_0 , кг/м ³	7428
Статическая емкость C_θ^σ , Ф	$16,68 \cdot 10^{-9}$	Модуль упругости c_{33}^E , ГПа	105,4
Частота F_{p1} , Гц	$641,748 \cdot 10^3$	Модуль упругости c_{11}^E , ГПа	99,32
Частота F_{p2} , Гц	$1516,364 \cdot 10^3$	Модуль упругости c_{12}^E , ГПа	50,46
Частота F_{a1} , Гц	$714,546 \cdot 10^3$	Пьезомодуль e_{33} , Кл/м ²	13,049
Модуль $Z_{эл}(F_{p1})$, Ом	3,895	Пьезомодуль e_{31} , Кл/м ²	-4,953
Модуль $Z_{эл}(F_{p2})$, Ом	2,282	Диэл. проницаемость χ_{33}^σ , Ф/м	$14,63 \cdot 10^{-9}$
Частота f_{p1} , Гц	$31,906 \cdot 10^3$	Добротность $Q_{m1}^{(z)}$	48,481
Частота f_{p2} , Гц	$82,840 \cdot 10^3$	Добротность $Q_{m1}^{(p)}$	204,786

Выводы. Основные результаты настоящей статьи можно зафиксировать следующим образом:

1. Предложена методика экспериментального определения материальных констант пьезокерамики, которая позволяет в рамках эксперимента на одном образце определить три (из четырех, не равных друг другу) модуля упругости c_{11}^E , c_{12}^E и c_{33}^E , два (из двух, не

равных друг другу) пьезомодуля e_{31} и e_{33} и одно из двух, не равных друг другу, значение диэлектрической проницаемости χ_{33}^ε .

2. Впервые в практике измерения материальных констант пьезокерамики был поставлен и разрешен вопрос об определении частотной зависимости уровня потерь энергии в объеме колеблющейся пьезокерамики.

Список литературы

References

1. Петрищев О. Н. Электрический импеданс колеблющегося диска. Ч. 1. Определение электрического импеданса пьезокерамического диска и его расчет в области низких частот / О. Н. Петрищев, К. В. Базило // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2016. – № 3.
2. Петрищев О. Н. Электрический импеданс колеблющегося диска. Ч. 2. Расчет электрического импеданса пьезокерамического диска в области средних и высоких частот / О. Н. Петрищев, К. В. Базило // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2016. – № 3.
3. Спосіб визначення фізико-механічних констант п'єзокерамічних матеріалів / О. М. Петрищев, К. В. Базіло / Патент України на корисну модель по заявці u 2016 05384 від 18.05.2016.
1. Petrishchev, O. N., Bazilo, C. V. (2016) Electrical impedance of oscillating disk. Part 1. Determination of electrical impedance of piezoceramic disk and its calculation in low frequency region. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo technologichnogo universytety*, No. 3 [in Russian].
2. Petrishchev, O. N., Bazilo, C. V. (2016) Electrical impedance of oscillating disk. Part 2. Determination of electrical impedance of piezoceramic disk and its calculation in medium and high frequency regions. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo technologichnogo universytety*, No. 3. [in Russian].
3. Petrishchev, O. M., Bazilo, C. V. (2016) The method for determination of physical and mechanical constants of piezoceramic materials. Patent of Ukraine, application u 2016 05384, 18.05.2016.

O. N. Petrishchev, *Dr.Sc., professor*,

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

C. V. Bazilo, *Ph.D. (Eng.), associated professor*

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE ALGORITHM FOR EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL CONSTANTS OF PIEZOCERAMIC MATERIALS

The final goal of mathematical modeling of physical condition of vibrating piezoelectric elements consists in qualitative and quantitative description of characteristics and parameters of existing electrical and elastic fields. It is evident that it is not possible to obtain meaningful and reliable quantitative estimates of physical condition parameters of piezoelectric (piezoceramic) elements without reliable data on the values of the materials of physical and mechanical constants.

Noncontradictory algorithm for experimental determination of material constants of piezoelectric ceramics, which allows to obtain reliable values of at least three modules of elasticity, two elements of the matrix of piezoelectric coefficients and one element of the matrix of dielectric constants, is offered.

For the first time in the practice of measurement of piezoceramic material constants the question of the determination of frequency dependence of energy losses level in a volume of oscillating piezoceramics is raised and resolved.

Keywords: *thin disk, piezoelectric ceramics, electrical impedance, physical and mechanical constants.*

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

УДК 621.391

А. В. Гончаров, к.т.н., доцент, декан факультету електронних технологій,
e-mail: artyom28@gmail.com

В. В. Філіпов, к.т.н., старший викладач кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем,
e-mail: vyphilka@gmail.com

А. В. Чепинога, к.т.н., старший викладач кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем,
e-mail: toxacher@gmail.com

М. О. Безпалый, магістрант кафедри радіотехніки
та інформаційно-телекомунікаційних систем
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТІВ РІВНЯННЯ МАКСИМІЗАЦІЇ УСІЧЕНОГО ПОЛІНОМА ПРИ ОЦІНЮВАННІ ПАРАМЕТРА ПОСТІЙНОГО СИГНАЛУ НА ТЛІ НЕГАУСІВСЬКИХ ЗАВАД

У статті досліджуються способи спрощення алгоритмів оцінювання параметра постійного сигналу на фоні негаусівських завад, отриманих для степенів стохастичного полінома $s > 2$. Визначено критерій спрощення поліноміальних алгоритмів оцінювання, на основі якого запропоновано способи отримання вагових коефіцієнтів рівняння максимізації усіченого стохастичного полінома. Для аналізу точності спрощених алгоритмів оцінювання запропоновано критерій, який дає можливість вибрати оптимальний спосіб отримання коефіцієнтів рівняння усіченого полінома з умови мінімуму дисперсії оцінки параметра постійного сигналу.

Ключові слова: негаусівські завади, метод максимізації усіченого стохастичного полінома, глибина усічення стохастичного полінома, коефіцієнт асиметрії.

Вступ. Сучасні системи зв'язку вирішують задачу оцінювання інформативного параметра сигналу за умов негативного впливу завад з каналу зв'язку [1–2]. Відповідно синтез алгоритмів обробки сигналів, що приймаються на тлі завад, є важливою та актуальною задачею.

Класичним підходом до вирішення цієї задачі є застосування методів, які ґрунтуються на представленні завад у вигляді випадкових величин, з відомими функціями щільності розподілу (метод максимальної правдоподібності [3]). Проте такий підхід не завжди можна застосувати при реалізації практичних задач, тому що аналітичні вирази функцій щільності розподілу завад з реального каналу зв'язку зазвичай є невідомими.

Використання негаусівських випадкових величин [3] для опису завад у системах зв'язку дозволить точніше описати нелінійні характеристики каналів зв'язку і показати особливості структури реальної завади. Класичним підходом до вирішення задачі оцінювання інформативних параметрів сигналів на тлі негаусівських завад є метод моментів. Але оцінки, знайдені за методом моментів [4], як правило, спроможні, але часто неефективні. Тому їх

можна використовувати лише як перші наближення, базуючись на яких, можна знаходити наступні наближення з меншою дисперсією.

Професором Ю. П. Кунченком запропоновано метод максимізації стохастичного полінома [4], який за допомогою моментнокумулянтного представлення негаусівських випадкових величин та застосування стохастичних поліномів дає змогу отримати асимптотично-ефективні алгоритми оцінювання.

В роботах професора Ю. П. Кунченка та його учнів [5–6] досліджено методи оцінювання параметра постійного сигналу та параметрів завади. Аналітичні вирази для оцінювання параметра постійного сигналу θ отримані лише для степенів полінома $s \leq 3$. Це пояснюється тим, що алгоритми оцінювання параметра θ отримуються з розв'язку степеневого рівняння степеня s . Відповідно, для степенів полінома $s > 3$ складність реалізації алгоритмів оцінювання зростає, що ускладнює їх практичне застосування.

Для застосування поліноміальних алгоритмів оцінювання вищих степенів у практичних задачах професором Ю. П. Кунченком розроблено новий спрощений метод оцінювання, який ґрунтується на використанні усі-

чених стохастичних поліномів [7]. Цей метод дає змогу варіювати складність алгоритму оцінювання шуканого параметра та водночас знаходити оцінки з мінімальною дисперсією при заданих умовах складності (час виконання алгоритму, апаратні засоби).

Постановка задачі. Нехай є вибірка обсягом n незалежних однаково розподілених вибірових значень $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ з генеральної сукупності значень випадкової величини ξ . Ця випадкова величина є адитивною сумішшю корисного сигналу та негаусівської завади: $\xi = S(\vartheta) + \eta$. Як корисний сигнал $S(\vartheta)$ розглядається постійний сигнал, який залежить від параметра ϑ . Негаусівська завада η описується кумулянтном другого порядку χ_2 , коефіцієнтом асиметрії γ_3 , а значення інших кумулянтних коефіцієнтів дорівнюють нулю. Випадкові величини, що є математичними моделями зазначених завад, мають назву асиметричних випадкових величин [4].

Метою роботи є синтез алгоритмів розрахунку вагових коефіцієнтів рівняння максимізації усіченого стохастичного полінома (МУСП) при оцінюванні параметра постійного сигналу ϑ за умови адитивного впливу асиметричної завади.

Результати досліджень. Метод МУСП полінома дозволяє спростити процес оцінювання параметра постійного сигналу ϑ шляхом зменшення кількості членів стохастичного полінома [8, 9]. Кількість членів полінома, які використовуються для оцінювання параметра ϑ , визначається виразом $s = (s' - \ell)$, де

$$\sum_{j=1}^s h_{j(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) \cdot K_{i,j\{s\}}(\vartheta) = \frac{d}{d\vartheta} [m_{i\{s\}}(\vartheta)], \quad i = \overline{1, s}, \quad j = (c, e, \dots, l), \quad (2)$$

де $K_{i,j\{s\}}(\vartheta) = m_{i+j\{s\}}(\vartheta) - m_{i\{s\}}(\vartheta)m_{j\{s\}}(\vartheta)$ – центровані корелянти випадкової величини ξ .

Зазначимо, що в системі лінійних алгебраїчних рівнянь (2) не враховуються вагові коефіцієнти рівняння (1) з індексами $j = (c, e, \dots, l)$. В загальному випадку індекси $(c, e, \dots, l)$ можуть вибиратися довільними, тоді усічення стохас-

s' – кількість членів неусіченого стохастичного полінома, ℓ – глибина усічення стохастичного полінома степеня s [10].

Параметр ℓ визначає кількісну міру усічення стохастичного полінома. Максимальне значення параметра глибини усічення полінома степеня s визначається співвідношенням $\ell = (s' - 1)$, а мінімальне – дорівнює одиниці. При нульовому значенні параметра ℓ усічення полінома не відбувається, і усічений стохастичний поліном збігається зі стохастичним поліномом [4].

Запишемо рівняння максимізації усіченого стохастичного полінома степеня s з глибиною усічення ℓ :

$$\sum_{i \neq (c, e, \dots, l)}^s h_{i(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) \sum_{v=1}^n (x_v^i - m_{i\{s\}}(\vartheta)) \Big|_{\vartheta=\hat{\vartheta}} = 0 \quad (1)$$

де $m_{i\{s\}}(\vartheta)$ – моменти i -го порядку завади η , $(c, e, \dots, l)$ – цілі числа, що визначають параметр ℓ , (s) – індекс, що показує степінь полінома, $\{s\}$ – (від англ. *skewness*) – індекс, що позначає тип негаусівської випадкової величини [4], x_v – незалежні і однаково розподілені вибірові значення з випадкової величини ξ , n – обсяг вибірки $\bar{x}$, $h_{i(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta)$ – вагові коефіцієнти рівняння максимізації усіченого полінома степеня s , які знаходяться з розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

тичного полінома степеня s здійснюється в довільному порядку. Це призведе до того, що дисперсія оцінки параметра ϑ збільшиться.

Пояснити зазначену закономірність можна тим, що для кількості інформації $J_{(s)\{s\}\{\ell\}}$ про оцінюваний параметр ϑ [5] справедлива нерівність

$$J_{(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) > J_{(s-1)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) > \dots > J_{(s-\ell)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) > \dots > J_{(1)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta), \quad (3)$$

де введені такі спрощення:

$$\begin{aligned} J_{(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) &= J_{1(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + J_{2(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + \dots + J_{s(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta), \\ J_{(s-1)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) &= J_{1(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + J_{2(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + \dots + J_{s-1(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta), \\ J_{(s-\ell)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) &= J_{1(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + J_{2(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta) + \dots + J_{s-\ell(s)\{s\}\{\ell\}}(\vartheta). \end{aligned}$$

Коефіцієнт $J_{i(s)\{s\}\langle\ell\rangle}(\vartheta)$ визначає кількість інформації, яку вносить i -й член рівняння (1) за умови глибини усічення полінома ℓ .

З нерівності (3) випливає, що кількість інформації, яка отримується при оцінюванні параметра ϑ методом МУСП при степені s та глибині усічення ℓ , зменшується з кроком, який дорівнює s -й (останній) компоненті кількості добутої інформації: $J_{s(s)\{s\}\langle\ell\rangle}(\vartheta)$.

Враховуючи кількість інформації, що вносить кожний член рівняння (1) про оцінюваний параметр ϑ , сформулюємо алгоритм усічення стохастичного полінома степеня s : усічення полінома необхідно проводити поступово, починаючи з останнього члена полінома з індексом s і відповідно значенню параметра ℓ до члена полінома з індексом $(s - \ell)$.

Запропонований підхід дає змогу отримати спрощені алгоритми оцінювання параметра постійного сигналу ϑ з мінімальною дисперсією при заданому критерії складності. При варіюванні значення параметра ℓ складність алгоритму оцінювання параметра ϑ , а відповідно і точність його оцінювання будуть також змінюватись.

Для розв'язання задачі оцінювання параметра постійного сигналу ϑ методом МУСП необхідно розробити алгоритм отримання вагових коефіцієнтів $h_{i(s)\{s\}\langle\ell\rangle}(\vartheta)$, з системи рівнянь (2), який відповідатиме критеріям спрощення алгоритму оцінювання параметра сигналу ϑ на тлі адитивних асиметричних негаусівських завад [7].

У виразах для корисного сигналу $S(\vartheta)$, моментів $m_{i\{s\}}(\vartheta)$, корелянтів $K_{i,j\{s\}}(\vartheta)$ та коефіцієнтів $h_{i(s)\{s\}\langle\ell\rangle}(\vartheta)$ для спрощення запису будемо опускати залежність зазначених величин від оцінюваного параметра. Також, з огляду на громіздкість результуючих виразів, розрахунок моментів $m_{i\{s\}}$ і центрованих корелянтів $K_{i,j\{s\}}$ випадкової величини ξ у цій роботі не наводиться. Алгоритм отримання аналогічних параметрів випадкової величини ξ наведений у роботах [4–6].

На прикладі третього степеня усіченого стохастичного полінома розробимо алгоритми розрахунку коефіцієнтів рівняння (1).

Параметр глибини усічення стохастичного полінома при степені $s = 3$ набуває значень $\ell = \overline{0,2}$. При нульовому значенні параметра ℓ усічення стохастичного полінома не відбувається, і СЛАР (2) збіжиться з системою рівнянь, складеною для оцінювання параметра ϑ методом максимізації полінома [6, 7].

Запишемо систему (2) для степеня полінома $s = 3$ при значеннях параметра глибини усічення полінома $\ell = \overline{1,2}$:

$$\text{при } \ell = 1 : \begin{cases} \sum_{i=1}^2 h_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{1,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{1\{s\}}], \\ \sum_{i=1}^2 h_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{2,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{2\{s\}}], \\ \sum_{i=1}^2 h_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{3,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{3\{s\}}]. \end{cases}$$

$$\text{при } \ell = 2 : \begin{cases} h_{1(3)\{s\}\langle 2 \rangle} \cdot K_{1,1\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{1\{s\}}], \\ h_{1(3)\{s\}\langle 2 \rangle} \cdot K_{2,1\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{2\{s\}}], \\ h_{1(3)\{s\}\langle 2 \rangle} \cdot K_{3,1\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{3\{s\}}]. \end{cases} \quad (4)$$

У системах (4) кількість змінних є меншою, ніж кількість рівнянь, що входять до цих систем. Тому зазначені системи є невластивими перевизначеними СЛАР, тобто системами, які в загальному випадку не мають розв'язків. Відповідно, в алгоритм оцінювання параметра постійного сигналу ϑ методом МУСП, для степенів $s \geq 3$ та параметра $\ell \geq 1$, необхідно внести корективи, які приведуть до спрощення СЛАР (4).

Пропонується спростити системи (4) таким чином, щоб кількість змінних $h_{i(3)\{s\}\langle\ell\rangle}$, $i = \overline{1,3}$, дорівнювала кількості рівнянь у цих системах. Але кожне рівняння систем (4) містить інформацію, яка впливає на точність опису асиметричної завади усіченим стохастичним поліномом. Тому, наслідком запропонованого спрощення є те, що результуючий поліном менш точно описуватиме досліджувану адитивну суміш постійного сигналу S_ϑ та асиметричної завади η , ніж аналогічний усічений поліном з коефіцієнтами, знайденими за умови $\ell = 0$.

Разом з тим, запропоноване спрощення СЛАР (4) дасть змогу знайти оцінку параметра постійного сигналу ϑ методом МУСП за менший час та з достатньою точністю (більшою за точність оцінки, знайденої класичним методом). При значенні параметра глибини усічення стохастичного полінома $\ell = 1$ існує

$$\sum_{i=1}^2 h'_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{j,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{j\{s\}}], \text{ при } j = \overline{1,2}, \quad \sum_{i=1}^2 h''_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{j,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{j\{s\}}], \text{ при } j = \overline{2,3},$$

$$\sum_{i=1}^2 h''_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle} \cdot K_{j,i\{s\}} = \frac{d}{d\vartheta} [m_{j\{s\}}], \text{ при } j = 1 \text{ та } j = 3. \quad (5)$$

Над виразами оптимальних коефіцієнтів $h_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle}^{(r)}$ введені додаткові позначення (r – кількість рисочок), які показують спосіб спрощення СЛАР (4). У спрощених системах кількість змінних дорівнює кількості рівнянь, що входять до їх складу. Тому вони матимуть єдиний розв'язок, за умови, що визначники,

кілька можливих варіантів спрощення системи (4), і вони відрізняються лише вибором двох рівнянь, які увійдуть до складу нової спрощеної системи. Запишемо всі можливі варіанти спрощення СЛАР (4) при $\ell = 1$ та визначимо їх як способи спрощення № 1, № 2 та № 3.

які складені з центрованих корелянтів $K_{i,j\{s\}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,2}$), будуть відмінними від нуля.

Аналітичні вирази розв'язків систем (5) отримують за допомогою правила Крамера. Опускаючи нескладні математичні перетворення, запишемо кінцеві розв'язки зазначених систем:

$$h'_{1(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = \frac{dS}{d\vartheta} \frac{\chi_2^{1,5} (2S_9 \gamma_3 + 2\chi_2^{0,5})}{\Lambda_{1(3)\{s\}}}, \quad h'_{2(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = -\frac{dS}{d\vartheta} \frac{\chi_2^{1,5} \gamma_3}{\Lambda_{1(3)\{s\}}},$$

$$h''_{1(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = \frac{dS}{d\vartheta} \frac{\chi_2^{1,5} (6S_9^2 \gamma_3 + 6S_9 + \chi_2 \gamma_3)}{\Lambda_{2(3)\{s\}}}, \quad h''_{1(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = \frac{dS}{d\vartheta} \frac{\chi_2^{1,5} (6S_9^3 \gamma_3 + 6S_9^2 \chi_2^{0,5} + 3\chi_2 \gamma_3)}{\Lambda_{3(3)\{s\}}}, \quad (6)$$

$$h'''_{2(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = -\frac{dS}{d\vartheta} \frac{3S_9^2 \gamma_3 \chi_2^{1,5}}{\Lambda_{3(3)\{s\}}}, \quad h'''_{2(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = -\frac{dS}{d\vartheta} \frac{3S_9 \gamma_3 \chi_2^{1,5}}{\Lambda_{2(3)\{s\}}}, \quad h'_{3(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = h''_{3(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = h'''_{3(3)\{s\}\langle 1 \rangle} = 0,$$

де коефіцієнти $\Lambda_{1(3)\{s\}}$, $\Lambda_{2(3)\{s\}}$, $\Lambda_{3(3)\{s\}}$ розраховуються як визначники матриць, складених

з центрованих корелянтів $K_{i,j\{s\}}$, ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,2}$):

$$\Lambda_{1(3)\{s\}} = \Lambda_{2(3)\{s\}} = \chi_2^3 (2 - \gamma_3^2), \quad \Lambda_{2(3)\{s\}} = \chi_2^3 (3S_9 (2 - \gamma_3^2) + 6S_9 \gamma_3 \chi_2^{0,5}),$$

$$\Lambda_{3(3)\{s\}} = \chi_2^3 (3S_9^2 (2 - \gamma_3^2) + 12S_9 \gamma_3 \chi_2^{0,5} + \chi_2 (6 - 9\gamma_3^2)).$$

Проаналізувавши кожну пару отриманих розв'язків (6), можемо побачити, що аналітичні вирази коефіцієнтів $h'_{1(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ та $h'_{2(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ містять менше елементарних математичних операцій, ніж вирази інших коефіцієнтів. Тому вони є простішими з точки зору практичної реалізації алгоритмів оцінювання параметра постійного сигналу ϑ , за умови степеня усіченого полінома $s = 3$ та параметра глибини усічення $\ell = 1$.

Підтвердимо наведене твердження, дослідивши час знаходження конкретних розв'язків систем (5) у спеціалізованому пакеті програм Wolfram Mathematica.

Опускаючи процедуру отримання часу виконання алгоритму отримання коефіцієнтів (6), наведемо графічні залежності часу, за який отримуються конкретні чисельні значення розв'язків систем (5), від значень коефіцієнта асиметрії γ_3 .

Графічні залежності, зображені на рис. 1, показують, що найшвидше розраховуються коефіцієнти $h'_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$, $i = \overline{1,3}$ (спосіб спрощення № 1). А вагові коефіцієнти $h''_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$, $h'''_{i(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$, $i = \overline{1,3}$ (способи спрощення № 2 та № 3), знаходяться повільніше в 1,5 разу.

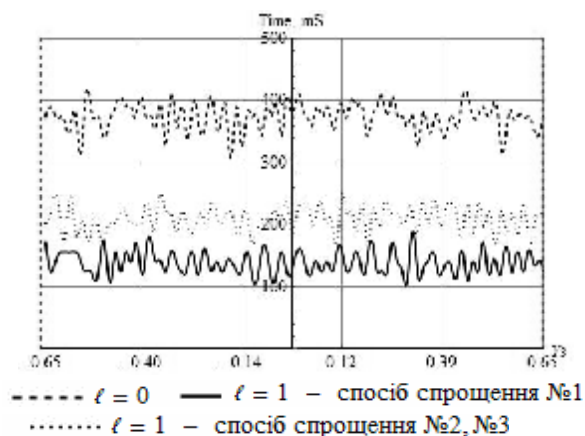


Рис. 1. Залежність часу знаходження вагових коефіцієнтів рівняння (1) при $s = 3$ від значення коефіцієнта асиметрії

Описані закономірності зберігаються і для випадку максимального значення пара-

$$J_{(3)\{s\}\langle\ell\rangle}^{(r)} = n \cdot \left[\sum_{i=1}^3 h_{i(3)\{s\}\langle\ell\rangle}^{(r)} \frac{d}{d\theta} [m_{i\{s\}}] \right]^2 / \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 h_{i(3)\{s\}\langle\ell\rangle}^{(r)} h_{j(3)\{s\}\langle\ell\rangle}^{(r)} K_{i,j\{s\}}. \quad (7)$$

Через громіздкість аналітичні вирази кількості інформації $J'_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$, $J''_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ та $J'''_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ у цій роботі наводитись не будуть.

Але для їх порівняння розрахуємо відношення, яке описуватиме кількісну різницю між ними:

$$I_{(3)\{s\}\langle\ell/\kappa\rangle} = J_{(3)\{s\}\langle\kappa\rangle} / J_{(3)\{s\}\langle\ell\rangle},$$

де κ , ℓ – коефіцієнти, що показують глибину усічення стохастичного полінома.

Відношення $I_{(3)\{s\}\langle\ell/\kappa\rangle}$ будемо називати коефіцієнтом зменшення кількості інформації про оцінку $\hat{\theta}$, що кількісно описує зміну значення кількості інформації $J_{(3)\{s\}\langle\ell\rangle}$, при використанні усічених поліномів третього степеня з різними значеннями параметра глибини усічення ℓ та κ .

Опускаючи розрахунок виразів коефіцієнтів зменшення інформації $I'_{(3)\{s\}\langle 0/1 \rangle}$, $I''_{(3)\{s\}\langle 0/1 \rangle}$ та $I'''_{(3)\{s\}\langle 0/1 \rangle}$, наведемо їх графічні залежності від коефіцієнта асиметрії γ_3 .

Залежності, зображені на рис. 2, показують, що при прямуванні значень коефіцієнта асиметрії γ_3 до межі області визначення [4] для значення кількості інформації про оцінку $\hat{\theta}$, отриманої з умов глибини усічення $\ell = \overline{0,1}$, виконується нерівність:

метра глибини усічення ($\ell = 2$) при степені полінома $s = 3$. Відповідно, можемо зробити висновок, що спрощення СЛАР (4) за допомогою способу спрощення № 1 збільшить загальну швидкодію обчислення вагових коефіцієнтів рівняння максимізації усіченого полінома, порівняно зі способами спрощення № 2 та № 3.

Для підтвердження вибору способу спрощення системи (4) також необхідно враховувати кількість інформації $J_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ про параметр постійного сигналу θ , що оцінюється на тлі асиметричної завади, методом МУСП.

Кількість інформації $J_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}$ про оцінюваний параметр постійного сигналу θ при степені полінома $s = 3$ та значенні параметра глибини усічення полінома ℓ знаходиться зі співвідношення

$$J_{(3)\{s\}\langle 0 \rangle} > J'_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle} > J''_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle} > J'''_{(3)\{s\}\langle 1 \rangle}.$$

Це означає, що при використанні способу спрощення № 1 до СЛАР (4) кількість інформації про оцінку $\hat{\theta}$ є більшою, порівняно зі способами спрощення № 2 та № 3.



Рис. 2. Залежність коефіцієнта збільшення інформації $I_{(3)\{s\}\langle 0/1 \rangle}^{(r)}$ про оцінюваний параметр θ від значень коефіцієнта асиметрії γ_3

Підсумовуючи вищенаведене, зробимо висновок, що застосування способу спрощення № 1 до СЛАР (4) є оптимальним з точки зору швидкодії алгоритмів отримання вагових ко-

ефіцієнтів рівняння максимізації усіченого полінома та отримання максимуму інформації про оцінюваний параметр сигналу ϑ .

Висновки. Головний науковий результат роботи полягає в розробці алгоритму розрахунку вагових коефіцієнтів рівняння МУСП, за допомогою яких синтезуються ефективні алгоритми оцінювання параметра постійного сигналу на тлі асиметричних негаусівських завад.

Практичне значення результатів, отриманих у цій роботі, полягає в тому, що визначено спосіб спрощення перевизначеної системи, який ґрунтується на її приведенні до визначеної системи рівнянь відкиданням останніх ℓ рівнянь. Такий підхід дає можливість здійснювати спрощення алгоритмів оцінювання параметра постійного сигналу ϑ , які ґрунтуються на методі МУСП, еквівалентні зменшенню степеня полінома на величину ℓ .

Список літератури

1. Ghassemlooy Z. Optical wireless communications: system and channel modelling with MATLAB / Z. Ghassemlooy, W. Popoola, S. Rajbhandari. – CRC Press Taylor & Franis Group, 2013.
2. Lal Chang Codara. Handbook of antennas in wireless communications. Part A. Wireless communication systems and channel characteristics. – CRC Press, 2002.
3. Шелухин О. И. Негауссовские процессы в радиотехнике / О. И. Шелухин. – М. : Радио и связь, 1998. – 310 с.
4. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы / Ю. П. Кунченко. – К. : Наукова думка, 2006. – 275 с.
5. Кунченко Ю. П. Поліноміальна оцінка параметра постійного сигналу при адитивній взаємодії з ексцесною завадою 1-го типу / Ю. П. Кунченко, А. В. Гончаров, С. В. Салипа // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2004. – № 3. – С. 80–84.
6. Кунченко Ю. П. Алгоритми вимірювання параметра постійного сигналу, оптимальні в класі поліноміальних перетворень при асиметричній заваді 1-го типу / Ю. П. Кунченко, О. С. Гавриш, А. В. Гончаров // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2003. – № 2. – С. 23–28.
7. Кунченко Ю. П. Метод максимизации усеченного стохастического полинома / Ю. П. Кунченко // Системы и средства пе-

редачи и обработки информации : труды 8-й Междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : ОНАС им. А. С. Попова, 2004. – С. 153–155.

8. Palahin V. V. Features of the constant signal parameter estimation by the method of truncated polynomial maximization / V. V. Palahin, A. V. Honcharov, V. V. Filipov // Oxford Journal of Scientific Research. – 2015. – No. 1 (9) (January-June), vol. IV. – P. 171–179.
9. Гончаров А. В. Оцінювання інформативного параметра постійного сигналу при усіченому оцінюванні дисперсії ексцесної завади / А. В. Гончаров, В. В. Філіпов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія (Вінниця). – 2009. – № 1. – С. 71–77.
10. Філіпов В. В. Оцінювання параметра постійного сигналу методом максимізації усіченого полінома на тлі негаусівських завад // Обробка сигналів і негаусівських процесів : праці IV Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. пам'яті професора Ю. П. Кунченка. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – С. 98–101.

References

1. Ghassemlooy, Z., Popoola, W. and Rajbhandari, S. (2013) Optical wireless communications: system and channel modelling with MATLAB. CRC Press Taylor & Franis Group.
2. Lal Chang Codara (2002) Handbook of antennas in wireless communications. Part A. Wireless communication systems and channel characteristics. CRC Press.
3. Sheluhin, O. I. (1998) Non-Gauss processes in radio engineering. Moscow: Radio i svyaz, 310 p [in Russian].
4. Kunchenko, Yu. P. (2006) Stochastic polynomials. Kyiv, Naukova dumka, 275 p. [in Russian].
5. Kunchenko, Yu. P., Honcharov, A. V. and Salypa, S. V. (2004) Polynomial estimation of steady signal parameter at additive interaction with kurtosis noise of the 1st type. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo technologichnogo universytetu*, No. 3, pp. 80–84 [in Ukrainian].
6. Kunchenko, Yu. P., Gavrish, O. S. and Honcharov, A. V. (2003) Algorithms for measuring steady signal parameter, optimal in the class of polynomial transformations at asymmetric noises of the 1st type. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehнологichnogo universytetu*, (2), pp. 23–28 [in Ukrainian].
7. Kunchenko, Yu. P. (2004) The method of maximization of truncated stochastic polynomial. *Sistemy i sredstva peredachi i obra-*

- botki informatsiyi: proceedings of the 8th International research and practical conf.* Odessa : ONAS im. A. S. Popova, pp. 153–155 [in Russian].
8. Palahin, V. V., Honcharov, A. V. and Filipov, V. V. (2015) Features of the constant signal parameter estimation by the method of truncated polynomial maximization. *Oxford Journal of Scientific Research*, No. 1 (9) (January-June), vol. IV, pp. 171–179.
 9. Honcharov, A. V. and Filipov, V. V. (2009) Estimation of informative parameter of constant signal at truncated estimation variance of kurtosis noise. *Informatsiyi ta kompyuterna inzheneriya* (Vinnitsa), No. 1, pp. 71–77 [in Ukrainian].
 10. Filipov, V. V. (2013) Estimation of constant signal parameter by maximization of truncated polynomial method on the background of non-Gaussian noises. *Obrobka sygnaliv i negausivskyh procesiv: proceedings of the IV International scientific and practical conf., dedicated to the memory of professor Yu. P. Kunchenko*. Cherkasy: ChDTU, pp. 98–101 [in Ukrainian].

A. V. Honcharov, *Ph.D., associate professor, dean of the faculty of electronic technologies,*
e-mail: artyom28@gmail.com

V. V. Filipov, *Ph.D., senior lecturer of the department of radio engineering and information and telecommunication systems,*
e-mail: vyphilka@gmail.com

A. V. Chepynoga, *Ph.D., senior lecturer of the department of radio engineering and information and telecommunication systems,*
e-mail: toxachep@gmail.com

M. O. Bezpalnyi, *undergraduate of the department of radio engineering and information and telecommunication systems*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ALGORITHMS FOR CALCULATION OF COEFFICIENTS OF THE EQUATION OF TRUNCATED POLYNOMIAL MAXIMIZATION AT THE ESTIMATION OF CONSTANT SIGNAL PARAMETER ON THE BACKGROUND OF NON-GAUSSIAN NOISES

The features of estimation of constant signal parameter are researched in this article by the method of maximization of truncated stochastic polynomial. The offered method of estimation is based on moment-cumulant description of random variables and the representation of likelihood function in the form of truncated stochastic polynomial of s degree. The additive non-Gaussian random variable is used as a mathematical model of the noise, which is described by the second order cumulant and skewness coefficient. Constant signal is represented as a function of informative parameter ϑ . The method of maximization of truncated stochastic polynomial allows to get simplified algorithms of estimation of parameter ϑ on the background of asymmetric non-Gaussian noises. The basic idea of simplification of the estimated algorithms consists in the following: not all members of a polynomial are used in stochastic polynomial, but only those that allow to simplify the algorithm of estimation.

The main materials of the article are devoted to the analysis of methods for simplification of estimation algorithms of constant signal parameter for $s > 2$ degrees of truncated polynomial. The criterion of simplification of polynomial estimation algorithms and the method for receiving weight coefficients, maximizing truncated stochastic polynomial, are offered in the article. Coefficients of the increase of the amount of information are pointed for the analysis of the accuracy of simplified estimation algorithms. This allows to choose the optimum method to get truncated polynomial coefficients in terms of minimum variance estimation of constant signal parameter.

Keywords: *non-Gaussian noises, method of maximization of truncated stochastic polynomial, depth of stochastic polynomial truncation, skewness coefficient.*

Рецензенти: В. В. Палагін, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет; С. А. Положаєнко, д.т.н., професор, Одеський національний політехнічний університет.

Л. П. Оксамитна, к.т.н., доцент,

e-mail: barchat_08@mail.ru

О. В. Кравченко, к.т.н.

e-mail: kravchenko_ov@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18030, Україна

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ МЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У статті представлено результати дослідження з розроблення автоматизованої системи медичного обліку клієнтів «Судмедекспертиза», яка дає змогу маніпулювати великою кількістю медичних даних. Програма призначена для ведення медичного обліку клієнтів, є мережевим додатком і написана мовою програмування Java, що забезпечує надійність роботи і незалежність від операційного оточення. У ході дослідження виявлено, що впровадження такої системи дозволить покращити навантаження на медперсонал обласної судмедекспертизи: зменшить кількість паперових журналів реєстрації, підвищить ефективність праці медичного персоналу та усіх співробітників за рахунок автоматизації трудомістких і рутинних операцій.

Ключові слова: автоматизована система, мова програмування Java, медичний облік клієнтів, судмедекспертиза, документообіг, медичні дані, база даних, автоматизація, медичні дослідження, алгоритм.

Постановка проблеми. Реформування охорони здоров'я України неможливе без корінної зміни системи організації та управління. Важливою складовою цього процесу є впровадження в практику інформаційних технологій, що забезпечує підвищення ефективності та якості лікувально-діагностичного процесу, а також є вагомим інструментом психологічної перебудови ставлення до якості даних та їх аналізу на засадах доказової медицини. Така необхідність полягає, передусім, у тому, що вони є найбільш дієвим механізмом, який дозволяє отримувати достовірну інформацію для оптимізації процесу управління як галуззю взагалі, так і діяльністю окремої медичної установи.

У сучасних соціально-економічних умовах особливого значення набуває стратегічне управління діяльністю медичних організацій. Нині судова медицина являє собою комплексну соціально-медичну науку, що включає специфічні для неї розділи і методи дослідження і в своєму практичному застосуванні обслуговує органи слідства і суду [1]. Комплексний характер судової медицини як науки визначається різноманітністю розділів і проблем, що входять до її складу. Це специфічна галузь медицини, що виникла та існує донині як міждисциплінарна сфера практичної лікарської і науково-педагогічної діяльності.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що одним із основних напрямів використання автоматизованих систем у медицині є запровадження безпаперового документообігу. Повноцінне переведення діяльності медичних закладів на цей документообіг вимагає значних витрат, повної реорганізації діяльності закладу та створення відповідного нормативно-правового підґрунтя. Ця проблема не може бути вирішена тільки створенням бази даних або автоматизованого реєстру, хоча й є першим необхідним кроком на цьому шляху.

Значні за обсягом автоматизовані персоналізовані бази даних, накопичені в системі охорони здоров'я, відкривають принципово нові можливості організації досліджень і дають змогу провести унікальні за дизайном кооперовані дослідження, принципово неможливі без застосування обчислювальної техніки та автоматизованої обробки інформації [2].

Аналіз останніх досліджень. Судово-медична експертиза (СМЕ) через біологічну сутність об'єктів і різноманітність завдань є однією зі складних і багатокомпонентних судових експертиз (СЕ). Однак дотепер у судовій медицині, яка є базовою науковою дисципліною для СМЕ, розробці методологічних основ приділялося недостатньо уваги [2].

Практичним і теоретичним дослідженням питань діяльності СМЕ присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених.

Практика судово-медичної експертизи по так званих лікарських справах і властива їм проблематика досить повно вивчена в медичній та юридичній літературі (Лейбович Я. Л., Марковін І. А., Райський М. І., Левін А. М., Брусилівський А. Є., Зальмунін Ю. С., Сердюков М. Г., Едель Ю. П., Авдєєв М. І., Поркшеян О. Х., Огарков І. Ф., Громов А. П., Бердичівський Ф. Ю. та ін.) [3, 4, 9–11].

Теоретичні дослідження, виконані судовими медиками (Авдєєв М. І., 1953 [4]; Богомолів Д. І., Богомолів І. М., 2002 [5]; Попов В. Л., 1985–2000; Райський М. І., 1953 [9]), стосувалися предмета і системи самої науки судової медицини, що до теперішнього часу дозволило в основному завершити формування судової медицини як наукової дисципліни (Попов В. Л.) [3, 10].

Теоретичним проблемам безпосередньо СМЕ присвячені лише поодинокі роботи, в яких розглянуто окремі методичні проблеми судово-медичного висновку і логічних операцій у процесі судово-медичного експертного пізнання (Вермель І. Г., 1988; Солохін А. А., 1995 [7]; Капустін А. В., 1985; Мельников В. С., 1995 [9]), методологічні аспекти деяких приватних проблем судово-медичного пізнання (Гедигушев І. А., 1999 [8]; Крюков В. Н. і співавт., 1991 [9]; Піголкін Ю. І., Богомолів Д. В., Томілін В. В., Саломатін Е. М., 2001 [6]; Ширинський П. П., Громов А. П., 1982 [11]), процесуальні та організаційні питання СМЕ (Гордон Е. С., 1992 [11]; Капустін А. В., Ісаєв А. І., 2004 [12]; Кудрявцева А. В., Лобан І. Є., 2001; Заславський Г. І., Попов В. Л., Пашінян Г. А., Ромодановський П. О., Григор'єв М. М., Беляєва Є. В., 2003) [9–11].

Багато праць, що стосуються цього питання, опубліковано в зарубіжній літературі [16, 17].

Аналіз публікацій аналогічної спрямованості показав, що у судовій медицині назріла необхідність проведення заходів, спрямованих на розробку нових методів вдосконалення судово-медичної експертної діяльності [9]. Однією з важливих задач комплексної системи моніторингу судово-медичної експертизи є створення автоматизованих інформаційних систем, що дають змогу аналізувати судово-медичні дані, а також проводити оцінювання якості експертиз на основі певних критеріїв. Отже, актуальність досліджуваної теми зумовлена необхідністю розробки нових

методів і підходів до проведення експертиз у сучасних умовах.

Метою дослідження є розробка та програмна реалізація автоматизованої системи медичного обліку клієнтів «Судмедекспертиза», яка б давала можливість маніпулювати великою кількістю медичних даних.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо сутність судової експертизи та дослідимо процес створення автоматизованої системи медичних досліджень «Судмедекспертиза».

Судова експертиза – це процесуальна дія, яка полягає в дослідженні експертом за завданням слідчого або суду речових доказів та інших матеріалів з метою встановлення фактичних даних та обставин, які мають значення для правильного вирішення справи. Судово-медична експертиза на сучасному етапі являє собою динамічно розвинуту систему судової експертизи, яка включає в себе самостійні види і підвиди судово-медичних експертиз [13].

Слід зазначити, що створення будь-якої медичної інформаційної системи має на меті кілька цілей:

- підвищення якості діяльності медичних працівників та установ охорони здоров'я шляхом організації досконалої (відповідає рівню використовуваних технічних засобів) обробки медичної інформації, в тому числі шляхом вдосконалення процесів управління і планування;

- полегшення праці медичних працівників, ліквідація трудомістких і малоефективних процесів ручної обробки й аналізу медичних даних;

- забезпечення ефективного обміну інформацією з іншими інформаційними системами.

Розробляючи конкретну систему, необхідно послідовно вирішити ряд питань:

- вибір мети і визначення основного призначення системи;

- вибір структурної схеми системи;

- збір статистично достовірної інформації про симптоматику станів;

- розробка алгоритмічної основи системи.

Автоматизована система обліку медичних досліджень «Судмедекспертиза» – це програмний засіб для обліку лабораторних даних, що призначений для полегшення проведення судової експертизи, тому що в її базі міститься детальна інформація про пацієнта, рід, причину смерті та лабораторні висновки лікарів.

Програма повинна [14]:

- створювати медичну базу даних;

- зберігати медичні дані та маніпулювати ними;
- виконувати пошук по базі даних;
- формувати звітність.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- дослідити предметну область з метою створення автоматизованої системи обліку медичних досліджень;
- визначити функціональні вимоги до системи;
- проаналізувати існуючі аналоги в медичних системах, АРМах та автоматизованих модулях;
- обрати структуру бази даних та засоби для її реалізації;
- здійснити проектування структури бази даних для зберігання інформації;
- обрати засіб розробки програмного забезпечення;
- виконати програмну реалізацію.

Під час виконання цього дослідження було розроблено програму мовою програмування Java, що забезпечує графічний інтерфейс користувача при роботі з сервером баз даних FireBird [15]. Розроблена програма є платформонезалежною і призначена для ведення медичного обліку клієнтів. Вона є мережевим додатком, тобто з нею може працювати велика кількість користувачів одночасно.

Програма має кілька функціональних рівнів роботи, а саме:

- створення бази даних або настроювання параметрів для використання існуючої бази;
- настроювання інтерфейсу користувача;
- заповнення довідників;
- введення даних обліку;
- виконання пошуку;
- виведення звіту.

Далі наведено функціональну модель роботи програми (рис. 1).

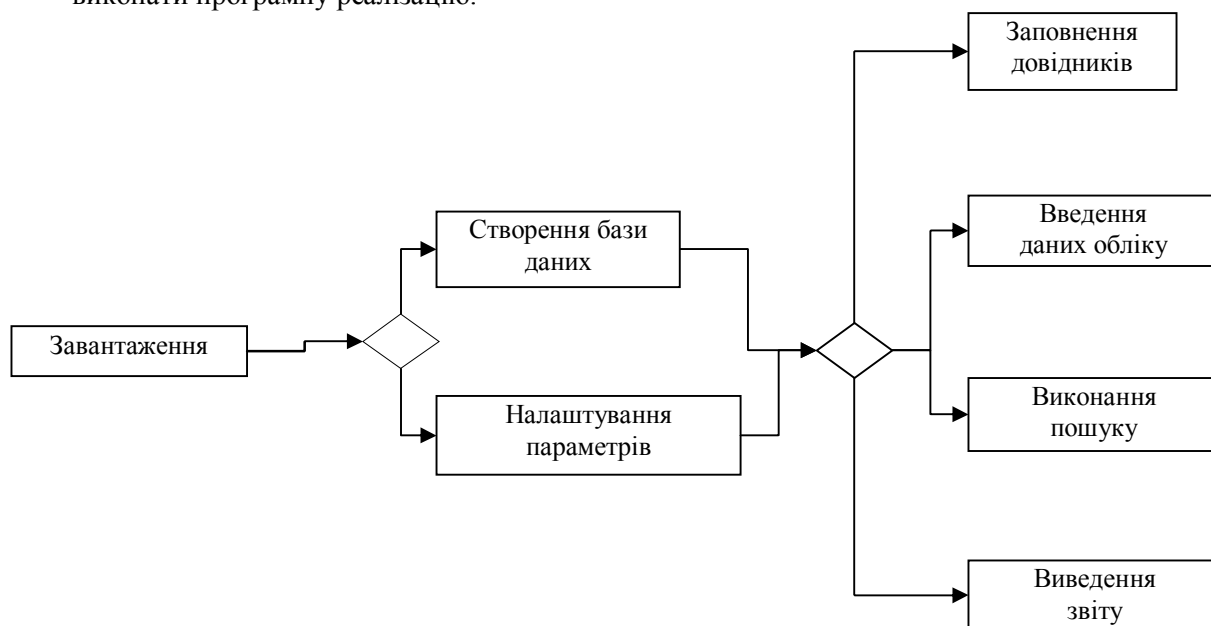


Рис. 1. Функціональна модель роботи програми

Опишемо логічну структуру системи.

В програмі «Судмедекспертиза» реалізовано такі можливості:

- створення бази даних або настроювання параметрів для використання існуючої бази;
- введення даних обліку;
- заповнення довідників;
- виконання пошуку;
- настроювання відображення.

Програма складається з десяти форм, що формують логічну структуру програми.

Splash-форма виводиться при завантаженні програми та створенні всіх інших форм, показує користувачеві стадію завантаження програми.

Головна форма (рис. 2) має головне меню, панель інструментів і три вкладки, що відповідають різним режимам роботи програми: додавання, пошук та журнал. Кнопки панелі інструментів дають змогу користувачеві швидко викликати форми додавання, редагування, видалення та пошуку , а також на панелі інструментів знаходиться

кнопка, що виконує оновлення при роботі декількох користувачів одночасно.

Простий довідник – форма, що дозволяє виконувати операції над довідниками, які мають лише одне поле і не підпорядковані іншим довідникам.

Здвоєний довідник являє собою два довідники (рід/причина смерті, або звідки доставлено/вид стаціонару), що знаходяться в ієрархічному підпорядкуванні один до одного.

Додавання та редагування – основна форма введення даних – має дві вкладки, що групують вхідні дані за призначенням: «Відомості» та «Лабораторія».

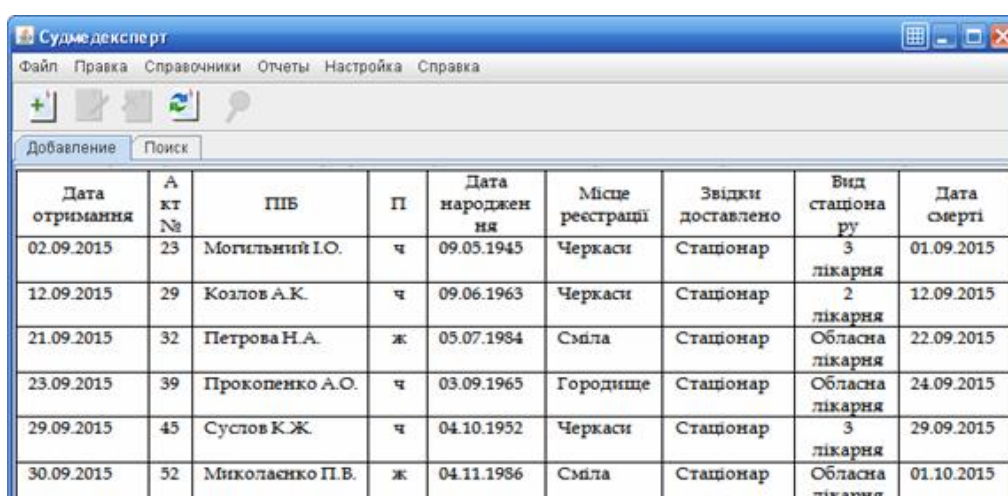
Пошук – форма, що дає змогу формувати запит на складний пошук по будь-якій

комбінації можливих значень полів, наведених у пункті 3 технічного завдання та їх діапазонів.

Створення БД – форма, що дає змогу створити базу даних на сервері за заданими параметрами.

Налагодження параметрів підключення до БД – форма, яка дає змогу вибрати потрібні параметри підключення та сервер баз даних, до якого необхідно підключитися.

Налагодження параметрів відображення – це форма, що вміщує елементи керування для налаштування відображення стовпців у таблицях і діапазонів, за які в них виводяться дані.



Дата отримання	Акт №	ПІБ	П	Дата народження	Місце реєстрації	Звідки доставлено	Вид стаціонару	Дата смерті
02.09.2015	23	Могильний І.О.	ч	09.05.1945	Черкаси	Стаціонар	3 лікарня	01.09.2015
12.09.2015	29	Козлов А.К.	ч	09.06.1963	Черкаси	Стаціонар	2 лікарня	12.09.2015
21.09.2015	32	Петрова Н.А.	ж	05.07.1984	Сміла	Стаціонар	Обласна лікарня	22.09.2015
23.09.2015	39	Прокопенко А.О.	ч	03.09.1965	Городище	Стаціонар	Обласна лікарня	24.09.2015
29.09.2015	45	Сустов К.Ж.	ч	04.10.1952	Черкаси	Стаціонар	3 лікарня	29.09.2015
30.09.2015	52	Миколасико П.В.	ж	04.11.1986	Сміла	Стаціонар	Обласна лікарня	01.10.2015

Рис. 2. Головна форма

Про програму – це форма, що вміщує дані про програму та розробника.

Варто зазначити, що всі дані, якими оперує програма, розміщені на сервері баз даних та зберігаються в базі даних, яка може знаходитися на віддаленому комп'ютері.

Структура бази даних складається з семи таблиць, двох представлень, чотирнадцяти процедур, десяти генераторів і шести виключень.

Далі коротко опишемо назви таблиць, процедур та їх призначення.

Таблиці та їх призначення:

ACT – основна таблиця, що зберігає поточні дані та використовує інші таблиці як довідники;

DEATH_REASON – довідник причин смерті, є підпорядкованим довідником до довідника родів смерті;

DEATH_TYPE – довідник родів смерті;

RECEIVED_FROM – довідник місць, звідки пацієнта доставлено до закладу;

RECEIVED_FROM_TYPE – довідник видів стаціонару, є підпорядкованим довідником до довідника місць, звідки пацієнта доставлено до закладу;

WHO_EXAM – довідник осіб, що проводять обстеження;

WHO_SENT – довідник установ та осіб, що направляють на обстеження.

Список процедур, використаних у базі, та їх короткий опис:

ADD_ACT – додає в базу даних новий акт;

ADD_DEATH_REASON – додає інформацію про причину смерті;

ADD_DEATH_TYPE – додає інформацію про рід смерті;

ADD_RECEIVED_FROM – додає інформацію про те, звідки пацієнта доставлено до закладу;

ADD_RECEIVED_FROM_TYPE – додає інформацію про вид стаціонару;

ADD_WHO_EXAM – заносить у базу ім'я лікаря, який проводив обстеження;

ADD_WHO_SENT – вказує, хто направив на обстеження;

DEL_ACT – видаляє з бази акт;

DEL_DEATH_REASON – видаляє інформацію про причину смерті;

DEL_DEATH_TYPE – видаляє інформацію про рід смерті;

DEL_RECEIVED_FROM – видаляє інформацію про те, звідки пацієнта доставлено до закладу;

DEL_RECEIVED_FROM_TYPE – видаляє інформацію про вид стаціонару;

DEL_WHO_EXAM – видаляє з бази ім'я лікаря, який проводив обстеження;

DEL_WHO_SENT – видаляє інформацію про особу, що направила на обстеження;

GEN_ACT_N – автоматично генерує номер наступного акта.

Отже, при розробці бази даних використано зв'язування таблиць за допомогою первинних та зовнішніх ключів, що забезпечує цілісність даних і чітке розділення функцій збереження та відображення даних. Такий підхід дає змогу легко модифікувати логіку роботи програми на сервері і виключає необхідність внесення модифікацій у програму, з якою безпосередньо працює користувач.

Висновки. Таким чином, якість і ефективність судової медицини значною мірою залежать від застосування сучасних технологій. Поставлена задача відноситься до класу задач, що виконують збереження та маніпуляцію великою кількістю медичних даних.

Розроблена програма призначена для ведення медичного обліку клієнтів. Відкритий та зручний інтерфейс дозволяє зручно користуватися програмою. Вона є мережевим додатком, тобто з нею може одночасно працювати велика кількість користувачів.

Впровадження автоматизованої системи обліку медичних досліджень «Судмедекспертиза» дозволить покращити навантаження медперсоналу судмедекспертизи: зменшить кількість паперових журналів реєстрації, підвищить ефективність праці медичного персоналу та усіх співробітників за рахунок автоматизації трудомістких і рутинних операцій.

Список літератури

1. Шамсі Е. С. Судова медицина : підруч. для вузів / Е. С. Шамсі. – Т. : ТГЮІ, 2003. – 452 с.
2. Болгов М. Ю. Автоматизация медицинских учреждений: руководство пользователя TherDep5 / М. Ю. Болгов. – К. : Куприянова, 2010. – 464 с.
3. Винберг А. И. Судебная экспертиология. Общетеоретические и методологические проблемы судебных экспертиз [Электронный ресурс] / А. И. Винберг, Н. Т. Малаховская. – Режим доступа : http://www.pravo.vuzlib.net/book_z539_page_9.html-2016
4. Авдеев М. И. Некоторые теоретические вопросы судебной медицины и судебно-медицинской экспертизы / М. И. Авдеев // Актуальные проблемы судебной медицины. – М., 1972. – С. 3–6.
5. Богомолов Д. В. Роль и перспективы использования прикладной логики в современной судебной медицине (к современной парадигме методологии науки) / Д. В. Богомолов, И. Н. Богомолова // Проблемы экспертизы в медицине (Ижевск). – 2002. – № 3. – С. 5–8.
6. Богомолов Д. В. Методологические аспекты проблемы определения давности наступления смерти / Д. В. Богомолов, Ю. И. Пиголкин, А. А. Коровин // Материалы XIII Пленума всерос. общества суд. медиков, (21-22 мая 1998 г.). – М., 1998. – С. 43–44.
7. Вермель И. Г. Формальная логика в судебной медицине / И. Г. Вермель, А. А. Солохин. – М. : РМАПО, 1995. – 92 с.
8. Гедыгушев И. А. Судебно-медицинская экспертиза при реконструкции обстоятельств и условий причинения повреждений (методология и практика) / И. А. Гедыгушев. – М., 1999. – 215 с.
9. Предмет судебной и судебно-медицинской экспертизы (обзор литературы). – М., 2003. – Деп. в ГЦНМБ 21.04.03, № 27319. – 12 с.
10. Характеристика объекта судебной и судебно-медицинской экспертизы (обзор литературы). – М., 2003. – Деп. в ГЦНМБ 21.04.03, № 27320. – 20 с.
11. Проблемы подготовки судебно-медицинских экспертов (обзор литературы). – М., 2003. – Деп. в ГЦНМБ 21.04.03, № 27318. – 16 с.

12. Капустин А. В. Некоторые актуальные вопросы организации и производства судебно-медицинских экспертиз / А. В. Капустин, А. И. Исаев // Судебно-медицинская экспертиза. – 2004. – № 1. – С. 7–10.
13. Судова медицина / [за ред. акад. НАМНУ В. Ф. Москаленка та професора Б. В. Михайличенка]. – К.: ВCB «Медицина», 2011. – 448 с.
14. Головін Р. О. Розробка інформаційно-аналітичної системи медичного обліку клієнтів «Судмедекспертиза» / Р. О. Головін, О. В. Кравченко, Л. П. Оксамитна // Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці : зб. наук. праць IV наук. конф. (Харків). – Х.: Технологічний Центр, 2016. – С. 52.
15. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство, 9-е изд. = Java 8. The complete reference, 9th ed. – М.: Вильямс, 2015. – 1376 с. – ISBN 978-5-8459-1918-2.
16. Top 10 best medical alert systems (2016) ©ReviewsBee.com [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.reviews-bee.com/medical-alert-system-reviews>
17. Computed tomography systems – medical devices pipeline assessment (2016) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.prnewswire.com/news-releases/computed-tomography-systems---medical-devices-pipeline-assessment-2016-300356254.html>
6. Bogomolov, D. V., Pigolkin, Yu. I. and Korovin, A. A. (1998) Methodological aspects of determining the time of death. *Materialy XIII Plenuma vseros. obschestva sud. medikov*, Moscow, pp. 43–44 [in Russian].
7. Vermel, I. G. and Solokhin, A. A. (1995) Formal logic in forensic medicine. Moscow: RMAPO, 92 p. [in Russian].
8. Gedygushev, I. A. (1999) Forensic examination at the reconstruction of circumstances and conditions of causing damage (methodology and practice). Moscow, 215 p. [in Russian].
9. The subject of judicial and forensic medical examination (review) (2003). Dep. in GTsNMB, No. 27319, 12 p. [in Russian].
10. Characteristics of the object of judicial and forensic medical examination (review) (2003). Dep. in GTsNMB, No. 27320, 20 p. [in Russian].
11. Problems of training of forensic experts (review) (2003). Dep. in GTsNMB, No. 27318, 16 p. [in Russian].
12. Kapustin, A. V. and Isayev, A.I. (2004) Some topical issues of organization and production of forensic medical examinations. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*, No. 1, pp. 7–10 [in Russian].
13. Forensic medicine (2011). Kyiv: VSV "Medicina", 448 p. [in Ukrainian].
14. Golovin, R. O., Kravchenko, O. V. and Oksamytna, L. P. (2016) The development of information-analytical system of medical clients records "Sudmedekspertiza". *Fundamentalni ta prykladni doslidzhennya u suchasnyy nauky*: proceedings of the IV scient. conf., Kharkiv: Tehnologichnyi Centr, p. 52 [in Ukrainian].
15. Schildt, H. (2015) Java 8. The complete reference, 9th ed., 1376 p. – ISBN 978-5-8459-1918-2 [in Russian].
16. Top 10 best medical alert systems (2016) ©ReviewsBee.com, available at: <http://www.reviewsbee.com/medical-alert-system-reviews>
17. Computed tomography systems – medical devices pipeline assessment (2016), available at: <http://www.prnews-wire.com/news-releases/computed-tomography-systems---medical-devices-pipeline-assessment-2016-300356254.html>

References

1. Shamsi, E. S. (2003) Forensic medicine. T.: TGYuI, 452 p. [in Ukrainian].
2. Bolgov, M. Yu. (2010) Automation of medical institutions: TherDep5 user manual. Kiev: Kupriyanova, 464 p. [in Russian].
3. Winberg, A. I. Forensic expertology. General theoretical and methodological problems of forensic examinations, available at: http://www.pravo.vuzlib.net/book_z539_page_9.html.-2016
4. Avdeev, M. I. (1972) Some theoretical problems of forensic medicine and forensic examination. In: *Actualnyye problemy sudbenoyi medicyny*, Moskow, pp. 3–6 [in Russian].
5. Bogomolov, D. V. and Bogomolov, I. N. (2002) The role and prospects of applied logic use in modern forensic medicine (to the modern paradigm of science methodology). *Problemy expertizy v medicine* (Izhevsk), No. 3, pp. 5–8 [in Russian].

L. P. Oksamytna, Ph.D., associate professor,
e-mail: barchat_08@mail.ru

O. V. Kravchenko, Ph.D.
e-mail: kravchenko_ov@ukr.net
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18030, Ukraine

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF MEDICAL RESEARCH RECORDS

Introduction. Reforming of health protection of Ukraine is impossible without a radical change of organization and management system. Large-volume automated personalized database, accumulated in health care system, opens up entirely new possibilities of research and allow for unique in design research. One of the main directions of the use of automated systems in medicine consists in the introduction of paperless documents circulation.

The purpose of scientific work. This study aims at the development and implementation of automated software system of medical clients records "Sudmedekspertyza", which would allow to manipulate a large number of medical data.

Formulation of the problem. The article considers the nature of forensic expertise and explores the process of creating an automated system for medical research "Sudmedekspertyza".

Summary of the main part. In order to achieve this goal, it is necessary:

- to study a subject area for creation of automated system of medical research;
- to determine functional requirements for the system;
- to analyze existing analogues in medical systems, workstations and automated modules;
- to select database structure and means for its implementation;
- to design database structure for information storage;
- to select the means for tool software development;
- to make software implementation.

The result is a product development in the programming language Java. Automated system of medical research "Sudmedekspertyza" is a software tool for laboratory data storage, which is designed to facilitate forensic examination, as in its base contains detailed information about the patient, the family, the cause of death and laboratory findings of doctors.

Conclusions. The quality and efficiency of forensic medicine largely depend on the use of modern technologies. The problem belongs to the class of tasks that perform preservation and manipulation by a large number of medical data.

The program is designed to maintain medical records of clients. Clear and user-friendly interface enables you to program. It is a network application, i.e. it can simultaneously operate a large number of users.

Keywords: automated system, programming language Java, medical records of clients, forensic expertise, document circulation, medical data, database, automation, medical research, algorithm.

Рецензенти: В. Є. Снитюк, д.т.н., професор,
С. М. Первунінський, д.т.н., професор

К. В. Базіло¹, к.т.н., доцент,
Ю. Ю. Бондаренко¹, к.т.н., доцент,
В. М. Зайка¹,
Ю. А. Петрушко¹,
Л. О. Федорук²

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

²Третя Черкаська міська лікарня швидкої медичної допомоги
вул. Самійла Кішки, 210, Черкаси, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ХІРУРГІЇ

Поширеність вогнепальних поранень у сучасному світі пов'язана з криміналізацією суспільства, терористичними загрозами, збільшенням кількості локальних військових конфліктів і громадських заворушень. Основним методом попередження розвитку важких інфекційних ускладнень вогнепальних поранень є операція – первинна хірургічна обробка ран. Пошук і розробка методів зниження крововтрати, прискорення загоєння післяопераційних ран і розсмоктування рубців – важливі завдання сучасної хірургії, вирішенню яких сприяє застосування ультразвуку. В роботі проаналізовано небезпеки та ускладнення при вогнепальних пораненнях, їх відмінності від травматичних ушкоджень іншого походження. Розглянуто переваги та можливості застосування ультразвукової хірургії. Проведено дослідження п'єзоелектричних перетворювачів для ультразвукової хірургії.

Ключові слова: вогнепальне поранення, ультразвукова хірургія, ультразвуковий скальпель, п'єзоелектричний елемент.

Вступ. Поширеність вогнепальних поранень у сучасному світі пов'язана з криміналізацією суспільства, терористичними загрозами, збільшенням кількості локальних військових конфліктів і громадських заворушень. За останні 2,5 року в Україні відзначено різке зростання кількості вогнепальних поранень під час революційних подій у січні-лютому 2014 р., військових дій на Сході країни та внаслідок збільшення кількості вогнепальної зброї (переважно нелегальної) на руках у населення.

Вогнепальні поранення відрізняються від травматичних ушкоджень іншого походження наявністю некротичних тканин навколо ранового каналу, високою ймовірністю утворення ділянок вторинного некрозу в найближчому посттравматичному періоді, складним напрямком ранового каналу з нерівномірною протяжністю уражених та некротизованих ділянок, наявністю в тканинах сторонніх предметів, високим ризиком інфікування та розвитку гнійно-запальних ускладнень, ушкодженням тканин на значній відстані від ранового каналу [1].

В останні десятиліття спостерігається бурхливий прогрес у розробці більш доскона-

лих видів стрілецької зброї та боєприпасів вибухової дії. Прийняття цих засобів ураження живої сили на озброєння більшості армій обумовило значне зростання тяжкості вогнепальної бойової травми, збільшило частоту множинних та поєднаних поранень, збільшило об'єм ушкоджень.

Особливо значні порушення при вогнепальних пораненнях виникають у м'язах. Дефекти в них через скорочення окремих пучків збільшуються, внаслідок чого утворюються порожнини та кармани. В зоні руйнування м'яких тканин пошкоджуються судини, ділянка ранового каналу заповнюється кров'ю. Наявність у рані розтрощених та відірваних ділянок м'язів та фасцій, вільних кісткових уламків і згустків крові, а також розлади мікроциркуляції та набряк у ділянці пошкодження в поєднанні з мікробним забрудненням створюють сприятливі умови для розвитку ранової інфекції [2].

Заходи хірургічної допомоги при вогнепальних пораненнях спрямовані на вирішення чотирьох задач: порятунку життя, тобто усунення наслідків поранення, що загрожують життю (асфіксії, кровотечі, напруженого чи відкритого пневмотораксу тощо), попере-

дження розвитку травматичного шоку або інших порушень життєво важливих функцій, відновлення структури і функцій пошкоджених органів і тканин, попередження розвитку ранової інфекції. Основним методом попередження розвитку важких інфекційних ускладнень вогнепальних поранень є операція – первинна хірургічна обробка ран.

Попередження розвитку ускладнень досягається достатньо широким розтином вхідного і вихідного отворів, видаленням вмісту ранового каналу і явно нежиттєздатних тканин, що становлять зону первинного некрозу, а також тканин з сумнівною життєздатністю із зони вторинного некрозу, хорошим гемостазом, повноцінним дрениванням рани [3].

Перспективним є застосування ультразвукової хірургії у військовій медицині та використання п'єзоелектричних елементів як джерел ультразвуку, дослідження яких і стало *метою* цієї роботи.

Особливості ультразвукової хірургії. Велику частку хірургічних інфекцій становлять захворювання м'яких тканин, які розвиваються у вигляді розповсюдження форм гнійно-запального процесу. Використання антибіотиків частково дало можливість запобігти цій ситуації. Але при частому застосуванні цих препаратів спостерігається різке зростання стійкості мікробної флори, що призводить до зниження ефективності антибіотикотерапії. Пошук і розробка методів зниження крововтрати, прискорення загоєння післяопераційних ран і розсмоктування рубців – важливі завдання сучасної хірургії, вирішенню яких сприяє застосування ультразвуку [4, 5].

Існують дві основні сфери застосування ультразвуку у хірургії. В першій з них використовується здатність сильно фокусованого пучка ультразвуку викликати локальні руйнування у тканинах, а в другій – механічні коливання ультразвукової частоти використовуються в хірургічних інструментах.

Ультразвуковий вплив характеризується значною антибактеріальною дією, що дає змогу при хірургічному втручанні виконувати антисептичну обробку, не використовуючи антибіотики та різні хімічні компоненти. Слід зазначити, що ультразвукові інструменти мають явні переваги перед електро- або кріохірургічними, тому що не прилипають до тканини і поверхні ранового каналу і не викликають додаткових травм. Ультразвуковий скальпель, порівняно з лазерним хірургічним інструментом, дає можливість відчувати опір

тканини при операції, хірург краще контролює процес її розсічення [6].

Ультразвукові інструменти різняться за своїм призначенням, амплітудою коливань хвиль та іншими характеристиками. Основними вважаються: скальпель (хірургічний ніж), пила, ультразвуковий апарат для «зварки» кісток та ін. Амплітуда (A) коливань хвиль різальної частини інструменту може становити від 1 до 365 мкм (залежно від призначення інструменту і потреб операції), f (частота) – від 20 до 100 кГц. Ультразвукові коливання зменшують тертя між тканинами і лезом. При розтині м'яких тканин з ними взаємодіє тільки кромка різальної частини – відбувається мікрорізання. Від кромки виділяється тепло, що створює гемостатичний ефект. Це все здатне значно полегшити процес оперування, що й обумовлює поширення ультразвукових інструментів у хірургії [7].

П'єзоелектричні перетворювачі для ультразвукової хірургії. П'єзоелектричні перетворювачі широко використовуються в різних сферах науки і техніки, зокрема медицині. Як джерела ультразвукових коливань у хірургії можуть використовуватися магнітострикційні або п'єзоелектричні перетворювачі [6, 7].

Дослідженню п'єзоелектричних перетворювачів та покращенню їх характеристик присвячено чимало робіт. Зокрема в роботі [8] для підсилення акустичних коливань електроди на п'єзоелементі розташувалися таким чином, щоб вектор електричного поля E напружки збудження становив кут α з вектором поляризації P , причому $0 < \alpha \leq 90^\circ$ (рис. 1) [9].

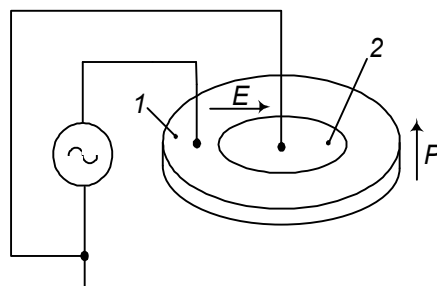


Рис. 1. Схема підключення п'єзоелемента при $\alpha=90^\circ$, електроди 1 та 2 розташовані планарно

Цей підхід пропонується використати і при дослідженні коливань в ультразвукових хірургічних інструментах.

Для експериментальних досліджень було використано скальпель черевцевий (рис. 2) та дисковий п'єзоелектричний елемент $\varnothing 50 \times 1,2$ мм з матеріалу ЦТБС-3.

Черевцевий скальпель призначений для:
 – проведення відносно довгих прямолінійних глибоких розрізів шкіри, підшкірної жирової клітковини, м'язів;
 – розсікання капсули суглобів, зв'язок, хряща зі значним зусиллям на невеликому проміжку [7].



Рис. 2. Скальпель черевцевий

Сегменти п'єзоелектричного диска були приєднані до скальпеля за допомогою епоксидної смоли. Дослідний експериментальний зразок зображено на рис. 3.

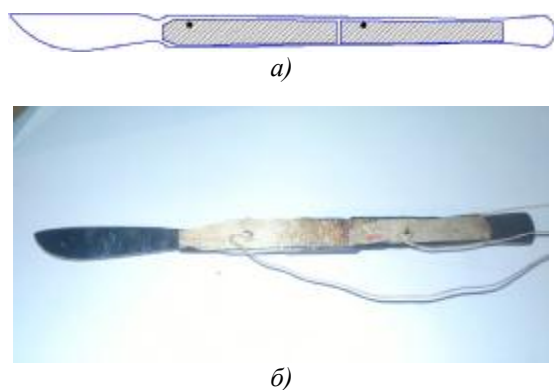


Рис. 3. Дослідний експериментальний зразок

Збудження ультразвукових коливань відбувалося за допомогою генератора ГЗ-109 за схемою підключення, зображеною на рис. 1. Робоча частота експериментальної ультразвукової коливальної системи (скальпель-п'єзoelement) становила 28,96 кГц. При цьому відбулося зменшення тертя між двома поверхнями (інструмент-тканина). Це явище спостерігається, якщо одна з поверхонь здійснює коливальні рухи. Саме тому робота з ультразвуковими інструментами вимагає від хірурга менших зусиль, ультразвукові інструменти не прилипають до тканини та поверхні ранового каналу і не викликають додаткових травм.

Подальші дослідження будуть спрямовані на підсилення потужності ультразвукових коливань, розробку конструкцій та енергонезалежність ультразвукових скальпелів.

Висновки. Основні результати цієї роботи можна зафіксувати таким чином.

1. Проаналізовано небезпеки та ускладнення при вогнепальних пораненнях, їх відмінності від травматичних ушкоджень іншого походження.

2. Розглянуто переваги та можливості застосування ультразвукової хірургії.

3. Проведено дослідження п'єзoeлектричних перетворювачів для ультразвукової хірургії. Для підсилення акустичних коливань п'єзoelementи на скальпелі запропоновано розташувати таким чином, щоб вектор електричного поля напруги збудження становив кут з вектором поляризації.

Список літератури

1. Копчак А. В. Патогенез і принципи лікування вогнепальних поранень щелепно-лицевої ділянки в умовах багатопрофільного закладу / А. В. Копчак, В. А. Рибак, Ю. І. Марухно // Медицина неотложных состояний. – 2015. – № 7. – С. 94–105.
2. Вогнепальні поранення кінцівок: методичні рекомендації [Електронний ресурс] / Київ, 2015. – 46 с. – Режим доступу: <http://kafravm.com.ua/images/pdf/gunshot.pdf>
3. Хірургія військова та надзвичайних ситуацій: методичні вказівки. Тема 1: Вогнепальні поранення та їх лікування / Харків: ХНМУ, 2013. – 25 с.
4. Гринюк С. В. Особливості проведення бактеріального контролю за післяопераційними ускладненнями ран у хірургічних хворих / С. В. Гринюк, Н. Ю. Лебединська // Медичні перспективи. – 2011. – Т. XVI, № 1. – С. 65–67.
5. Вільцанюк О. А. Нові підходи до профілактики нагноєння післяопераційної рани / О. А. Вільцанюк, Р. А. Лутковський, М. О. Хуторянський // Харківська хірургічна школа. – 2011. – № 4. – С. 22–25.
6. Физические основы использования ультразвука в медицине [Электронный ресурс] / [И. И. Резников, В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов и др.]. – Москва, 2015. – 97 с. – Режим доступа: <http://rsmu.ru/fileadmin/rsmu/img/pf/cfim/uzi.pdf>
7. Семенов Г. М. Современные хирургические инструменты / Г. М. Семенов. – СПб: Питер, 2013. – 352 с.
8. Bondarenko Yu. Yu. The increase of sound pressure level of monomorph transducers with the use of spatial energy force structure of a piezoelement / Yu. Yu. Bondarenko, K. V. Bazilo, L. G. Kunytska // Visnyk Cher-

kaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu. – 2015. – No. 3. – P. 5–9.

9. Патент на корисну модель 67638 Україна, МПК H04R 17/00. Електроакустичний перетворювач / Шарапов В. М., Базіло К. В., Савін В. Г. та ін. – № u201112590; заяв. 27.10.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

References

1. Kopchak, A. V., Rybak, V. A. and Marukhno, Yu. I. (2015) Pathogenesis and principles of treatment of gunshot wounds of maxillofacial area in specialized multidisciplinary hospital. *Medicina neotlozhnyh sostoyanij*, No. 7, pp. 94-105 [in Ukrainian].
2. Gunshot wounds of limbs: guidelines (2015) Kyiv, 46 p., available at: <http://kaf-travm.com.ua/images/pdf/gunshot.pdf>
3. Military and emergency surgery: guidelines. Issue 1: Gunshot wounds and their treatment (2013). Kharkiv: KhNMU, 25 p. [in Ukrainian].
4. Hrynyuk, S. V. and Lebedyn's'ka, N. Yu. (2011) Peculiarities of bacterial control over postoperative complications of wounds in surgical patients. *Medychni perspektyvy*, Vol. XVI, No. 1, pp. 65–67 [in Ukrainian].
5. Viltanyuk, A. A., Lutkovskiy, R. A. and Khutoryanskyi, M. A. (2011) New approaches to the prevention of postoperative wound suppuration. *Kharkivska hirurgichna schkola*, No. 4, pp. 22–25 [in Ukrainian].
6. Reznikov, I. I., Fedorova, V. N., Faustov, E. V. et al. (2015) Physical bases of the use of ultrasound in medicine. Moscow, 97 p., available at: <http://rsmu.ru/fileadmin/rsmu/img/pf/cfm/uzi.pdf>
7. Semenov, G. M. (2013) Modern surgical instruments. St. Petersburg: Piter, 352 p. [in Russian].
8. Bondarenko Yu. Yu., Bazilo, C. V. and Kunytska, L. G. (2015) The increase of sound pressure level of monomorph transducers with the use of spatial energy force structure of a piezoelement. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, No. 3, pp. 5–9.
9. Sharapov, V. M., Bazilo, C. V., Savin, V. G. et al. (2012) Electroacoustic transducer. Patent of Ukraine 67638 [in Ukrainian].

C. V. Bazilo¹, Ph.D. (Eng.), associate professor,
Yu. Yu. Bondarenko¹, Ph.D. (Eng.), associate professor,
V. M. Zaika¹,
Yu. A. Petrushko¹,
L. O. Fedoruk²

¹Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

²Cherkasy First Aid Hospital No. 3
Samiylo Kishka str., 210, Cherkasy, Ukraine

APPLICATION OF PIEZOELECTRIC ELEMENTS IN ULTRASONIC SURGERY

The prevalence of gunshot wounds in the modern world is associated with high crime rates, terrorist threats, the increase in number of local military conflicts and public disorders. The main method to prevent serious infectious complications of gunshot wounds is a primary surgical treatment of wounds. In most cases, surgical interventions are followed by infections which cause diseases of soft tissues that develop in the form of inflammatory processes and others. The research and development of methods to reduce blood loss, to accelerate wound healing and to resorb postoperative scars are one of the biggest challenges in medicine, which ultrasound helps to solve. The risks and complications at gunshot wounds, their differences from traumatic injuries of other genesis are analyzed in the work. The advantages and possible applications of ultrasonic surgery are considered. It should be noted that ultrasonic systems have several advantages over electrical or cryosurgical ones because they do not stick to the tissue and wound channel surface and do not cause additional injuries. The ultrasonic scalpel in comparison with laser surgical instrument allows the surgeon to control the tissue dissection process better. The research of piezoelectric transducers for ultrasonic surgery is conducted. To enhance acoustic oscillations it is offered to place piezoelectric elements on a scalpel, in such way having an angle between electric field vector of excitation voltage and polarization vector.

Key words: gunshot wound, ultrasonic surgery, ultrasonic scalpel, piezoelectric element.

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н, професор,
Гордієнко, Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад»*

Э. В. Фауре, к.т.н., доцент

e-mail: faureemil@gmail.com

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

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФАКТОРИАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ДАННЫХ

В работе предложен и подробно рассмотрен метод повышения эффективности факториального кодирования с восстановлением данных по перестановке, которое направлено на комплексное решение задач криптографической защиты и защиты данных от ошибок канала связи. Предложенный метод предусматривает введение дополнительных проверочных бит в информационный вектор перед его преобразованием в перестановку без уменьшения скорости кода. Такая операция позволяет повысить достоверность передачи информации при использовании факториального кодирования с восстановлением данных за счет существующей избыточности кода. Для предложенного метода изучены зависимости оценок вероятности необнаруженной ошибки и энергетического выигрыша от длины информационного вектора на входе кодера. Произведено сравнение обнаруживающей способности факториального кодирования с использованием и без использования дополнительных проверочных бит.

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

Постановка проблемы. В системах передачи данных возникает необходимость одновременной защиты передаваемой информации от несанкционированного чтения, модификации и ошибок канала связи. Последовательное выполнение перечисленных операций приводит к увеличению вводимой избыточности, снижению быстродействия обработки данных и повышению требований к производительности устройств преобразования информации. Данное обстоятельство определяет актуальность разработки методов кодирования, которые обеспечивают комплексное решение задач криптозащиты, имитозащиты и защиты данных от ошибок в канале связи.

Анализ источников и публикаций. Приведенные в работах [1–4] результаты исследований показывают эффективность факториальных методов кодирования для обеспечения контроля целостности информации, совмещающего в себе функции имитозащиты и помехоустойчивого кодирования. Предложенные в этих работах факториальные коды относятся к систематическим кодам, которые не обеспечивают криптографическую защиту информации.

В работе [5] предложен метод факториального кодирования с восстановлением данных по перестановке (ФКВД), реализую-

щий в себе функции обнаружения ошибок в канале связи и криптографической защиты информации.

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 ($M! \geq 2^k$).

Пусть α – показатель избыточности (по мощности), равный для ФКВД отношению мощности множества перестановок порядка M к мощности множества информационных векторов $A(x)$ степени k :

$$\alpha = M! / 2^k. \quad (1)$$

Для простейшей системы передачи данных с решающей обратной связью (РОС), где прямой канал – двоичный симметричный с переходной вероятностью p_0 ($q_0 = 1 - p_0$), обратный канал – идеальный, в [5] получена оценка вероятности не обнаруженной декодером ФКВД ошибки $P_{ud}(FCDR, p_0)$ (см. формулу (2)), а также изучена зависимость оценки вероятности необнаруженной ошибки от размера блока данных k на входе кодера. При этом значение M выбиралось таким образом, чтобы

$$(M-1)! < 2^k \leq M!. \quad (2)$$

Следовательно, $1 \leq \alpha < M$. Поскольку равенство $\alpha = 1$ выполняется только при $k = 1$ и $M = 2$, для $k > 1$ справедливо $1 < \alpha < M$. Таким образом, используемая методика выбора M по (2) решает задачу обеспечения возможности восстановления данных по перестановке, однако приводит к избыточности кода. Наличие такой избыточности создает предпосылки ее использования для повышения достоверности передачи данных.

Целью данной работы является разработка метода повышения эффективности факториального кодирования с восстановлением данных путем повышения достоверности передачи за счет избыточности кода.

Решение задачи. Из формулы (1) следует:

1) величина $[a]$ ($[a]$ означает целую часть числа a) определяет, сколько раз отрезок $[0; 2^k - 1]$ укладывается в отрезке $[0; M! - 1]$;

2) уменьшение длины информационного вектора на Δk бит при фиксированном M приводит к увеличению показателя избыточности (по мощности) в $\alpha_2/\alpha_1 = (M!/2^{k_1 - \Delta k}) / (M!/2^{k_1}) = 2^{\Delta k}$ раз.

Таким образом, если для заданного k вычисленное по (2) значение M такое, что $\alpha > 2$, перед формированием проверочной части существует возможность ввести в информационную часть дополнительные проверочные биты, являющиеся, например, битами паритета. При этом порядок перестановки M и скорость кода v_{FCDR} (см. формулу (1) в [5]) не изменятся. Количество дополнительно вводимых бит ограничено выражением

$$r_{add} \leq [\log_2 \alpha]. \quad (3)$$

Поскольку $\alpha < M$, справедлива оценка $r_{add} \leq [\log_2 M]$. С другой стороны, удовлетворяющие условию (2) допустимые пределы изменения длины блока k на входе кодера в зависимости от M имеют вид $[\log_2 (M-1)!] + 1 \leq k \leq [\log_2 M!]$, откуда также следует, что количество дополнительно вводимых бит

$$r_{add} \leq [\log_2 M!] - [\log_2 (M-1)!] - 1 \leq [\log_2 M].$$

Следовательно, чем больше длина блока k и, соответственно, порядок перестановки M (по существу, чем выше качество канала связи), тем большим может быть количество дополнительно вводимых бит и, соответственно, выше значение вносимой избыточности и ресурса повышения достоверности.

На представленном на рис. 1 графике показаны максимальные значения количества дополнительно вводимых бит r_{add} в зависимости от M при выполнении условия (2).

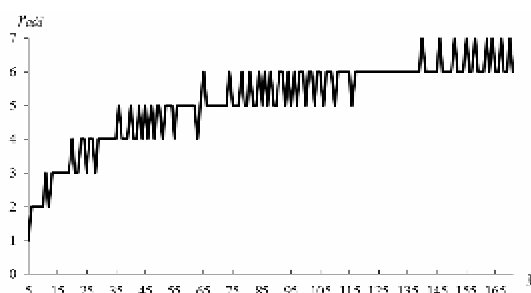


Рис. 1. График зависимости максимального количества дополнительно вводимых бит r_{add} от порядка перестановки M

Отметим, что в системах передачи данных с фиксированным M достоверность передачи может быть повышена за счет уменьшения размера блока данных на входе кодера на r_{add} бит и введения вместо них дополнительных проверочных бит.

Рассмотрим обнаруживающую способность ФКВД с использованием дополнительных проверочных бит (с дополнением). Такой метод кодирования будем обозначать ФКВДд (FCDRadd – FCDR with addition).

Очевидно, что ошибка не обнаруживается ФКВДд тогда и только тогда, когда переданная перестановка трансформирована в другую перестановку, а дополнительные проверочные биты принимают верные значения.

Пусть событие $A = \{\text{ошибка в блоке данных не обнаружена ФКВДд: принятая с ошибкой комбинация является перестановкой, а дополнительные проверочные биты совпадают с вычисленными в декодере}\}$, $P(A) = P_{ud}(FCDRadd, p_0)$; событие $B = \{\text{перестановка (блок данных) при передаче по каналу связи преобразована в другую перестановку}\}$, $P(B) = P_{ud}(FCDR, p_0)$.

При условии, что данные на входе и выходе блока формирования перестановки являются статистически независимыми, при декодировании принятого с ошибкой кодового слова ФКВДд каждый из дополнительно вводимых в информационную часть r_{add} проверочных бит с равными вероятностями может принимать значения 0 и 1. Тогда вероятность того, что после появления события B дополнительные проверочные биты примут верные значения (и, соответственно, ошибки в блоке обнаружены не будут), равна $P(A|B) = 2^{-r_{add}}$. Из формулы полной вероятности

$$P_{ud}(FCDRadd, p_0) = \frac{P_{ud}(FCDR, p_0)}{2^{r_{add}}}, \quad (4)$$

где $P_{ud}(FCDR, p_0)$ оценивается в соответствии с формулой (2) из [5];

r_{add} – количество дополнительно вводимых проверочных бит, ограниченное формулой (3).

Пример. Оценим энергетический выигрыш ФКВДд для некогерентного приема при

$p_0 = 10^{-3}$ и $M = 128$. Пусть $k = 712$, а $r_{add} = 4$. Тогда скорость кода $v_{FCDR} = 712/896 = 0.795$, а $P_{ud}(FCDRadd, p_0) \leq 3.009 \cdot 10^{-5}$. Энергетический выигрыш $\Delta P \geq 3.94$ дБ.

На рис. 2, а представлены графики зависимостей оценок вероятностей необнаруженной ошибки от размера блока данных k на входе кодера в результате применения ФКВДд и ФКВД при $p_0 = 10^{-3}$, $M : (M-1)! < 2^k \leq M!$ и $r_{add} = \lceil \log_2 \alpha \rceil$. На рис. 2, б дополнительно отображены оценки вероятности необнаруженной ошибки, достигаемые в результате применения полного факториального кода (ПФК) [2] при идентичных ФКВД длине информационной части блока k и скорости кода. Заметим, что зависимости скоростей ФКВД и ФКВДд от размера блока данных k на входе кодера совпадают и при $M : (M-1)! < 2^k \leq M!$ отображаются графиком на рис. 1 в [5].

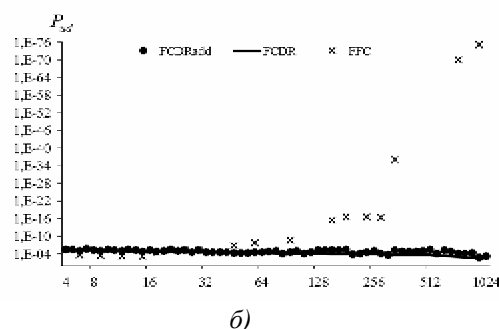
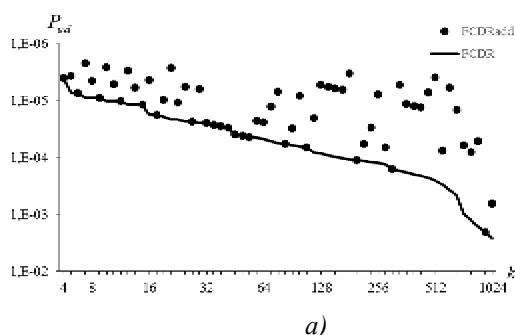


Рис. 2. Графики зависимостей оценок вероятностей необнаруженной ошибки от размера блока данных k на входе кодера для ФКВДд и ФКВД (а); ФКВДд, ФКВД и ПФК (б)

На рис. 3, а представлены графики зависимостей оценок энергетического выигрыша от размера блока данных k на входе кодера в результате применения ФКВДд и ФКВД при $p_0 = 10^{-3}$, $M : (M-1)! < 2^k \leq M!$ и $r_{add} = \lceil \log_2 \alpha \rceil$. На рис. 3, б дополнительно отображены оценки энергетического выигрыша, достигаемые в результате применения ПФК при идентичных ФКВД длине информационной части блока k и скорости кода.

Рис. 2 и 3 свидетельствуют о том, что введение дополнительных проверочных бит

при формировании ФКВД позволяет повысить обнаруживающую способность кода (например, $\Delta P_{FCDRadd} - \Delta P_{FCDR} \approx 1.194$ дБ при $k = 512$, $\Delta P_{FCDRadd} - \Delta P_{FCDR} \approx 1.601$ дБ при $k = 1012$) и расширить диапазон значений размера блока данных k на входе кодера (с $k \leq 18$ до $k \leq 22$ для $p_0 = 10^{-3}$), при которых энергетический выигрыш ФКВД превышает соответствующий энергетический выигрыш ПФК при одинаковых скоростях кодов и кодировании символов перестановок равномерным двоичным кодом.

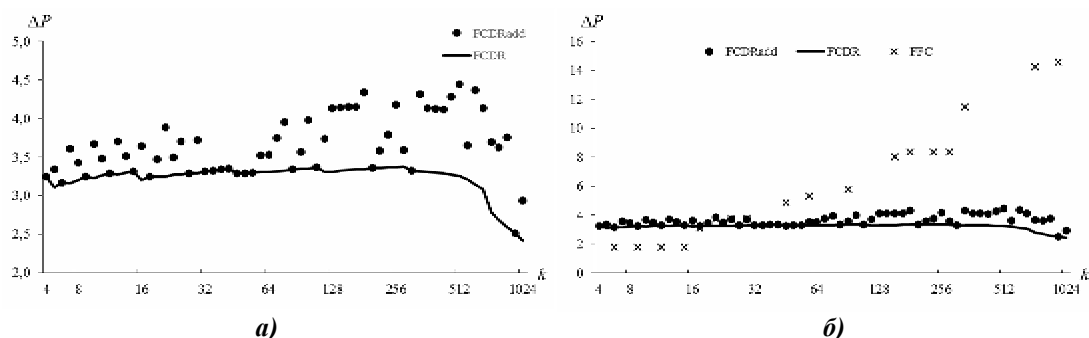


Рис. 3. Графики зависимостей оценок энергетического выигрыша от размера блока данных k на входе кодера для ФКВДд и ФКВД (а); ФКВДд, ФКВД и ПФК (б)

Выводы. Представленный метод введения дополнительных проверочных бит перед преобразованием информационного вектора в перестановку позволяет повысить обнаруживающую способность факториального кодирования с восстановлением данных. Полученные результаты при $k \leq 1024$ и $p_0 = 10^{-3}$ свидетельствуют об увеличении энергетического выигрыша в результате применения предложенного метода на величину до 1,6 дБ.

Список литературы

1. Фауре Э. В. Контроль целостности информации на основе факториальной системы счисления / Э. В. Фауре, В. В. Швидкий, А. И. Щерба // Journal of Qafqaz University. Mathematics and computer science. – 2016. – (В печати).
2. Фауре Э. В. Комбинированное факториальное кодирование и его свойства [Электронный ресурс] / Э. В. Фауре, В. В. Швидкий, В. А. Щерба // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 3. – С. 80–86. – Режим доступу: http://www.csit.narod.ru/ric/riu_2016_3.pdf
3. Пат. 107655 Україна, МПК G06F 21/64 (2013.01), H04L 1/16 (2006.01). Спосіб контролю цілісності інформації / Рудницький В. М., Фауре Е. В., Швидкий В. В., Щерба А. І.; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № a201505937; заявл. 16.06.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.
4. Пат. 107657 Україна, МПК H03M 13/09 (2006.01), H04K 1/06 (2006.01), G09C 1/06 (2006.01). Спосіб комбінованого кодування інформації / Рудницький В. М., Фауре Е. В., Швидкий В. В., Щерба А. І.; заявник та

патентовласник ЧДТУ. – № a201508148; заявл. 17.08.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

5. Фауре Э. В. Факториальное кодирование с восстановлением данных / Э. В. Фауре // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2016. – № 2. – С. 33–39.

References

1. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. (2016) Information integrity control based on the factorial number system. *Journal of Qafqaz University. Mathematics and computer science* [in Russian], (In print).
2. Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, V. A. (2016) Combined factorial coding and its properties. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnya*, (3), pp. 80–86, available at: http://www.csit.narod.ru/ric/riu_2016_3.pdf
3. Rudnytskyi, V. M., Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. The method of information integrity control. Cherkasy State Technological University, assignee. UA Patent 107655, printed 24 June 2016 [in Ukrainian].
4. Rudnytskyi, V. M., Faure, E. V., Shvydkyi, V. V. and Shcherba, A. I. The method of combined information coding. Cherkasy State Technological University, assignee. UA Patent 107657, printed 24 June 2016 [in Ukrainian].
5. Faure, E. V. (2016) Factorial coding with data recovery. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, (2), pp. 33–39 [in Russian].

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

THE METHOD FOR INCREASING FACTORIAL CODING EFFICIENCY 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 for increasing factorial coding efficiency with data recovery by increasing transmission reliability due to the code existing redundancy.

The main material. *The proposed method provides the injection of additional check bits into information vector before its conversion into permutation without reducing the code rate. This operation allows to increase the reliability of information transmission using factorial coding with data recovery at the expense of existing code redundancy. The dependences of undetected error probability assessments and energy gain from information vector length at the encoder input are studied for the proposed method. The comparison of detection ability of factorial coding with or without additional check bits is done.*

Conclusions. *The presented method of injection of additional check bits into information vector before its conversion into permutation allows to increase the detection ability of factorial coding with data recovery. The results obtained with information vector length at the encoder input less or equal to 1024 and bit error probability equal to $10E-3$ show an increase of energy gain by up to 1.6 dB as a result of the use of the proposed method.*

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

В. В. Лепський, к.мед.н., доцент

кафедри менеджменту та економіки охорони здоров'я
Східноєвропейський університет економіки і менеджменту
вул. В'ячеслава Чорновола, 164/2, м. Черкаси, 18000, Україна
e-mail: cherkassymsek@ukr.net

СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ СУЧАСНИМИ МЕДИЧНИМИ ЗАКЛАДАМИ

Забезпечення якісних медичних послуг в умовах українського сьогодення й інтеграції до європейської та світової спільноти відповідно до європейських і міжнародних стандартів, впровадження проектного підходу в усіх галузях народного господарювання роблять актуальним питання дослідження та аналізу ефективності управління медичними закладами в Україні, оцінювання існуючих досягнень з цього напрямку. У статті проаналізовано існуючі підходи до стратегічного управління та стратегічного планування медичного закладу в площині проектно-орієнтованого підходу.

Ключові слова: стратегічне управління, система охорони здоров'я, медичний заклад, стратегічне планування, проект, програма стратегічного розвитку.

Постановка проблеми. Україна демонструє одні з найгірших показників охорони здоров'я в Європейському регіоні, що характеризується високими показниками смертності, захворюваності та інвалідності. Основними визначальними причинами такої ситуації є суттєві недоліки, що накопичувалися в національній системі охорони здоров'я (СОЗ) в результаті тривалої відсутності модернізації, нівелювання потреб населення і сучасних міжнародних тенденцій щодо зміцнення систем охорони здоров'я, економічної неефективності та високого рівня корупції.

В Україні збереглася майже в незмінному стані система охорони здоров'я, що була успадкована з радянського періоду, а саме комплексна модель Семашка, яка належала державі та фінансувалася нею, була спрямована на утримання лікарень з надзвичайно фрагментованим управлінням та послугами, що були зосереджені на лікуванні окремих нетяжких гострих станів, і характеризувалася фактичною відсутністю профілактики. Система також ігнорувала міжнародні тенденції модернізації та зміцнення закладів охорони здоров'я (наприклад, не надавалося місце та можливості для розвитку приватного сектора), не змогла забезпечити формування політики в таких важливих сферах, як інформаційні технології. Існує багато доказів того, що система продовжує культивувати значні осередки неефективності та корупції.

Для вирішення цих проблем розроблено Національну стратегію реформування охорони

здоров'я, яка стане частиною національного плану реформ, оголошеного урядом України.

Національна стратегія реформування системи охорони здоров'я (далі Стратегія) є рамковим документом, який визначає зміст, бачення, принципи, пріоритети, завдання та основні заходи для української СОЗ до 2025 року.

Стратегія повинна стати основою для розробки політики та визначення порядку прийняття рішень у галузі охорони здоров'я, в тому числі рішення про наповнення та розподіл бюджетних коштів для охорони здоров'я. Таким чином, це створить основу для оцінювання та перегляду існуючого оперативного регулювання і розвитку нових, складних заходів та конкретних дій у певних сегментах сектора охорони здоров'я: стратегічний план розвитку людських ресурсів, генеральний план розвитку лікарень, стратегічний план розвитку паліативної допомоги, стратегічний план розвитку громадського здоров'я тощо [1].

Однією зі складових інтегрованого управління медичними закладами є стратегічне управління.

Стратегічне управління медичними закладами повинне забезпечити економічну, соціальну та наукову перевагу на конкурентному ринку медичних послуг. Прояви глобалізації медичних послуг у повному обсязі ще відсутні в Україні, але інтеграція до світової спільноти є рушійною силою стосовно необхідності застосування інноваційних інструментів і методів управління медичними закладами.

Актуальність проблеми стратегічного управління вітчизняними медичними закладами обумовлена динамічністю життєвого циклу продукту медичних проектів на фоні жорсткого конкурентного оточення, необхідністю якісного задоволення потреб у лікуванні населення України, створення життєдієвої національної системи охорони здоров'я та підвищення її ефективності задля національної безпеки.

Вирішення таких завдань потребує розробки інноваційного інструментарію управління медичними закладами, які є проектно-орієнтованими організаціями.

Застосування системного, проектного, програмного та портфельного підходів передбачає формування збалансованої стратегії інноваційного розвитку медичних закладів, що забезпечуватиме стійкі конкурентні переваги.

Перспектива входження до європейської та світової спільноти вимагає формування системи управління медичними закладами відповідно до норм і стандартів ЄС.

Аналіз останніх досліджень. Загальновідоме значення стратегії від давньогрецької *στρατηγία* – це «мистецтво полководця», чи «мистецтво ведення війни» [2]. Це тлумачення збігається у словниках Ожегова, Єфремова, Ушакова і Даля. На основі цього стратегія визначається як мистецтво керувати діями будь-якого колективу для досягнення загальних цілей у його боротьбі з супротивником. Зазвичай охоплює тривалий період та спрямовано на досягнення складної мети.

Подальша конкретизація цього напрямку знань подається в терміні «стратегічне управління».

Прикладні й теоретичні здобутки стратегічного управління наявні в роботах таких зарубіжних та українських вчених, як: І. Ансофф, Д. Барней, Б. Вернефел, Д. Кімберлі, Л. Кларк, Д. Маккан, Д. Морган, Д. Мілліман та ін.

Класичне визначення стратегічного управління, яке наведено без змін майже в усіх підручниках з менеджменту, виглядає наступним чином.

Стратегічне управління – це таке управління організацією, яке спирається на людський потенціал як основу організації, орієнтує виробничу діяльність на запити споживачів, гнучко реагує і проводить своє-

часні зміни в організації, що відповідають виклику з боку оточення і дозволяють домагатися конкурентних переваг, що в сукупності дає організації можливість виживати в довгостроковій перспективі, досягаючи при цьому своїх цілей [3, 4].

Вперше термін «стратегічне управління» був застосований до управління організацією в середині ХХ ст. і означав довгострокове планування виробництва продукції та освоєння ринків. За більш ніж 50 років це тлумачення змінювалося та уточнювалося щодо об'єкта та предмета дослідження.

Сучасний погляд на стратегічне управління доцільно провести через аналіз процесів, що його утворюють.

О. Віханський [3] виділяє такі процеси стратегічного управління: аналіз середовища; визначення місії і цілей; вибір і виконання стратегії; оцінювання і контроль реалізації.

Формулювання стратегії за В. Ансоффом [5] складається з: внутрішнього оцінювання фірми, оцінювання зовнішніх можливостей, формулювання цілей і завдань, розробки портфелю проектів, конкурентної стратегії, створення альтернативних варіантів проектів.

С. Вутон і Т. Хорн [6] пропонують власні три етапи процесу стратегічного планування: 1) стратегічний аналіз (зовнішнього і внутрішнього середовища); 2) обрання стратегічного напрямку (прогнозування, визначення місії та цілей, виявлення відхилень між прогнозами та цілями); 3) реалізація стратегії (формування та аналіз альтернативних варіантів стратегії).

В. Маркова і С. Кузнєцова [7] виділяють такі складові стратегічного процесу: формування мети; аналіз зовнішнього і внутрішнього оточення; розробка та реалізація стратегії.

А. Томпсон і Д. Стрікланд [8] пропонують розглядати стратегічне управління за такою структурою: визначення сфери діяльності; формулювання стратегічних настанов, цілей та завдань; розробка, реалізація стратегії; оцінювання результатів.

Класична модель стратегічного управління за М. Месконом (рис. 1): розробка місії та цілей організації, дослідження зовнішнього та внутрішнього середовища, аналіз сильних і слабких сторін, формування стратегічних альтернатив, вибір, реалізація та оцінювання стратегії [9].

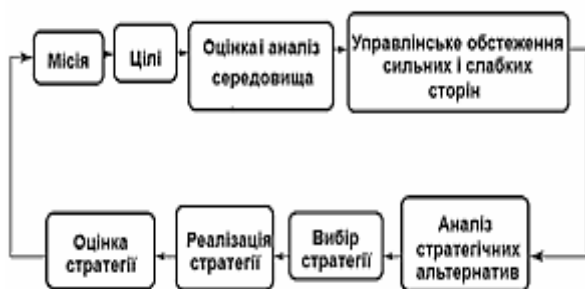


Рис. 1. Класична модель процесу стратегічного управління

У [10] стратегічне управління декомпонують на такі етапи:

1. Стратегічне управління в організації є рядом послідовних взаємопов'язаних етапів, кожен з яких використовує результати попереднього.

2. По-перше, визначаються місії організації, потім – формування поточного управління організацією.

3. Рух стратегічного управління направлено від якісних показників до показників, що обчислюються. Вказано на необхідність замикавання стратегічного управління на технологію поточного управління.

4. Необхідність розробки моделей і методів щодо аналізу та моделювання слабоформалізованої інформації результатів очікувань до результатів реалізації стратегії.

5. Необхідність застосування системного підходу щодо формування та аналізу окремих стратегій організації.

6. Стратегічні ініціативи повинні здійснюватися з певною періодичністю, яка залежатиме від особливостей ринків і можливостей організації.

Виділяють два основні кінцеві продукти стратегічного управління.

Один з них – потенціал організації, який забезпечує досягнення цілей у майбутньому.

Іншим кінцевим продуктом стратегічного управління є внутрішня структура й організаційні зміни, що забезпечують чутливість організації до змін у зовнішньому середовищі. У підприємницькій організації це передбачає наявність здатності своєчасно виявити і правильно витлумачити зовнішні зміни, а також керувати відповідними адекватними діями, які припускають наявність стратегічних можливостей для розробки, випробувань і впровадження нових товарів і послуг, технологій, організаційних змін. Потенціал організації і

стратегічні можливості визначаються її архітектонікою і якістю персоналу.

Метою статті є розгляд питання стратегічного управління медичними закладами України для подальшого дослідження шляхів переведення його в площину проектно-орієнтованого підходу.

Виклад основного матеріалу. Планування охорони здоров'я на сучасному етапі слід розглядати як спеціально створену багатофакторну підсистему управління охороною здоров'я населення, що має динамічні цілі, багатогалузевий характер і функціональні зв'язки між елементами як усередині самої системи охорони здоров'я, так і з іншими галузями народного господарства.

Планування охорони здоров'я має сприяти приведенню темпів і рівнів розвитку охорони здоров'я у відповідність до цілей зміцнення здоров'я населення.

Нині планування охорони здоров'я провадиться на трьох рівнях:

- державному;
- регіональному;
- муніципальному.

Будь-яка медична організація – це складна система з багатьма цілями. До основних видів цілей організації належать виробничі цілі (наприклад, показники результативності медичної допомоги), підвищення продуктивності, розширення / зменшення асортименту медичних послуг, забезпечення фінансовими ресурсами, зміни в структурі організації, поліпшення компетентності людських ресурсів та ін.

Стратегічне планування діяльності медичного закладу має бути тісно пов'язаним зі стратегією розвитку галузі, яка визначає напрями розвитку і використання ресурсного потенціалу для поліпшення здоров'я населення в країні в цілому, і зі стратегією розвитку охорони здоров'я в регіоні та на муніципальному рівні з урахуванням специфічних потреб його населення в медичній допомозі та особливостей розвитку інфраструктури і ресурсного забезпечення [11].

При стратегічному плануванні важливим питанням є критерії вибору тієї чи іншої стратегії, а також описання ринкових ситуацій, при яких різні стратегії є найбільш ефективними. Для медичних закладів такими критеріями не може бути лише оцінювання конкурентоспроможності, як для інших об'єктів господарювання.

Стратегічне планування медичного закладу (МЗ) передбачає визначення цілей і завдань для їх досягнення і є основою для прийняття управлінських рішень. Метою діяльності усіх типів медичних організацій є зниження захворюваності і смертності населення. Завданнями для досягнення цієї мети є проведення заходів медичної профілактики та відновлення втраченого здоров'я. За типом МЗ цілі та завдання будуть змінюватися [12].

1. Для амбулаторно-поліклінічних організацій метою діяльності є зниження захворюваності прикріпленого населення.

Завдання для досягнення мети.

а) Проведення заходів медичної профілактики: вакцинація населення; диспансеризація населення; санітарно-освітня робота.

б) Відновлення втраченого здоров'я в умовах, що не потребують цілодобового медичного спостереження за хворими.

2. Для лікарняних (госпітальних) організацій метою діяльності є відновлення втраченого здоров'я в умовах, що вимагають цілодобового спостереження за хворими. Завданнями для досягнення цієї мети є: застосування інтенсивних методів діагностики і лікування; здійснення постійного медичного догляду.

3. Для служби швидкої медичної допомоги метою діяльності є усунення синдромів (станів), що загрожують життю потерпілого.

Завданнями для досягнення мети є: надання екстреної медичної допомоги потерпілому на місці з доставкою в лікарню.

Для досягнення поставлених цілей медичні організації розробляють програму дій. Як правило, для медичного закладу складають стратегічні програми терміном до п'яти років, тактичні – на один рік.

Метою програми діяльності медичного закладу є виконання максимально можливих обсягів медичної допомоги в умовах дотримання ліцензійних вимог до медичної діяльності.

Формування стратегічної програми діяльності медичного закладу включає такі етапи:

1. Визначення майбутніх обсягів медичної допомоги. Одиницею обсягу медичної допомоги є: в стаціонарі – пролікований хворий; в амбулаторно-поліклінічній службі – пролікований хворий і консультація; в службі швидкої медичної допомоги – обслужений виклик.

Майбутні обсяги медичної допомоги визначаються на основі аналізу використання структури (основних фондів) з урахуванням проектної потужності організації та наявності умов для надання безпечної медичної допомоги (дотримання ліцензійних вимог).

З урахуванням наявних ліцензійних вимог, з використанням клінічних рекомендацій, протоколів експертним шляхом визначають середню тривалість лікування.

2. Формування структури програми діяльності медичного закладу для виконання конкретного обсягу медичної допомоги включає в себе такі заходи:

1) щодо підтримання основних фондів: перелік ремонтних робіт; технічна підтримка устаткування в технічно справному стані; визначення обсягів споживання тепла, електроенергії, газу, паливно-мастильних матеріалів, телефонний зв'язок тощо;

2) щодо забезпечення матеріальними ресурсами: на підставі нормативів визначаються обсяги всіх видів матеріальних ресурсів (медикаменти, продукти харчування, м'який і твердий інвентар, інструменти, прилади та ін.); робота з постачальниками; поліпшення умов зберігання; поліпшення умов виготовлення ресурсів власними силами;

3) щодо забезпечення кадровими ресурсами: на підставі діючих нормативів визначається потреба в працівниках усіх спеціальностей, проводиться їх тарифікація; підготовка фахівців необхідних професій, обов'язкове навчання один раз на п'ять років; атестація на відповідність займаній посаді; заняття по правилах техніки безпеки, санітарно-гігієнічних правилах, підвищення загального рівня знань з основних проблем медицини;

4) щодо забезпечення інтелектуальними ресурсами: проведення науково-дослідних робіт та створення умов для їх проведення; впровадження нових медичних технологій;

5) щодо забезпечення фінансовими ресурсами: залучення додаткових джерел фінансування: бюджетних; коштів підприємств, громадян (платні послуги); забезпечення збереження матеріальних і фінансових ресурсів: перевірки, ревізії, інвентаризації;

б) щодо дотримання клінічних і технічних стандартів у процесі надання медичної допомоги: контроль дотримання клінічних і технічних стандартів; підвищення (конкретних) професійних знань працівників; перероз-

поділ обсягів роботи (навантаження) серед працівників;

7) щодо дотримання економічних стандартів (нормативів): контроль витрачання ресурсів; контроль обсягів роботи.

Ці заходи готуються керівниками структурних підрозділів, оцінюються експертною радою закладу і передаються в економічний відділ для визначення витрат на їх виконання.

Певні фінансові витрати групують за статтями кошторису витрат, які лягають в основу фінансового плану медичної організації. Цей фінансовий план включає дві складові: кошторис доходів і кошторис витрат.

Зазначені вище заходи спираються на наступні методи.

Перспективний аналіз – розгляд випадків лікування до моменту госпіталізації або до звернення хворого в медичні установи. На цьому етапі планується місце надання медичної допомоги. Акцент робиться на забезпеченні повної готовності хворого до стаціонарного лікування, тобто всі необхідні діагностичні дослідження проводяться до госпіталізації. Оцінюється очікувана тривалість лікування. Планується також постгоспітальна стадія лікування.

Поточний аналіз – оцінювання ходу лікувально-діагностичного процесу на його активній стадії. Одночасно планується постгоспітальна, амбулаторна допомога, у тому числі з використанням стаціонарозамісних технологій.

Ретроспективний аналіз – до нього вдаються після завершення лікування. При цьому оцінюються результати лікування, пов'язані з оцінюванням ефективності використання ресурсів. Проводиться порівняння показників діяльності однотипних медичних організацій та окремих лікарів на основі методів клініко-економічного аналізу.

До заходів з підвищення ефективності управління медичною організацією також відносяться: комп'ютеризація всієї системи управління; впровадження систем управління ресурсними потоками і кваліфікованою медичною допомогою (КМД); дотримання рівнів управління установою; підвищення професійних знань у сфері управління на основі особистих творчих планів; регулярна атестація на відповідність займаній посаді; формування іміджу як окремих працівників, так і колективів: заохочення – матеріальне, моральне; за-

несення на Дошку пошани, вручення грамот, представлення працівників до почесних звань, нагород; проведення оглядів професійної майстерності; святкування пам'ятних дат у житті закладу, окремих працівників; видання проспектів, книг, фільмів про колектив медичної організації.

Після розробки заходів щодо підвищення ефективності використання ресурсів вносяться корективи до дохідної та видаткової частин кошторису. Відповідно до цього змінюються показники, що характеризують мету і нормативи витрачання ресурсів.

Проект програми узгоджується з кожним виконавцем і керівником структурного підрозділу. Після узгодження кожному структурному підрозділу визначається планове завдання на рік з поквартальною розбивкою.

Планове завдання включає в себе:

- обсяги майбутньої роботи;
- показники, що характеризують стан виробничої послуги;
- економічні показники: використання основних фондів (ліжко, обладнання); нормативи забезпечення ресурсами.

Після цього програма діяльності медичного закладу затверджується наказом керівника організації. В наказі:

1) визначаються заходи (служби управління установою – дирекцією) щодо організації виконання програми;

2) керівникам структурних підрозділів пропонується розробити власні заходи щодо виконання планових завдань;

3) визначається (або підтверджується) система збору, обробки і надходження інформації про хід виконання програми для порівняння отриманих результатів із проектними показниками програми.

Висновки. Необхідність якісного задоволення потреб у лікуванні населення України, застарілість існуючої системи охорони здоров'я, часто формальність та неефективність стратегічного планування в секторі медичних установ, необхідність створення ефективної, життєдієвої національної системи охорони здоров'я, що відповідає нормам і стандартам ЄС, впровадження проектно-орієнтованого підходу в усіх галузях, у тому числі в галузі медицини, особливості стратегічного управління медичними закладами вказують на потребу ґрунтовного вивчення та системного аналізу саме в площині проектно-

орієнтованого підходу. У статті розглянуто основні засади існуючої системи стратегічного управління медичними закладами для подальшого аналізу та дослідження шляхів удосконалення. З метою забезпечення його ефективності пропонується реорганізувати організаційну структуру управління окремими медичними закладами та медично-лікувальними комплексами до посиленої матриці, де проектами (програмами) стратегічного управління та інноваційних змін керуватиме досвідчений і професійний проектний менеджер чи проектний офіс.

Список літератури

1. Проект Національної стратегії побудови нової системи охорони здоров'я в Україні на період 2015–2025 від 04.12.2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.apteka.ua/article/315522>
2. Стратегія [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F>
3. Виханский О. Стратегическое управление / О. Виханский. – М. : Гардарика, 2010. – 344 с.
4. Лапыгин Д. Ю. Стратегический менеджмент / Д. Ю. Лапыгин. – М. : ЛитРес, 2009. – С. 11.
5. Ансофф И. Стратегический менеджмент : классическое изд. / И. Ансофф ; пер. с англ. О. Литун ; ред. А. Н. Петров. – С.Пб. : Питер, 2009. – 343 с.
6. Wootton S. Strategic planning: the nine step programme / S. Wootton, T. Home // *Kogan Page*. – 1997. – № 2. – Р. 312–318.
7. Маркова В. Стратегический менеджмент / В. Маркова, С. Кузнецова. – М. : Р ИНФРА-М, 2007 – 347 с.
8. Томпсон А. А. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии : учебник для вузов / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд. – М. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 576 с.
9. Мескон М. Х. Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури ; [пер. с англ.]. – М. : Вильямс, 2009. – 672 с.
10. Стратегический менеджмент. Основы стратегического управления : учебник /

[М. А. Чернышев и др.]. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. – 506 с.

11. Вороненко Ю. В. Стратегічне управління в охороні здоров'я: теоретичні та практичні аспекти / Ю. В. Вороненко // Науковий журнал МОЗ України. – 2014. – № 1 (5). – С. 39–46.
12. Управление и экономика здравоохранения : учеб. пособие для вузов / [под ред. А. И. Вялкова]. – 3-е изд. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 664 с.

References

1. Draft of National Strategy for building a new health care system in Ukraine for the period 2015–2025 (2014), available at: <http://www.apteka.ua/article/315522/>
2. Strategy, Wikipedia, available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F>
3. Vihanskij, O. (2010) Strategic control. Moscow: Gardarika, 344 p. [in Russian].
4. Lapygin, D. (2009) Strategic management. Moscow: LitRes, p. 11 [in Russian].
5. Ansoff, I. (2009) Strategic management. St. Petersburg: Piter, 343 p. [in Russian].
6. Wootton, S. (1997) Strategic planning: the nine step programme. *Kogan Page*, No. 2, pp. 312–318.
7. Markova, V. and Kuznetsova, S. (2007) Strategic management. Moscow: R INFRA-M, 347 p. [in Russian].
8. Tompson, A. and Strickland, J. (1998) Strategic management. The art of strategy development and implementation. Moscow: Banki i birzhi, JuNITI, 576 p. [in Russian].
9. Meskon, M., Albert, M. and Hedouri, F. (2009) Fundamentals of management. Moscow: Viliyams, 672 p. [in Russian].
10. Chernyshov, M. A. et al. (2009) Strategic management. Fundamentals of strategic control. Rostov-na-Donu: Feniks, 506 p. [in Russian].
11. Voronenko, Yu. V. (2014) Strategic control in health care: theoretical and practical aspects. *Naukovyy zhurnal MOZ Ukrayiny*, No. 1 (5), pp. 39–46 [in Ukrainian].
12. Health care management and economy (2009). In: A. I. Vialkov (ed.). Moscow: GEOTAR-Media, 664 p. [in Russian].

V. V. Lepskiy, *Ph.D. in Medicine, associate professor
of the department of management and health economics
East European University of Economics and Management,
Vyacheslav Chornovil str., 164/2, Cherkasy, 18000, Ukraine
e-mail: cherkassymsek@ukr.net*

STRATEGIC MANAGEMENT BY MODERN MEDICAL INSTITUTIONS

Low level of health care in Ukraine, outdated health system both in terms of technology and its organizational structure, the implementation of project approach in all spheres of economic activity point to a need to reform health system at all levels: national, regional and the level of each medical institution. The prospect of joining the European and world community requires the formation of the system of medical institutions to comply with EU standards.

The Government of Ukraine adopted a "National Strategy for health reform in Ukraine in 2015 – 2020". However, the efficiency of the planned reforms, which include a significant number of programs, projects and portfolios of projects in health sector, requires a careful consideration of the latest tools and methodologies, including strategic planning and management of medical institutions, to further their application and adaptation to specific Ukrainian conditions of today.

Classical model of strategic management by M. Meskon, which includes: the development of mission and objectives, the research of external and internal environments, the analysis of strengths and weaknesses, the formation of strategic alternatives, the selection, implementation and evaluation of strategies, is generally accepted.

The basic principles of existing system of medical institutions' strategic management in Ukraine are considered for further analysis and research of the ways to improve. To ensure its effectiveness it is offered to reorganize organizational structure of management by individual medical institutions and medical complexes to enhanced matrix where the projects (programs) of strategic management and innovative changes would be managed by experienced and professional project manager or project office.

Keywords: *strategic management, health care system, hospital, strategic planning, project, program of strategic development.*

*Рецензенти: О. В. Коломицева, д.е.н., професор,
О. Б. Данченко, д.т.н., доцент*

В. І. Кальченко, д.т.н., професор,
e-mail: kalchenkovi@ukr.net

В. В. Кальченко, д.т.н., професор,
e-mail: yvkalchenko74@gmail.com

О. С. Следнікова, аспірант,
e-mail: sliednikova@gmail.com

Д. В. Кальченко, магістрант
e-mail: yvkalchenko74@gmail.com

Чернігівський національний технологічний університет
вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ОРІЄНТОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРОФІЛЬОВАНИМИ КРУГАМИ

Стаття присвячена дослідженню процесу двостороннього торцевого шліфування деталей, де обробка торцевих поверхонь здійснюється за один прохід орієнтованими у двох площинах та профільованими шліфувальними кругами. Наведено залежності для визначення локальної, питомої та миттєвої продуктивності обробки, лінійного та об'ємного зносу абразивного інструменту, сил різання, потужності та теплового потоку при шліфуванні, які враховують температуру нагрівання деталі та жорсткість системи по координаті обробки. Побудовано графік коефіцієнта, який враховує вплив температури нагрівання деталі на величину напруги зсуву. Наведено загальну модель твірних інструментальних поверхонь та їх безперервний опис і твірні некруглих деталей, які оброблюються на одно- та двосторонніх торцешліфувальних, плоскошліфувальних та інших верстатах. Представлено тривимірні моделі поверхонь інструментів та деталей з некруглим профілем.

Ключові слова: двостороннє шліфування торців, продуктивність, сили різання, потужність, температура, орієнтація.

Вступ. Забезпечення високої точності оброблюваних поверхонь деталей досягається фінішними операціями, однією з яких є шліфування. Так, наприклад, обробку торців деталей здійснюють на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, що дозволяє забезпечити високу точність та продуктивність. Розробка нових способів шліфування торців деталей та їх дослідження сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності машинобудівних, автомобілебудівних, інструментальних та інших підприємств України.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [1–4] наведено розрахунки продуктивності, зносу інструментів, сил різання та потужності при шліфуванні деталей, у [5, 6] наведено розрахунок продуктивності при обробці одним пругом зерна та всією поверхнею шліфувального круга відповідно, в [7] визначаються сили різання при обробці, в [8] – знос інструментів. Але в зазначених роботах не враховано вплив температури та жорсткості системи по координаті обробки.

Вплив температури нагрівання деталей на продуктивність шліфування подано в [4], податливості та динамічних характеристик системи на величину сили різання – в [9, 10]. Але в роботах не наведено залежності для розрахунку продуктивності обробки, зносу шліфувальних кругів, сил різання та потужності, які б одночасно враховували вплив і теплонапруженості процесу, і жорсткості системи по координаті обробки.

У роботах [11, 7] розроблено інструмент, що забезпечує високу продуктивність обробки та необхідну точність оброблюваних деталей.

Постановка проблеми. Відсутність загальної моделі твірних інструментальних поверхонь та їх безперервного опису і залежностей для розрахунку продуктивності обробки, зносу інструменту, сил різання та потужності при двосторонньому торцевому шліфуванні, які б одночасно враховували вплив теплонапруженості процесу та жорсткості системи по координаті обробки, що забезпечить отримання необхідної точності оброблених деталей та високої продуктивності шліфування.

Мета статті – розробка загальної моделі твірних поверхонь інструментів і деталей, їх безперервний опис та дослідження впливу температури нагрівання деталі й жорсткості системи по координаті обробки на точність та продуктивність обробки.

Виклад основного матеріалу.

Розрахунок продуктивності обробки, зносу, сил різання, потужності та теплового потоку при двосторонньому торцевому шліфуванні. Дослідження процесу шліфування полягає у визначенні продуктивності обробки, зносу шліфувальних кругів, сил різання, потужності теплового потоку при обробці, що забезпечує можливість оцінювання ефективності процесу.

Обробка деталей при двосторонньому торцевому шліфуванні здійснюється за один прохід орієнтованими у двох площинах шліфувальними кругами, що підвищує продуктивність порівняно з одностороннім і багатопрхідним двостороннім торцешліфуванням [12].

Загальна схема для визначення продуктивності шліфування торцевих поверхонь зі схрещеними осями кругів та деталей наведена в [1].

Загальна модульна модель формоутворення торцевих поверхонь деталей, наведена в роботах [1, 13], дозволяє визначити локальну продуктивність обробки Q_L за формулою

$$Q_L(\Theta, \Pi_i) = \bar{V}_{in} \cdot dF(\Theta, \Pi_i), \quad (1)$$

де $\bar{V}_{in}$ – вектор швидкості відносного руху;

$dF(\Theta, \Pi_i)$ – елементарна площадка плями контакту інструмента та деталі, вона залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталі Θ та коефіцієнта, що враховує жорсткість системи по координаті обробки Π_i .

Довжина елементарної площадки – $(R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) d\theta_k$, вона вимірюється по дузі кола $R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i$, а ширина елементарної площадки описується

виразом $\sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di$. Підставимо дані у формулу (1):

$$Q_L(\Theta, \Pi_i) = \bar{V}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) d\theta_k \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (2)$$

де R_i – радіус координати i -ї точки профілю круга після правки;

R_{in}, Z_{in} – радіус осевого перерізу круга в i -й точці профілю шліфувального круга при обробці n -ї деталі і його осева координата;

$I_{in}(\Theta)$ – знос шліфувального круга, який залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталі;

α_{in} – кут нахилу дотичної в i -й точці профілю, що визначає напрямок зносу $I_{in}(\Theta)$ круга, який залежить від температури нагрівання деталі Θ ;

Π_i – коефіцієнт, що враховує сумарну жорсткість системи;

θ_k – кутовий параметр круга.

Питома продуктивність Q_{yin} , яка показує об'єм матеріалу, що зрізується ділянкою круга в межах i -ї точки профілю, визначається з виразу

$$Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k, \quad (3)$$

де $1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right)$ – вірогідність видалення матеріалу заготовки, яка розраховується за методикою Ю. К. Новоселова [14, 15];

$\bar{n}_{in}$ – вектор нормалі i -ї точки профілю круга після обробки n деталей.

Миттєва продуктивність шліфування Q_m , що дає можливість розраховувати миттєвий об'єм металу, який зрізується на плямі контакту круга та деталі по координаті обробки, описується подвійним інтегралом по i -й координаті та кутовій координаті плями контакту:

$$Q_m(\Theta, \Pi_i) = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} \bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot (R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0}\right) \right] \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_{in}}{di}\right)^2} di, \quad (4)$$

де i_1, i_2 – граничні значення параметра i осевого перерізу круга в зоні контакту;

$\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$ – кутові координати плями контакту на радіусі $R_i - I_{in}(\Theta) \cdot \sin \alpha_{in} - \Pi_i$.

Об'ємний знос визначається з формули [1]:

$$q_1(\Theta, \Pi_i) = \frac{Q_a}{Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)} = C_q \cdot Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)^{m-1}, \quad (5)$$

де Q_a – об'ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу;

$Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)$ – швидкість знятого металу за той же час;

C_q – коефіцієнт, що дорівнює швидкості зносу при $Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = 1$.

Лінійний знос I_{in} в i -й точці профілю круга в процесі обробки n -ї деталі визначається з виразу [1]:

$$I_{in}(\Theta, \Pi_i) = \int_0^{T_o} \left(\frac{C_{yin} \cdot Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)^{m_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} + \frac{C_{qin} \cdot Q_{qin}(\Theta, \Pi_i)^{b_1}}{k_\alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{in}} \right) dT_o, \quad (6)$$

де $Q_{yin}(\Theta, \Pi_i)$ – питомий об'єм металу, що знімається i -ю ділянкою n -го профілю круга, який залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталі Θ та податливості в i -й точці Π_i , визначається з виразу (3) при $\bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot \tau_i \geq a_{z \min}$;

$Q_{qin}(\Theta, \Pi_i)$ – питомий об'єм деформованого металу абразивними зернами i -ї ділянки n -го профілю круга, визначається з виразу (3) при $\bar{V}_{in} \cdot \bar{n}_{in} \cdot \tau_i \leq a_{z \min}$;

$a_{z \min}$ – мінімальна товщина шару, що зрізується різальним кругом;

C_{yin}, C_{qin} – коефіцієнти питомого зносу в Ri -й точці n -го профілю круга при $Q_{yin}(\Theta, \Pi_i) = 1$ та $Q_{qin}(\Theta, \Pi_i) = 1$, які визначаються експериментально для кожної i -ї ділянки круга;

m_1 – коефіцієнт, що враховує інтенсивність режиму шліфування та стан різальної поверхні пруга;

b_1 – коефіцієнт, що враховує інтенсивність режиму деформування металу без його зняття;

k_α – коефіцієнт, що враховує перекриття різальних пругів;

T_o – час обробки деталі за частину її оберту, один оберт чи кількість обертів, необхідних для обробки n -ї деталі ділянкою круга в межах i -ї точки його профілю.

Потужність шліфування $N(\Theta, \Pi_i)$ однієї деталі одним інструментом визначається з виразу [1]:

$$N(\Theta, \Pi_i) = a \cdot Q(\Theta, \Pi_i), \quad (7)$$

де $Q(\Theta, \Pi_i)$ – продуктивність шліфування, яка визначаються за формулами (2–4), вона залежить від температури нагрівання деталей Θ та податливості в i -й точці Π_i ;

a – питома потужність, що витрачається на зняття одиниці об'єму, визначається експериментально.

Щільність теплового потоку залежить від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталей Θ , та податливості в i -й точці Π_i і визначається з виразу [1]:

$$q(\Theta, \Pi_i) = \frac{b \cdot N(\Theta, \Pi_i)}{F}, \quad (8)$$

де b – коефіцієнт, який враховує розподіл теплового потоку між стружкою, що зрізується, та заготовкою;

F – площа поверхні контакту круга та заготовки.

На рис. 1 зображено графік тимчасового опору [4] від температури для сталі ШХ15.

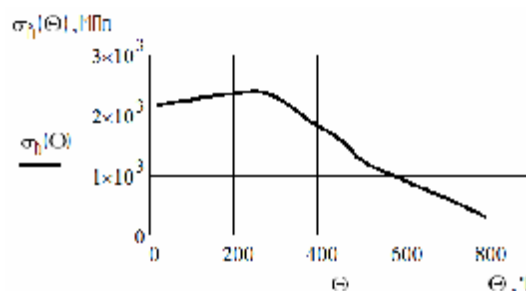


Рис. 1. Графік залежності тимчасового опору σ_b від температури нагрівання деталі

Використовуючи залежності, наведені в роботі [3], визначимо сили різання, які діють на окреме зерно, з урахуванням податливості системи та температури заготовки:

$$P^{\tau}(\Theta) = P_{cd}^{\tau} + P_{mp}^{\tau} + P_{ин}^{\tau} = \tau_s(\Theta) \cdot z \cdot \rho \cdot$$

$$\left\{ \frac{\sin(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi\mu / (3\mu_s) + \dots \right. \\ \left. + \frac{\rho_m \cdot v \cdot (v - v_c \cdot \sin \gamma)}{\tau_s(\Theta)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \right\} \quad (9)$$

$$P^n(\Theta) = P_{cd}^n + P_{mp}^n + P_{ин}^n = \tau_s(\Theta) \cdot z \cdot \rho \cdot$$

$$\left\{ \frac{\cos(\beta + \varphi_s)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_s} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi / (3\mu_s) + \dots \right. \\ \left. + \frac{\rho_m \cdot v \cdot v_c \cdot \cos \gamma}{\tau_s(\Theta)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \right\} \quad (10)$$

де $P^{\tau}(\Theta)$, $P^n(\Theta)$ – тангенціальна і нормальна складові сили мікрорізання одиничним зерном;

P_{cd}^n , P_{mp}^n , $P_{ин}^n$ – сили зсуву, тертя, інерції;

$\tau_s(\Theta)$ – напруги зсуву, які залежать від температури нагрівання матеріалу;

z , ρ – глибина проникнення вершини зерна в матеріал заготовки і радіус її округлення;

ρ_m – щільність матеріалу заготовки;

v – швидкість різання;

$v_c = v \sin \beta / \cos(\beta - \gamma)$ – проекція швидкості руху стружки на напрям переміщення зерна відносно матеріалу заготовки;

$\beta = 12^\circ$ – кут зсуву оброблюваного матеріалу;

$\gamma = \arcsin(1 - z / 2\rho)$ – передній кут різального пруга;

μ_s , μ – коефіцієнти тертя в площині зсуву та на задній поверхні пруга;

$\varphi_s = \arctg \mu_s$ – кут тертя в площині зсуву.

Для описання залежності τ_s від температури нагрівання Θ сталі ШХ15 побудуємо графік залежності коефіцієнта $K_{\Theta} = f(\Theta)$ (рис. 2), який враховує зміну міцності оброблюваного матеріалу при зміні температури нагрівання Θ . Напругу зсуву визначаємо згідно з [4, 16].

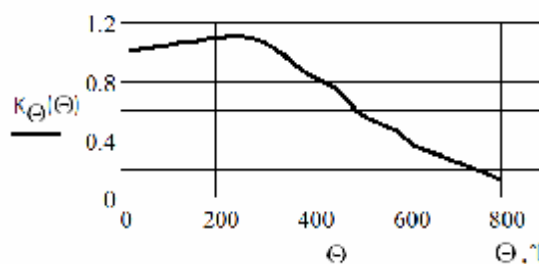


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта K_{Θ} від температури нагрівання деталі Θ

Загальна модель твірної поверхонь інструментів, деталей та їх безперервний опис. Забезпечення неперервності загальної моделі твірної інструментальних поверхонь досягається використанням функції Хевісайда у декартовій або полярній системі координат. Також за допомогою функції Хевісайда можна задавати деталі з некруглим профілем: кінцеві міри, багатогранні непереточувані пластини та ін.

Твірна шліфувального круга при обробці розподільчих валів та інших циліндричних поверхонь деталей складається з трьох ділянок (рис. 3) [17]. Також з трьох ділянок складається твірна різця для розточування сідел клапана ДВЗ (рис. 4), де формоутворення здійснюється методом копіювання [18].

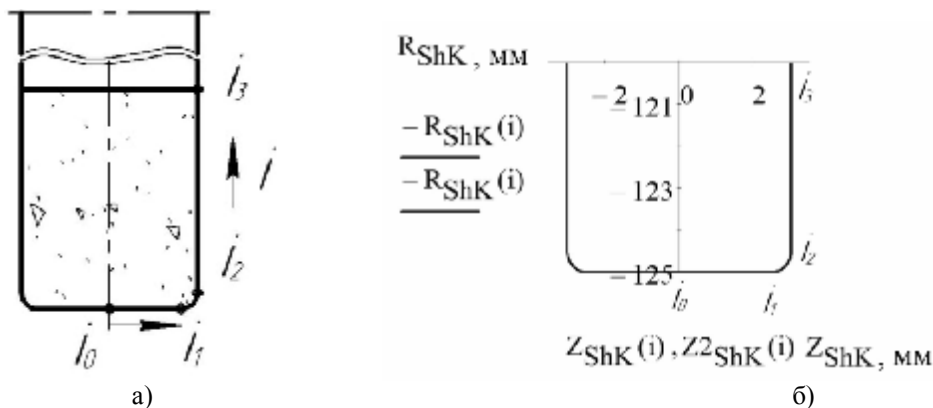


Рис. 3. Профіль шліфувального круга для обробки циліндричних деталей

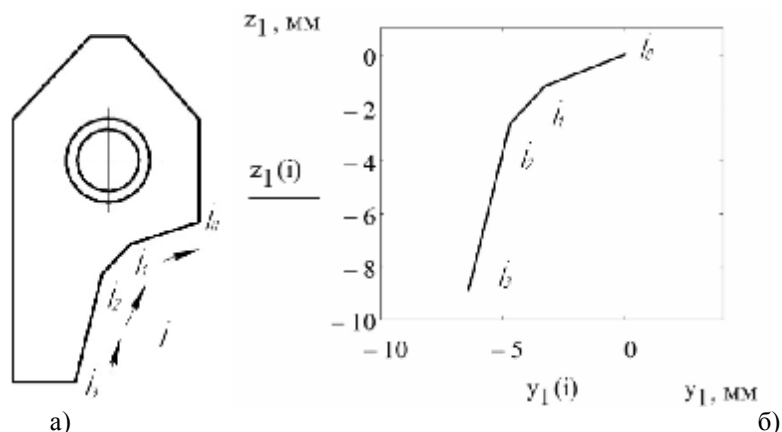


Рис. 4. Різальна пластина

При двосторонньому торцевому шліфуванні твірні кругів описуються двома ділянками (торець та калібрувальна ділянка), які беруть участь у знятті припуску, і периферією, що не бере участі в обробці (рис. 5) [13]. При односторонньому шліфуванні торцевих поверхонь деталей круги [19] описуються

трьома ділянками (рис. 6). Профільований шліфувальний круг для обробки торцевих поверхонь також складається з трьох ділянок (рис. 7), при цьому профільна ділянка виконує обробку методом послідовного копіювання, а торці не беруть участі в обробці.

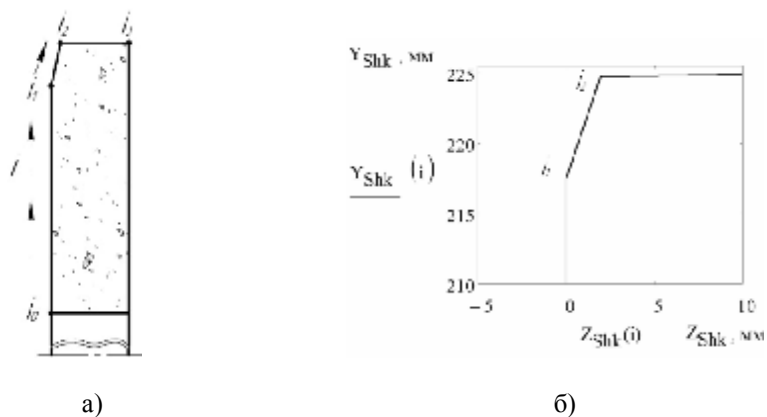


Рис. 5. Профіль шліфувального круга при обробці торців деталей

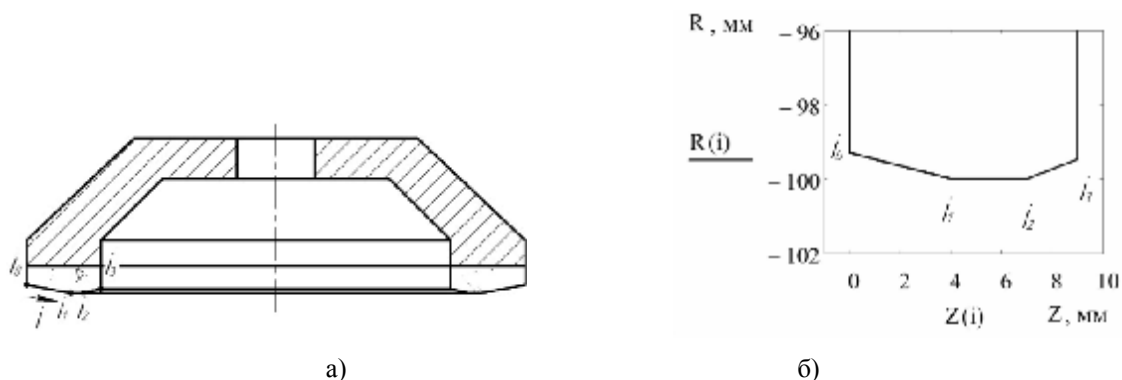


Рис. 6. Чашковий шліфувальний круг

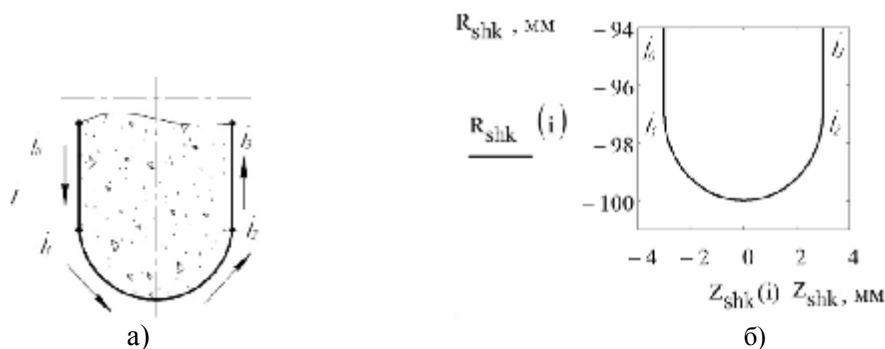


Рис. 7. Інструмент для обробки торової поверхні

Твірні інструментальних поверхонь будуємо в системі автоматизованого проектування Mathcad, при профілюванні шліфувального круга прямого профілю для обробки розподільчого валу [18] вираз буде мати вигляд:

$$Z_u(i) = i \cdot (1 - \Phi(i - i_1)) + \left(i_1 + r \cdot \sin\left(\frac{i - i_1}{r}\right) \right) \cdot (\Phi(i - i_1) - \Phi(i - i_2)) + (i_1 + r) \cdot \Phi(i - i_2), \quad (11)$$

$$R_u(i) = R \cdot (1 - \Phi(i - i_1)) + \left(R + r \cdot \cos\left(\frac{i - i_1}{r}\right) - 1 \right) \cdot (\Phi(i - i_1) - \Phi(i - i_2)) + (R - r - i + i_2) \cdot \Phi(i - i_2), \quad (12)$$

де Φ – функція Хевісайда, яка забезпечує безперервний опис профілю круга;

$i_{r\text{поч}}$, $i_{r\text{кін}}$ – координата i (рис. 4) початку та кінця радіусної ділянки шліфувального круга;

R , r – радіус шліфувального круга та заокруглення його пруга.

Аналогічно виглядають рівняння, які описують профілі шліфувальних кругів, зображених на рис. 3–6. Ця методика може бути використана і для інструментів, що складаються з більшої кількості ділянок.

Твірні некруглих деталей складаються з трьох та більше ділянок (рис. 8), вони задаються в полярній системі координат: тригранні непереточувані пластини складаються з трьох ділянок (рис. 8, а), кінцеві міри та чотиригранні – з чотирьох (рис. 8, б, в), п'ятигранні – з п'яти (рис. 8, г), шестигранні – з шести (рис. 8, д), також можна задавати й інші поверхні.

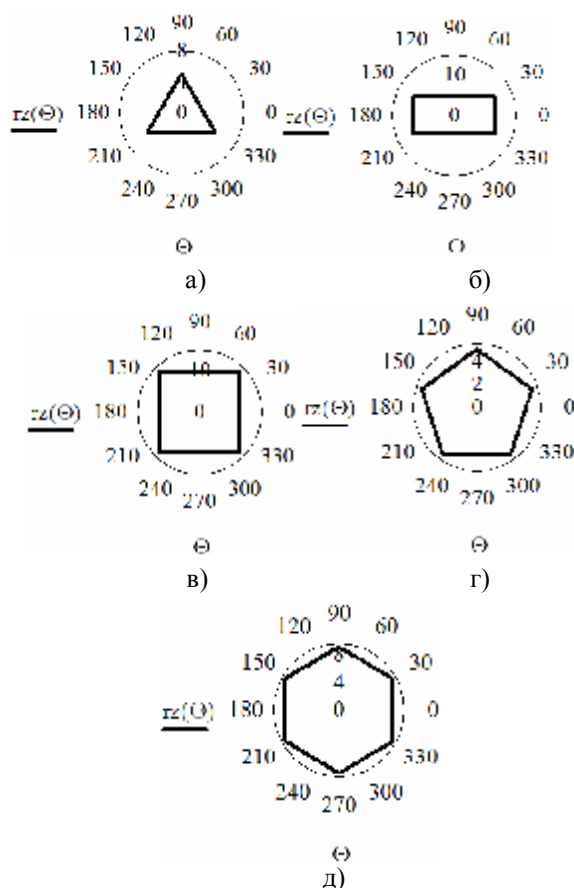


Рис. 8. Оброблювані деталі

Твірні деталей з некруглим профілем задаються в полярній системі координат, при цьому кожна ділянка описується окремою залежністю, для тригранної непереточуваної пластини твірну можна описати рівнянням:

$$rz(\Theta) = rz1(\Theta) \cdot (1 - \Phi(\Theta - \varphi1)) + z2(\Theta) \cdot (\Phi(\Theta - \varphi1) - \Phi(\Theta - \varphi2)) + z3(\Theta) \cdot (\Phi(\Theta - \varphi2)), \quad (13)$$

де $rz1(\Theta)$, $z2(\Theta)$, $z3(\Theta)$ – рівняння першої, другої та третьої ділянок тригранної непереточуваної пластини.

$\varphi 1$, $\varphi 2$ – кут початку та закінчення ділянок тригранної непереточуваної пластинки.

За цією методикою можна задавати профілі деталей, які складаються з більшої кількості ділянок.

Інструментальні поверхні отримують за допомогою руху твірної по напрямній. Поверхні інструментів шліфувальних кругів прямого профілю (рис. 9, а), для двостороннього, одностороннього торцевого шліфування (рис. 9, в, г), профільного для обробки торцевих поверхонь (рис. 9, д) отримують рухом твірної по круговій напрямній, при описанні лезового інструменту твірну рухають по прямолінійній напрямній (рис. 9, б).

Загальна модель інструментальної поверхні шліфувального круга (рис. 9, а) має вигляд:

$$\bar{r}_u = C_{Z_u(i)\theta_u R_u(i)}^u \cdot \bar{e}^4, \quad (14)$$

де $\bar{r}_u$ – радіус-вектор точок шліфувального круга;

$Z_u(i)$ – i -та осьова координата шліфувального круга (11);

θ_u – кут повороту інструмента навколо власної осі;

$R_u(i)$ – i -та координата радіуса шліфувального круга (12).

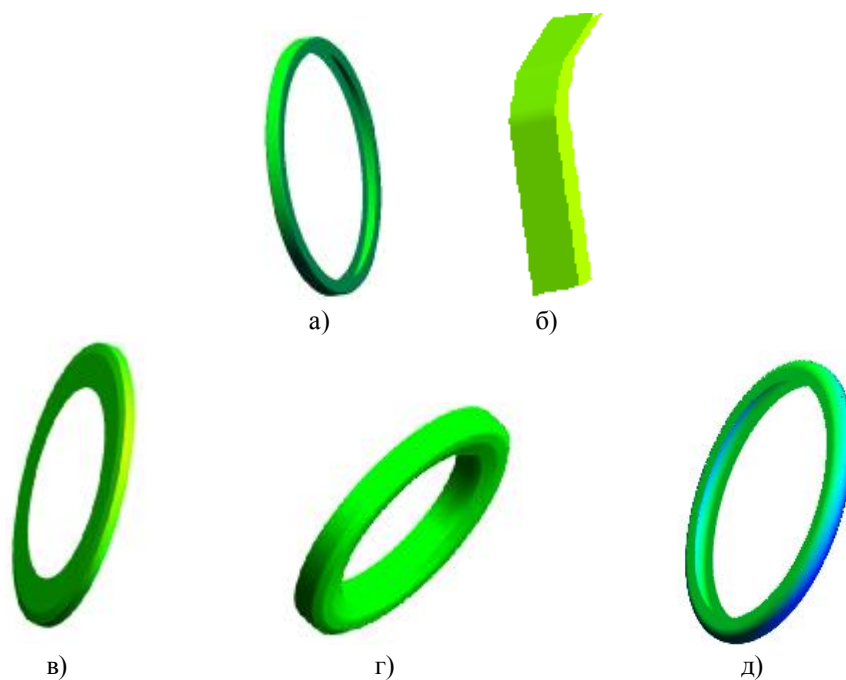


Рис. 9. Інструментальні поверхні

Циліндричний модуль, який описує інструментальну поверхню,

$$C_{\theta_u \cdot i}^u = M3(Z_u(i)) \cdot M6(\theta_u) \cdot M2(R_u(i)). \quad (15)$$

У модульних 3D-моделях використовуються однокоординатні матриці $M1$, $M2$, $M3$, $M4$, $M5$, $M6$, які описують переміщення вздовж осей та повороти навколо них.

Аналогічно будуються поверхні шліфувальних кругів (рис. 9, в-д).

При описанні пластинки для розточування сидла клапана ДВЗ використовуємо прямокутний модуль:

$$\bar{r}_{instr} = P_{Z_u(i)B \cdot X_u(i)}^u \cdot \bar{e}^4, \quad (16)$$

де $\bar{r}_{instr}$ – радіус-вектор точок пластинки;

$Z_u(i)$ – i -та осьова координата пластинки;

B – ширина пластинки;

$X_u(i)$ – i -та координата профілю пластинки.

Поверхні деталей з некруглим профілем: тригранні (рис. 10, а) та чотиригранні (рис. 10, б) непереточувані пластинки, кінцеві міри (рис. 10, в), п'ятигранні (рис. 10, г) та шестигранні (рис. 10, д) непереточувані пластинки описують рухом твірної вздовж їх осей.

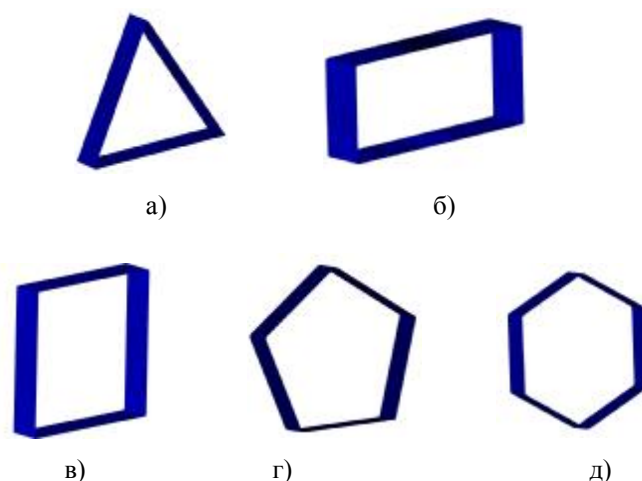


Рис. 10. Поверхні деталей

Прямокутний модуль, який описує інструментальну поверхню пластинки,

$$P_{B_u, i}^u = M3(Z_u(i)) \cdot M2(B_u) \cdot M1(X_u(i)). \quad (17)$$

Загальна модель поверхні деталей (рис. 10) має вигляд

$$\bar{r}_\partial = C_{Z_\partial, \theta_\partial, rz(\theta_\partial)}^\partial \cdot \bar{e}^4, \quad (18)$$

де $\bar{r}_\partial$ – радіус-вектор точок деталі;

Z_∂ – довжина деталі;

θ_∂ – кутова координата профілю деталі відносно власної осі;

$rz(\theta_\partial)$ – координата профілю деталі, яка

залежить від кута θ_∂ .

Циліндричний модуль, який описує поверхню деталі,

$$C_{\theta_\partial, Z_\partial}^\partial = M3(Z_\partial) \cdot M6(\theta_\partial) \cdot M2(rz(\theta_\partial)). \quad (19)$$

Висновки:

1. Уточнено формули розрахунку продуктивності обробки, зносу шліфувальних кругів, сил різання, потужності й теплового потоку за допомогою коефіцієнтів, що враховують температуру нагрівання деталі та жорсткість системи.

2. Наведено загальну модель твірних інструментальних поверхонь, оброблюваних деталей та їх безперервний опис, на базі якої описуються тривимірні геометричні моделі.

Список літератури

1. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / Грабченко А. И.,

Кальченко В. И., Кальченко В. В. – [изд. 2-е, доп.]. – Чернигов: ЧНТУ, 2015. – 504 с.

2. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.

3. Филимонов Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.

4. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.

5. Рудик А. В. Визначення граничної товщини зрізу, що забезпечує ефективне шліфування / А. В. Рудик, В. А. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : наук. зб. – 2012. – № 1 (55). – С. 96–101. – (Серія «Технічні науки»).

6. Рудик А. В. Продуктивність обробки торців на торцево-шліфувальних верстатах / А. В. Рудик, В. А. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2010. – № 45. – С. 57–67.

7. Польшаков В. І. Теоретичні і практичні основи високопродуктивного торцевого шліфування важкооброблюваних матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / В. І. Польшаков. – Київ, 1998. – 27 с.

8. Вайнер Л. Г. Модель износа шлифовальных кругов при двустороннем торцевом шлифовании с прямолинейной подачей заготовок / Л. Г. Вайнер, В. А. Носенко // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3 (48). – С. 88–91.

9. Вайнер Л. Г. Моделирование сил резания и характеристик съема припуска при двустороннем шлифовании торцов одиночной заготовки / Л. Г. Вайнер // Новые материалы и технологии в машиностроении (ФГБОУ ВПО Брянская гос. инж.-технол. акад.). – 2011. – № 14. – С. 14–17.
10. Петраков Ю. В. Моделирование отклонения формы при круглом шлифовании / Ю. В. Петраков // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві : зб. наук. праць. – Вип. 1 (2). – Одеса : ОНПУ, 2013. – С. 63–71.
11. Лавриненко В. И. Технология финишного двустороннего шлифования опорных поверхностей многогранных пластин / В. И. Лавриненко, И. В. Лещук // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві : зб. наук. праць. – Одеса : ОНПУ, 2014. – Вип. 2 (7). – С. 93–96.
12. Saturn. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.
13. Следникова О. С. Модульне моделювання профілів кругів, зняття припуску та формоутворення при двосторонньому шліфуванні торців некруглих деталей / О. С. Следникова // Технічні науки та технології : наук. журн. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016. – № 3 (5). – С. 76–84.
14. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.
15. Гусев В. В. Математическое моделирование взаимодействия шлифовального круга и материала заготовки при обработке / В. В. Гусев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2001. – Вип. 11. – С. 68–71.
16. Носенко В. А. Шлифование адгезионно-активных металлов / В. А. Носенко. – М. : Машиностроение, 2000. – 262 с.
17. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного вала і круга / Кальченко В. І., Кальченко Д. В., Следникова О. С. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015 – Вып. 85. – С. 98–106.
18. Модульное 3D-моделирование инструментов, процесса съема припуска и формообразования при растачивании седел клапанов ориентированной пластинкой / В. И. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. А. Веремей, Е. С. Следникова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : наук. зб. – 2015. – № 2 (78). – С. 51–60. – (Серія «Технічні науки»).
19. Музичка Д. Г. Підвищення ефективності шліфування твердих сплавів спрямованим обмеженням формозміни різальної поверхні шліфувальних кругів: : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д. Г. Музичка. – Чернігів, 2015. – 20 с.

References

1. Grabchenko, A. I., Kal'chenko, V. I. and Kal'chenko, V. V. (2015) Grinding with crossed axes of tool and workpiece. Chernigov: ChNTU, 504 p. [in Russian].
2. Filimonov, L. N. (1979) High-speed grinding. L.: Mashinostroenie, 248 p. [in Russian].
3. Filimonov, L. N. (1985) Surface grinding. L.: Mashinostroenie, 109 p. [in Russian].
4. Korchak, S. N. (1974) Performance of the process of steel parts grinding. Moscow: Mashinostroenie, 280 p. [in Russian].
5. Rudyk, A. V. and Rudyk, V. A. (2012) Determining the marginal slice thickness, providing efficient grinding. *Visnyk Chernigivskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky»*, No. 1 (55), pp. 96–101 [in Ukrainian].
6. Rudyk, A. V. and Rudyk, V. A. (2010) Productivity of ends processing in face-grinding machines. *Visnyk CHDTU. – Journal of CHSTU*, no. 45, pp. 57-67 (in Ukrainian). *Visnyk Chernigivskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu*, No. 45, pp. 57–67 [in Ukrainian].
7. Polshakov, V. I. (1998) Theoretical and practical bases of high-performance mechanical grinding of hard materials: author's abstract of thesis for D.Sc. in Engineering. Kyiv, 27 p. [in Ukrainian].
8. Vainer, L. G. and Nosenko, V. A. (2013) The model of grinding wheels wear at bilateral face grinding with a straight blanks

- supply. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstven-nogo universiteta*, No. 3 (48), pp. 88–91 [in Russian].
9. Vainer, L. G. (2011) Simulation of cutting forces and stock removal performance at bilateral grinding of a single blank ends. *Novye materialy i tekhnologiyi v mashinostroeniyi (Briansk)*, No. 14, pp. 14–17 [in Russian].
 10. Petrakov, Yu. V. (2013) Modeling of form deviation at round grinding. *Informatsiini tekhnologii v osviti, nautsi ta vyrobnytstvi*, Odesa: ONPU, No. 1 (2), pp. 63–71 [in Russian].
 11. Lavrinenko, V. I. and Leshchuk, I. V. (2014) The technology of finishing bilateral grinding of support surfaces of polyhedral plates. *Informatsiini tekhnologii v osviti, nautsi ta vyrobnytstvi.*, Odesa: ONPU, No. 2 (7), pp. 93–96 [in Russian].
 12. Saturn. Mechanical grinding by paired grinding wheels [Journal for customers of «Junkermaschinen» company] (2005), ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787, Nordrash, Germany, 8 p [in Russian].
 13. Slidnikova, O. S. (2016) Modular simulation of wheel profiles, removal of allowance and forming at bilateral grinding of noncircular parts ends, *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi*, Chernigov, No. 3 (5), pp. 76–84 [in Ukrainian].
 14. Novoselov, Yu. K. (1979) Trends of surfaces shaping at grind process. Saratov: Izd-vo Sarat un-ta, 232 p. [in Russian].
 15. Gusev, V. V. (2001) Computer simulation of the interaction of grinding wheel and workpiece material during processing. *Nadiinist instrumentu ta optymizatsiia tekhnolohichnykh system*, Kramatorsk: DDMA, No. 11, pp. 68–71 [in Russian].
 16. Nosenko, V. A. (2000) Grinding of adhesively active metals. Moscow: Mashinostroenie, 262 p. [in Russian].
 17. Kalchenko, V. I., Kalchenko, D. V. and Slidnikova, O. S. (2015) Modular 3D-modeling of tools, the process of allowance removal and forming in grinding with crossed axes of camshaft and disk. *Rezaniye i instrument v tehnologichnykh sistemah*, Kharkov: NTU «KhPI», No. 85, pp. 98–106 [in Ukrainian].
 18. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Veremei, G. A. and Slidnikova, Ye. S. (2015) Modular 3D-modeling of tools, the process of allowance removal and forming in boring of valve seats by oriented plate. *Visnyk Chernigivskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky»*, No. 2 (78), pp. 51–60 [in Russian].
 19. Muzychka, D. H. (2015) The increase of efficiency of hard alloys grinding by directed limitation of forming of cutting surface of grinding wheels. author's abstract of thesis for Ph.D. in Engineering. Chernihiv [in Ukrainian], 20 p.

V. I. Kalchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,
e-mail: kalchenkovi@ukr.net

V. V. Kalchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,
e-mail: vvkalchenko@rambler.ru

O. S. Slidnikova, *graduate student*,
e-mail: slidnikova@gmail.com

D. V. Kalchenko, *undergraduate*
e-mail: vvkalchenko@rambler.ru

Chernigiv National University of Technology,
Shevchenko str., 95, Chernigiv, 14027, Ukraine

THE STUDY OF THE PROCESS OF GRINDING OF ORIENTED PART ENDS BY PROFILED DISKS

Providing of high accuracy and performance of end surfaces processing is achieved through bi-lateral face grinding machines. The development of new methods of grinding the ends of parts and

their research will help to improve the competitiveness of engineering, automaking, toolmaking and other enterprises of Ukraine.

At present there is no general model of tool surface and components generatrix, as well as their continuous description. In addition, there are no processing capacity calculations, tool wear, cutting force and power at bilateral face grinding, which would at the same time take into account the effect of thermal stress of the process and the rigidity of coordinate processing system.

The article shows dependences for calculating processing performance, wear of grinding wheels, cutting forces, power and heat flux with coefficients that take into account heat strength and rigidity to coordinate processing system. Coefficient graph that takes into account the effect of detail heating temperature on the value of shear stress and is introduced into the dependence for calculating cutting forces during grinding is built. General model of generatrix of tool surfaces and nonround parts, which are described by means of continuous Heaviside function, is shown. Three-dimensional models of tool surfaces and parts with nonround profile are presented.

The above calculation formulas specified processing performance, wear of grinding wheels, cutting forces, capacity and heat flow allow to make the calculation more precise. And given general model generatrix of tool surfaces, workpieces and its continuous description, allows to describe their three-dimensional geometric model.

Keywords: *bilateral ends grinding, performance, cutting forces, power, temperature, orientation.*

Статтю представляє В. І. Кальченко, д.т.н., професор, Чернігівський національний технологічний університет.

В. І. Кальченко, д.т.н., професор,
e-mail: kalchenkovi@ukr.net

В. В. Кальченко, д.т.н., професор,
e-mail: yvkalchenko74@gmail.com

А. М. Єрошенко, к.т.н., доцент,
e-mail: yeroshenkoam@gmail.com

Н. М. Сіра, аспірант
e-mail: nnseraya@ukr.net

Чернігівський національний технологічний університет,
вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14026, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ШЛІФУВАННЯ ВАЛКІВ СТРІЧКОПРОКАТНИХ СТАНІВ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА ТА ДЕТАЛІ

З метою відновлення зношених профілів валків стрічкопрокатних станів запропоновано високопродуктивний спосіб шліфування зі схрещеними осями круга та деталі, який забезпечує високі геометричну точність та клас шорсткості оброблених поверхонь. Перешліфовування валків здійснюється в три проходи орієнтованими абразивними та алмазним кругами, де чорновий припуск знімається торцем інструмента, а чистове шліфування та калібрування здійснюються широкою розвантаженою ділянкою його периферії. При цьому за перший прохід здійснюється чорнова обробка валка абразивним кругом, за другий – чистове шліфування двома суміщеними абразивними кругами, за третій – калібрування поверхні деталі алмазним кругом. При шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі досліджується вплив теплових явищ, жорсткості системи ВПД на точність та якість поверхонь валків і розрахована величина зносу інструмента. Відновлення різальних властивостей кругів забезпечується їх правкою, яка виконується окремо на торці та на периферії інструмента.

Ключові слова: валки, стрічкопрокатні стани, шліфування, схрещені осі, абразивний круг, алмазний круг, правка круга, напруга зсуву, жорсткість, знос.

Постановка проблеми. Продукція прокатного виробництва широко використовується у вигляді заготовок різного профілю при виготовленні деталей у різних галузях машинобудування.

Продуктивність прокатних станів визначається якістю прокатних валків, до поверхонь яких висуваються вимоги забезпечення високих твердості, зносостійкості, точності (ІТ6-8) та шорсткості ($Ra = 0,4-1,6$ мкм) [1].

Твердість бочки робочих валків стрічкопрокатних станів, виготовлених зі сталі 9ХС, зазвичай знаходиться в межах HRC 58-63, допуск на відхилення круглості бочки та шийок не повинен перевищувати 0,010-0,015 мм, а похибка твірної валків повинна знаходитися в межах 5-10 мкм [2].

В процесі експлуатації поверхні валків надмірно зміцнюються, утворюються пошкодження і дефекти, що призводить до зносу та погіршення якості прокату. З метою забезпечення високої точності та низького параметра шорсткості поверхонь валків, а отже, і отримання

високоякісного прокату їх діаметри неодноразово перешліфовуються.

В роботі [3] з метою реінжинірингу великогабаритних складових прокатних валків реалізовані групові технологічні процеси, які дозволяють повторне використання деталей прокатних станів і подовження строку їх експлуатації.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В сучасному машинобудуванні використовується декілька основних способів подовжнього круглого шліфування. Найбільш поширеним є багатопрохідне шліфування деталі 1 периферією циліндричного круга 2 (рис. 1) [4]. Основним недоліком способу є нестабільне положення формоутворюючої ділянки інструмента через його нерівномірний знос 3. Тому цей метод використовується при обробці деталей нормального класу точності.

З метою підвищення продуктивності обробки у масовому виробництві застосовується спосіб шліфування кругом із забірним

конусом [5]. Недоліком способу є обмеженість використання, тому що при зміні величини припуску t на обробку деталі 1 (рис. 2) забірний конус інструмента 2 задіяний не повністю.

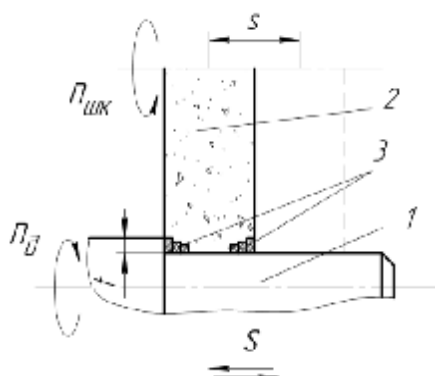


Рис. 1. Багатопрхідне шліфування периферією циліндричного круга

З метою фіксації формоутворюючої точки Б широкого абразивного циліндричного круга 2 (рис. 3) запропоновано спосіб [6], де інструмент повернутий на кут α відносно осі обертання деталі 1. Недоліками способу є складність обробки ступінчатих деталей та підвищення сумарної сили різання внаслідок зняття чорнового та чистового припуску периферією одного круга, що впливає на точність формоутворення деталі.

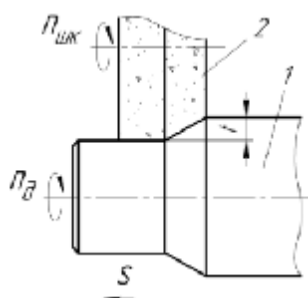


Рис. 2. Шліфування кругом із забірним конусом

Впровадження способу високошвидкісного шліфування зі схрещеними осями круга 2 та деталі 1 (рис. 4), здійснене фірмою Junker на верстатах Quickpoint 1000, Quickpoint 3000, Quickpoint 5000, підвищило продуктивність обробки в шість разів порівняно з традиційними способами круглого шліфування зі збереженням високої точності та якості обробленої поверхні [7]. При цьому використовуються шліфувальні круги із ельбору або алмазу висотою 4-6 мм та покриттям шириною h (рис. 4) лише в декілька міліметрів при швид-

костях шліфування до 140 м/с і обертання деталі до 12000 об/хв.

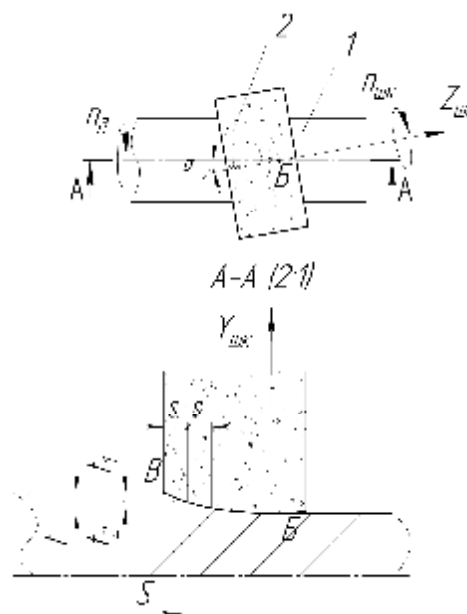


Рис. 3. Шліфування широким циліндричним кругом зі схрещеними осями інструмента та деталі

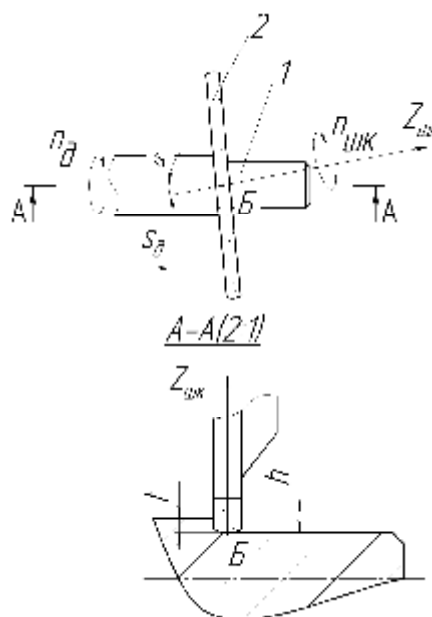


Рис. 4. Спосіб шліфування зі схрещеними осями круга та деталі фірми Junker

Підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняного стрічкопрокатного виробництва потребує дослідження нових способів шліфування валків, які забезпечуватимуть високі продуктивність обробки, точність та якість оброблюваних поверхонь деталей.

Мета статті – підвищення продуктивності обробки валків стрічкопрокатних станів

при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі і забезпечення високих показників точності та якості оброблених поверхонь.

Виклад основного матеріалу. Діаметр валка стрічкопрокатного стану в процесі роботи зношується і, в зв'язку з цим, багаторазово перешліфовується на інший розмір.

З метою відновлення зношених поверхонь валків та отримання заданих точності і якості їх поверхневого шару використовується спосіб глибинного однопрохідного шліфування зі схрещеними осями круга та деталі, запропонований у роботі [8], де обробка циліндричної поверхні деталі здійснюється орієнтованим кругом, при цьому чорнове шліфування виконується торцем інструмента, а чистова обробка та калібрування – широкою розвантаженою ділянкою його периферії, що забезпечує підвищення точності формоутворення деталі. Завдяки повороту осі шліфувального круга відносно горизонтальної осі оброблюваної деталі формоутворення поверхні здійснюється фіксованою точкою, що дає можливість її програмування на верстатах з ЧПК.

Перешліфовування валка стрічкопрокатного стану, виготовленого зі сталі 9ХС, на необхідний розмір здійснюється за три проходи абразивними та алмазним кругами зі схрещеними осями інструмента та деталі. Для забезпечення високої продуктивності обробки та отримання заданого параметра шорсткості обробленої поверхні вісь шліфувального круга повертають на 1^0 відносно осі оброблюваної деталі та розташовують на відстані радіуса заокруглення радіусної кромки інструмента та половини подачі на оберт деталі [8].

Чорнове шліфування валка здійснюється за перший прохід орієнтованим абразивним кругом на керамічній зв'язці із зернистістю 63-50, при цьому шорсткість обробленої поверхні становить $Ra = 2,5-1,25$ мкм.

Після чорнової обробки здійснюється чистове шліфування двома суміщеними орієнтованими абразивними кругами марок 25A40CM17K, 25A40CM27K, 25A40M37K [9]. При цьому перший круг знімає нерівності на поверхні валка після попередньої грубої чорнової обробки, а другий здійснює чистове шліфування і забезпечує низьку шорсткість обробленої поверхні ($Ra = 0,63-0,32$ мкм) та високу геометричну точність. Для отримання заданої шорсткості обробленої поверхні валка твердість та зернистість другого круга виби-

раються меншими (зернистість 20-16, твердість M1-M2), ніж у першого (зернистість 40-32, твердість M3-СМ1).

З метою забезпечення шорсткості обробленої поверхні валка $Ra = 0,32-0,16$ мкм третій прохід здійснюється алмазним кругом із зернистістю 250/200-160/125. В разі наявності високих вимог до шорсткості обробленої поверхні ($Ra = 0,16-0,04$ мкм) виконується шліфування торцем алмазного круга, при якому кут між осями обертання круга та деталі відмінний від прямого [3, 10].

При шліфуванні нежорстких циліндричних деталей використовується лунет [11], який забезпечує підвищення точності обробки.

Для перешліфовування валків з криволінійною твірною використовується універсальний шліфувальний верстат [12] з нормальним розташуванням осей інструмента та деталі по координаті обробки.

З метою отримання високих показників точності та якості обробленої поверхні при дослідженні процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі необхідно враховувати фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, жорсткості системи ВПД та величину зносу інструмента.

Якість поверхневого шару оброблюваних деталей визначається інтенсивними тепловими процесами при шліфуванні, які можуть стати причиною утворення прижогів. Тому при визначенні складових сил різання виникає необхідність врахування зміни фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу при підвищенні температур.

На рис. 5 зображено графік зміни тимчасового опору σ_b сталі 9ХС залежно від температури нагріву T , отриманий експериментально.

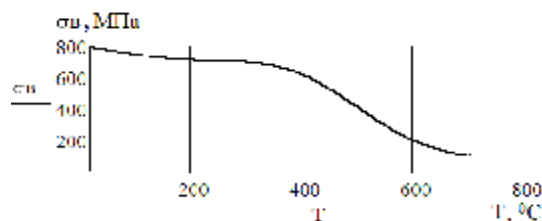


Рис. 5. Залежність тимчасового опору σ_b від величини температури T для сталі 9ХС

При визначенні складових сил різання врахування теплонапруженості процесу шліфування здійснимо за допомогою напруги зсуву $\tau_s = f(T)$, яка залежить від температури-

ри T . Для цього знайдемо залежність між напругою зсуву τ_s та інтенсивністю напруг σ_{iu} при шліфуванні [13]:

$$\tau_s = \frac{\sigma_{iu}}{\sqrt{3}}. \quad (1)$$

Оцінка величини інтенсивності напруг шліфування σ_{iu} при відомих значеннях тимчасового опору $\sigma\sigma$ матеріалу в діапазонах температур $T = 600 \dots 800$ °C здійснюється за допомогою залежності, наведеної в роботі [14]:

$$\sigma_{iu} = \sigma\sigma \cdot 1,558 \cdot e^{2,34 \cdot 10^{-3} \cdot T}. \quad (2)$$

В області температур $T = 20 \dots 200$ °C напруга зсуву τ_s визначається за наступною залежністю:

$$\tau_s = \sigma\sigma \cdot 1,04 \cdot e^{2,34 \cdot 10^{-3} \cdot T}. \quad (3)$$

Використовуючи залежності (1–3) та дані графіка тимчасового опору $\sigma\sigma$ (рис. 5), побудуємо графік зміни величини напруги зсуву τ_s при підвищенні температури T для сталі 9ХС (рис. 6).

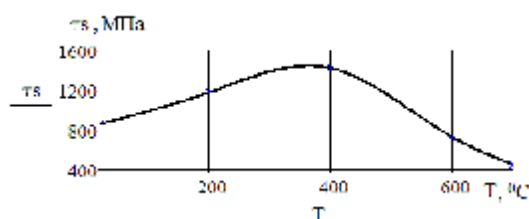


Рис. 6. Залежність напруги зсуву τ_s від величини температури T для сталі 9ХС

Апроксимуючи відношення $\frac{\tau_s(T)}{\tau_{s20}}$, де $\tau_s(T)$ – напруга зсуву при деякому значенні температури T , τ_{s20} – напруга зсуву при температурі 20 °C, знайдемо коефіцієнт k_T , який враховуватиме зміну міцності сталі 9ХС при зміні температури:

$$k_T = 7 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 - 10^{-4} \cdot T^3 + 0,04 \cdot T^2 - 3,315 \cdot T + 911,9$$

В розрахунках складових сили різання, яка виникає при шліфуванні валка стрічкопрокатного стану зі сталі 9ХС, врахування величини напруги зсуву $\tau_s(T)$ здійснюється через отриманий коефіцієнт k_T за залежністю

$$\tau_s(T) = \tau_{s20} \cdot k_T. \quad (4)$$

Для отримання заданої точності обробленої поверхні валка при визначенні складових сили різання враховується жорсткість системи ВПД за допомогою податливості $y_{eyc} = f(i_d, k_{eyc})$, яка залежить від лінійного положення точки i_d на профілі деталі та коефіцієнта статичної податливості k_{eyc} [15].

Для визначення статичної податливості системи була побудована АФЧХ верстата В3208-Ф3. В результаті розрахунку на ЕОМ отримані графіки АФЧХ для шліфувальної бабки (рис. 7) та бабки виробу (рис. 8).

По АФЧХ встановлені коефіцієнти статичної податливості k_{eyc} : для шліфувальної бабки $k_{eyc} = 0,482$ мкм/даН, для бабки виробу $k_{eyc} = 2,31$ мкм/даН.

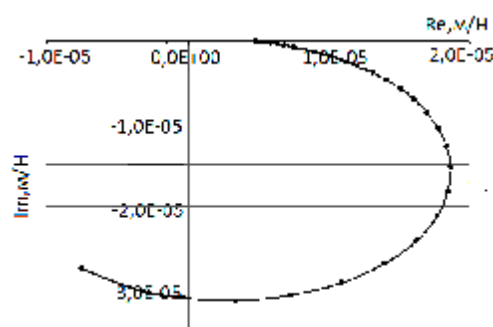


Рис. 7. АФЧХ шліфувальної бабки універсально-заточного напівавтомата з ЧПК моделі В3208Ф3

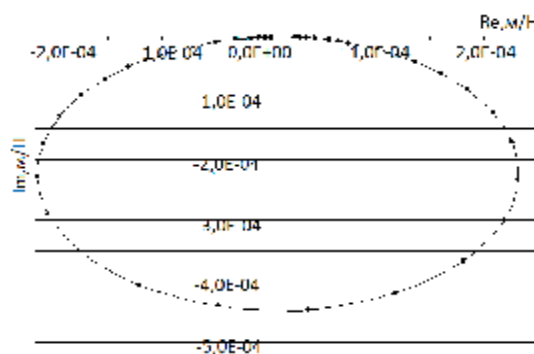


Рис. 8. АФЧХ бабки виробу універсально-заточного напівавтомата з ЧПК моделі В3208Ф3

Причиною зниження точності обробки та виникнення хвилястості на поверхні деталі є знос шліфувального круга та зміна його геометричної форми, яка відбувається в основному внаслідок викришування та виривання абразивних зерен зі зв'язки.

В роботі [10] пропонується проводити оцінювання зносу шліфувального круга через об'ємний знос q :

$$q = \frac{Q_a}{Q_{yin}}, \quad (5)$$

де Q_a – об'ємна кількість зношеного абразиву за одиницю часу;

Q_{yin} – швидкість зняття металу за той же час.

Графік розподілу питомої продуктивності шліфування Q_{yin} , визначеної за методикою [8], при перешліфовуванні валка стрічкопрокатного стану діаметром 40 мм з глибиною обробки $t = 0,3$ мм, вздовж профілю абразивного круга (координата i) діаметром 300 мм і висотою 20 мм, представлений на рис. 9, де ділянка профілю шліфувального круга до координати $i_{точ}$ відповідає периферії інструмента, яка є чистовою і калібруючою ділянкою; від координати $i_{точ}$ до $i_{кин}$ – перехідний радіусний кромці інструмента; після координати $i_{кин}$ – торцю інструмента, який є чорною ділянкою і зрізує весь основний припуск.

Теоретично розрахований об'ємний знос абразивного круга при перешліфовуванні валка становив $q = 19,4$.

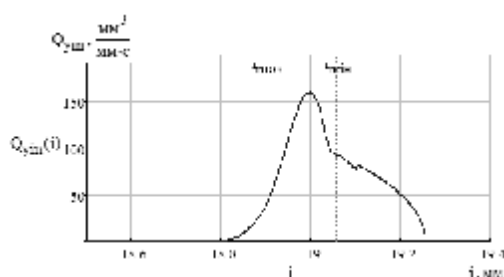


Рис. 9. Питома продуктивності шліфування вздовж профілю абразивного круга при обробці валка стрічкопрокатного стану

В процесі перешліфовування валків відбувається засалювання поверхні круга, стирання абразиву, що викликає зниження різальної здатності інструмента і приводить до підвищення теплонапруженості процесу, і як наслідок – утворення прижогів на поверхнях. Для запобігання утворенню прижогів, відновлення різальних властивостей і геометричної форми шліфувальних кругів та отримання заданих точності і якості оброблюваної поверхні деталі необхідна своєчасна правка інструмента. Так, наприклад, у роботі [16], при шлі-

фуванні важкооброблюваних матеріалів кругами із різними типами зв'язок, запропоновано високоефективний спосіб правки інструментів.

При круглому шліфуванні круг правиться однаково по всій висоті, оскільки неможливо точно визначити положення формуючої ділянки інструмента.

При шліфуванні зі схрещеними осями інструмента та деталі, де чорновий припуск зрізує торець шліфувального круга, а чистова обробка здійснюється широкою розвантаженою ділянкою його периферії, круг правлять по чорновій та чистовій ділянках (торцю та периферії відповідно) окремо. Для калібруючої ділянки (периферія) інструмента, яка забезпечує остаточну точність та якість обробленої поверхні, правку здійснюють із меншим значенням параметра шорсткості, ніж при правці на чорновій ділянці (торець), яка зрізує основний припуск і не впливає на остаточну якість оброблюваної деталі.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Запропоновано високопродуктивний спосіб шліфування валків стрічкопрокатних станів зі схрещеними осями інструмента та деталі, де чорновий припуск зрізує торець шліфувального круга, а чистова обробка і калібрування здійснюються широкою розвантаженою ділянкою його периферії. Перешліфовування валків на необхідний розмір здійснюється в три проходи орієнтованими абразивними і алмазним кругами, що забезпечує підвищення точності та якості оброблених поверхонь.

Для перешліфовування робочих валків стрічкопрокатних станів з криволінійною твірною використовується універсальний шліфувальний верстат [11], який забезпечує орієнтацію шліфувальної бабки в процесі обробки по нормалі до поверхні деталі.

Врахування отриманих коефіцієнтів зміни міцності матеріалу та статичної податливості при визначенні складових сили різання і запропонована окрема правка чорнкової (торець) та чистової (периферія) ділянок інструмента із отриманням різних значень параметра шорсткості на відповідних ділянках забезпечують отримання високих точності та якості оброблених поверхонь.

Наведений у роботі спосіб може бути використаний при глибинному шліфуванні циліндричних, ступінчатих і криволінійних поверхонь обертання зі схрещеними осями круга та деталі.

Список літератури

1. Пермяков А. А. Повышение эффективности предварительного шлифования прокатных валков за счет восстановления режущей способности круга без правки / А. А. Пермяков, А. А. Жижев // Вісник СевНТУ. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 118/2011. – Севастополь, 2011. – С. 113–118.
2. Кальченко В. И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В. И. Кальченко. – М. : Машиностроение, 1979. – 160 с.
3. Лебедь В. Т. Реинжиниринг крупногабаритных составных изделий на основе групповых технологических процессов разборки – сборки / В. Т. Лебедь, А. Н. Шелковой // Вісник СевНТУ. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. – Вип. 150/2014. – Севастополь, 2014. – С. 85–91.
4. Ящерицын П. И. Основы резания материала и режущий инструмент / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – Минск : Вышейш. школа, 1975. – 528 с.
5. Патент № 50-636 (Япония). Способ правки шлифовального круга / К. К. Тоеда Коки. – опубл. 1976, Бюл. № 8.
6. Авторское свидетельство 1234163 (СССР) Способ круглого шлифования с продольной подачей / В. И. Кальченко. – № 3813415/25-08 ; заявл. 20.11.84 ; опубл. 30.05.86, Бюл. № 20.
7. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine [Просп. фирмы «Junker-maschinen» на станки «Quickpoint 1000», «Quickpoint 3000», «Quickpoint 5000»]. ErwinJunker: Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2015. – 12 p.
8. Сіра Н. М. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного вала і абразивного круга / Н. М. Сіра // Технічні науки та технології : наук. журн. – 2016. – № 3 (5). – С. 67–75.
9. Агасарян Р. Р. Абразивная обработка закаленных сталей типа 9Х (На примере обработки рабочих валков холодной прокатки) / Р. Р. Агасарян. – Ереван. Айстан, 1971. – 127 с.
10. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : [монография] / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
11. Патент 47458 (Україна) Люнет з адаптивним керуванням для шліфування нежорстких циліндричних деталей / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. О. Корж ; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № u200905575 ; заявл. 01.06.2009 ; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 3.
12. Патент 60090 (Україна) Пристрій для шліфування криволінійних поверхонь обертання орієнтованим кругом / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Н. М. Погиба ; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № u201013821 ; заявл. 22.11.2010 ; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.
13. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.
14. Носенко В. А. Шлифование адгезионно-активных металлов / В. А. Носенко. – М. : Машиностроение, 2000. – 262 с.
15. Єрошенко А. М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу шліфування зі схрещеними осями інструмента і деталі з профілем у вигляді дуги кола / А. М. Єрошенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : зб. – Вип 35. – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – С. 5–24.
16. Гусев В. В. Управление режущей способностью алмазных кругов как фактор повышения эффективности шлифования изделий из керамики / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, А. Л. Медведев // Вестник двигателестроения : науч.-техн. журн. – № 1. – Запорожье : Мотор Сич, 2012. – С. 141–146.

References

1. Permiakov, A. A. and Zhizhev, A. A. (2011) Improving the efficiency of forming rolls pre-grinding by restoring cutting capacity of the wheel without dressing. *Visnyk SevNTU. Serii: Mashynopryladobuduvannia ta transport*, No. 118/2011, pp. 113–118 [in Russian].
2. Kalchenko, V. I. (1979) Grinding of curved surfaces of large parts. Moscow: Mashinostroenie, 160 p. [in Russian].
3. Lebed, V. T. & Shelkovoï, A. N. (2011) Re-engineering of large-scale compound articles on the basis of group technological processes

- of assembling and disassembling. *Visnyk SevNTU. Seriya: Mashynopryladobuduvannia ta transport*, No. 150/2014, pp. 85–91 [in Russian].
4. Iashcheritsyn, P. I., Eremenko, M. L. and Zhigalko, N. I. (1975) Fundamentals of material cutting and cutting tool. Minsk: Vyshejschaya shkola, 528 p. [in Russian].
 5. Toeda Koki, K. K. (1976) A method of dressing wheel grinding. Patent of Japan No. 50-636.
 6. Kalchenko, V. I. (1986) The method of cylindrical grinding with a longitudinal feed. Certificate of authorship of the USSR No. 1234163 [in Russian].
 7. Quickpoint. Flexible high-performance grinding machine. (2015) Junkermaschinen company magazine, ErwinJunker: Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787, Nordrach, Germany, 12 p.
 8. Sira, N. M. (2016) Modular 3D-modeling of tools, processes of stock removal and shaping in grinding with crossed axes of cylindrical shaft and abrasive wheel. *Tekhnichni nauky ta tehnologii*, No. 3 (5), pp. 67–75 [in Ukrainian].
 9. Agasarian, R. R. (1971) Abrasive machining of hardened steels, such as 9X (On the example of the treatment of working rolls of cold rolling). Yerevan: Aistan, 127 p. [in Russian].
 10. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. and Kalchenko, V. V. (2009) Grinding with crossed axes of tool and workpiece. Chernigov: CHDTU, 256 p. [in Russian].
 11. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. and Korzh, A. O. (2010). Lunette with adaptive control for grinding of non-rigid cylindrical parts. Patent of Ukraine No. 47458 [in Ukrainian].
 12. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. and Pohyba, N. M. (2011) A device for grinding of curved surfaces of revolution by oriented wheel. Patent of Ukraine No. 60090 [in Ukrainian].
 13. Korchak, S. N. (1974) The performance of grinding process of steel parts. Moscow: Mashinostroenie, 280 p. [in Russian].
 14. Nosenko, V. A. (2000) Grinding of adhesively-active metals. Moscow: Mashinostroenie, 262 p. [in Russian].
 15. Yeroshenko, A. M. (2008) Theoretical and experimental studies of the process of grinding with crossed axes of the wheel and tool with a profile in the form of a circle arc. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, No. 35, pp. 5–24 [in Ukrainian].
 16. Gusev, V. V., Kalafatova, L. P. and Medvedev, A. L. (2012) The control of cutting ability of diamond wheels as a factor in increasing the efficiency of grinding of ceramics. *Vestnik dvigatelestroeniia*, Zaporozhye: Motor Sich, No. 1, pp. 141–146 [in Russian].

V. I. Kalchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,
e-mail: kalchenkovi@ukr.net

V. V. Kalchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,
e-mail: vvkalchenko@rambler.ru

A. M. Yeroshenko, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: yeroshenkoam@gmail.com

N. M. Sira, *graduate student*
e-mail: nnserya@ukr.net

Chernihiv National Technological University,
Shevchenko str., 95, Chernigiv, 14026, Ukraine

INVESTIGATION OF THE METHOD FOR GRINDING OF THE ROLLS OF ROLLING MILLS WITH CROSSED AXES OF THE TOOL AND WORKPIECE

The quality of the rolls of rolling mills depends on the quality of products. Worn roll surfaces are reduced by grinding to different size diameters with the purpose to provide high quality and accuracy of their surfaces.

The purpose of the work is to ensure high levels of accuracy and quality of machined surfaces of the rolls of rolling mills and to increase grinding performance by utilizing a method with crossed axes of grinding wheel and part.

Grinding of the rolls of rolling mill to the required size is carried out in three passes by abrasive and diamond wheels with crossed axes of the tool and workpiece. During the first pass the roughing of the roll by abrasive wheel is done, during the second pass – finishing work by two combined abrasive wheels, during the third pass – the calibration of workpiece surface by diamond wheel.

The influence of thermal phenomena and the rigidity of AIDS system on the accuracy and quality of machined surfaces are investigated and the value of the tool wear is calculated. The recovery of cutting wheels properties is provided by their dressing which is performed separately on the face and on the periphery of the tool.

As a result, a high-performance method for grinding of the rolls of rolling mills with crossed axes of the workpiece and the tool and dressing (which is performed separately on rough (the end) and finishing (the periphery) areas), which provide improved accuracy and quality of surface, are offered.

The method can be used for deep grinding of cylindrical, stepped and curved surfaces of revolution with crossed axes of the wheel and parts.

Key words: rolls, rolling mills, grinding, crossed axes, grinding wheel, diamond grinding wheel, wheel dressing, shear stress, rigidity, wear and tear.

Статтю представляє В. І. Кальченко, д.т.н., професор, Чернігівський національний технологічний університет.

І. О. Розломій, аспірантка

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

МЕТОДИ ОБЧИСЛЕННЯ ХЕШ-ФУНКЦІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТА НА ОСНОВІ МАТРИЧНИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Алгоритми електронного цифрового підпису (ЕЦП) та хешування є найефективнішими способами ідентифікації цифрової інформації. Тому перспективним напрямом досліджень є розробка методів обчислення хеш-функції електронного документа (ЕД). У статті розглядається можливість використання матричних криптографічних перетворень для обчислення хеш-функції ЕД. У результаті проведених досліджень було сформовано два алгоритми обчислення хеш-функції ЕД: перший алгоритм базується на послідовному виконанні операції додавання за модулем рядків матриці, другий – ускладнений шляхом введення правил додавання рядків матриці. В роботі показано структурні схеми запропонованих алгоритмів, описано математичні моделі виконання операцій перетворення рядків матриці. Отримані результати дають перспективи для подальшої розробки та вдосконалення алгоритмів хешування.

Ключові слова: електронний документ, електронний цифровий підпис, цілісність, хеш-функція, криптографічні перетворення, матричні операції.

Вступ. В наш час інформація стала найбільшою цінністю, найдорожчим продуктом виробництва. Її роль у сучасному світі є настільки великою, що інформаційна індустрія стала однією з головних галузей сьогодення. Глобальна інформатизація суспільства привела до виникнення нової – електронної – форми ведення документообігу. Електронний документообіг є одним з найголовніших технічних елементів системи електронного урядування, адже саме він забезпечує циркуляцію ЕД, які є основою нової форми взаємодії держави та суспільства. Широке використання електронного документообігу в усіх сферах життя суспільства робить досить актуальною проблему захисту ЕД. Питання захисту ЕД не можуть бути повністю вирішені лише стандартним набором засобів захисту інформації. Тому використання інформаційних технологій привело до розвитку різноманітних методів захисту інформації, серед яких можна виділити кодування та криптографію.

Постановка проблеми. Враховуючи, що сьогодні обсяг даних, які доводиться зберігати, обробляти та передавати мережею, постійно зростає, виникає необхідність їх надійного захисту від основних порушень цілісності. Цілісність є основною властивістю ЕД, яка свідчить про його незмінність і збереження в тому вигляді, в якому він був створений. Основним гарантом цілісності ЕД залишається

електронний цифровий підпис (ЕЦП). До цього часу відомо багато способів отримання ЕЦП, досліджено принципи їх побудови, але більшість з них не здатні повною мірою забезпечити надійний захист ЕД. У найпростішому випадку цифровий підпис – це результат виконання хешування. Звідси, очевидно є необхідність розробки алгоритмів обчислення хеш-функції ЕД.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз наукової літератури доводить актуальність досліджень засобів захисту ЕД. В роботах [1–3] авторами виділені основні аспекти забезпечення інформаційної безпеки ЕД. Використання ЕЦП як основного механізму забезпечення цілісності та автентичності ЕД показані в дослідженнях Т. С. Астахової, О. В. Линника [2–3]. Проте, разом з цим, існують питання, які потребують більш детального дослідження. До теперішнього часу мало уваги приділялося розробці алгоритмів обчислення хеш-функції ЕД, на основі матричних криптографічних перетворень зокрема. Дослідженням операцій прямого й оберненого матричного перетворення займалися такі науковці, як В. А. Лужецький, В. М. Рудницький, В. Г. Бабенко, І. В. Миронець та інші. Але в цих дослідженнях [4–9] не розглядалися пропозиції щодо обчислення матриці хеш-функції електронного документа з заданої ключової

матриці, а також відсутні методи оберненого обчислення з метою виявлення порушень цілісності інформації. Саме тому розв'язання цієї задачі є практично необхідним для подальшої розробки засобів захисту ЕД та виявлення можливих фальсифікацій.

Мета статті – дослідження методів забезпечення цілісності ЕД і розробка алгоритмів використання операцій матричного криптографічного перетворення для обчислення хеш-функції електронного документа.

Основний матеріал. Як свідчать попередні дослідження, основним гарантом авторства ЕД є його головний реквізит – ЕЦП. ЕЦП являє собою контрольну суму бітів, отриману в результаті аналізу ЕД. У найбільш примітивному випадку ЕЦП – це результат обчислення хеш-функції. Хеш-функцію можна використовувати для перетворення довільного вхідного тексту у відповідний формат [10]. Процес обчислення хеш-функції називають хешуванням, а результат виконання – хешем ЕД. Результат обчислення хеш-функції не повинен повторюватися для різних вхідних даних, а ще хеш має бути значно меншого розміру, ніж вхідний ЕД. Також важливою умовою є те, що за допомогою хешу не можна відновити вхідний ЕД.

Зазвичай, результатом хешування є фіксована кількість бітів, що характеризує повністю весь документ. До цього часу в процесі обчислення хеш-функції ЕД не використовувалися матричні криптографічні перетворення.

Матричні алгоритми придатні для обернених перетворень, якщо при цьому виконуються такі умови:

- 1) відсутні нульові рядки і стовпці в матриці;
- 2) додавання рядків і стовпців матриці не дорівнюватиме нулю.

Виходячи з цього, можна говорити, що при додаванні рядків і стовпців матриці мат-

риця буде не виродженою [4], візьмемо це за основу.

У загальному вигляді операції криптографічного перетворення, побудовані на основі додавання за модулем два, описуються такою моделлю [5]:

$$\vec{F} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 \oplus a_{12}x_2 \oplus \dots \oplus a_{1n}x_n \oplus b_1 \\ a_{21}x_1 \oplus a_{22}x_2 \oplus \dots \oplus a_{2n}x_n \oplus b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 \oplus a_{n2}x_2 \oplus \dots \oplus a_{nn}x_n \oplus b_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $a_{ij} \in [0,1]$; $b_i \in [0,1]$; $x_1 \dots x_n$ – операнди-розряди відповідно; $\oplus$ – операція «сума за mod 2».

Якщо ключова матриця задана виразом

$$A_k = \begin{pmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n} \\ a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n} \\ \vdots \\ a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де $a_{ij} \in [0,1]$; – коефіцієнти ключової матриці, тоді матриця хеш-функції ЕД, отримана в результаті криптографічного оберненого перетворення, буде задана виразом

$$A_h = \begin{pmatrix} b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n} \\ b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2n} \\ \vdots \\ b_{n1}, b_{n2}, \dots, b_{nn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де $b_{ij} \in [0,1]$ – коефіцієнти матриці хеш-функції.

Розглянемо докладніше процес обчислення хеш-функції з заданої ключової матриці. Найпростішим способом обчислення є послідовне додавання до одного рядка матриці іншого рядка, вибраного на основі аналізу фрагмента інформації (4).

$$A_h = \begin{pmatrix} b_{11}(a_{11} \oplus a_{21}), b_{12}(a_{12} \oplus a_{22}), \dots, b_{1n}(a_{1n} \oplus a_{2n}) \\ b_{21}(a_{21} \oplus a_{n1}), b_{22}(a_{22} \oplus a_{n2}), \dots, b_{2n}(a_{2n} \oplus a_{nn}) \\ \vdots \\ b_{n1}(a_{n1} \oplus a_{11}), b_{n2}(a_{n2} \oplus a_{12}), \dots, b_{nn}(a_{nn} \oplus a_{1n}) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

Основою для вибору рядка матриці, який буде додаватися до поточного рядка, є фрагмент даних. Інформація, представлена в двійковій формі, розбивається на блоки однакової довжини. Таким чином, сума бітів ви-

значеного блока вказує на рядок, який буде додаватися до поточного рядка. Алгоритм формування хеш-функції електронного документа на основі послідовних операцій матричного перетворення показаний на рис. 1.

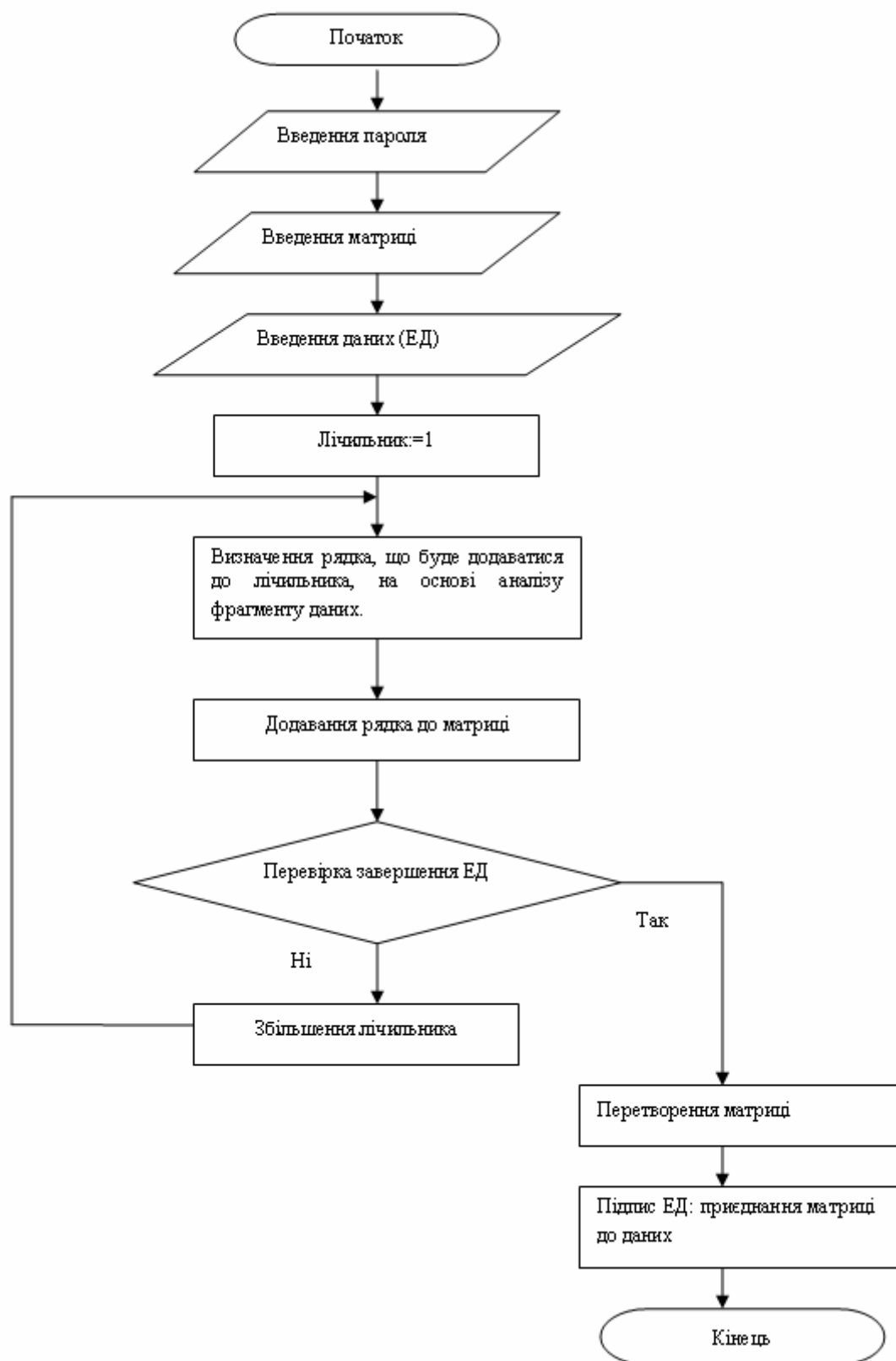


Рис. 1. Алгоритм формування хеш-функції електронного документа на основі послідовних операцій матричного перетворення

З рис. 1 видно, що алгоритм перетворення рядків матриці функціонуватиме до кінця електронного документа, тобто доти, поки послідовно не буде проаналізований

кожний блок інформації. Матриця, отримана в результаті послідовних перетворень, і буде хеш-функцією електронного документа, яка приєднається до нього. При перевірці ЕЦП ця матриця свідчитиме про його цілісність і незмінність.

Результати програмної реалізації алгоритму обчислення хеш-функції електронного документа на основі матричного криптографічного перетворення були оцінені за допомогою статистичних тестів NIST STS.

Ускладнимо алгоритм обчислення хеш-функції ЕД шляхом введення правил додавання рядків матриці. В попередньому варіанті алгоритму поточний рядок змінювався шляхом послідовного додавання випадково обраного іншого рядка, на основі аналізу фрагмента даних. Вдосконалений алгоритм полягає в тому, що один двійковий блок даних вказує на кількість операцій над поточним рядком, наступні блоки визначають, які конкретно рядки будуть додаватися (5).

$$A_h = \begin{pmatrix} b_{11}(a_{11} \oplus a_{21} \oplus a_{n1}), b_{12}(a_{12} \oplus a_{22} \oplus a_{n2}), \dots, b_{1n}(a_{1n} \oplus a_{2n} \oplus a_{nn}) \\ b_{21}(a_{21} \oplus a_{11} \oplus a_{n1}), b_{22}(a_{22} \oplus a_{21} \oplus a_{n2}), \dots, b_{2n}(a_{2n} \oplus a_{1n} \oplus a_{nn}) \\ \vdots \\ b_{n1}(a_{n1} \oplus a_{11} \oplus a_{21}), b_{n2}(a_{n2} \oplus a_{12} \oplus a_{22}), \dots, b_{nn}(a_{nn} \oplus a_{1n} \oplus a_{2n}) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

Нехай блок, який вказує, скільки разів додаватимемо до поточного рядка, буде керуючим (К), а блоки, які будуть безпосередньо додаватися, – виконуючими (В) (табл. 1).

руючим (К), а блоки, які будуть безпосередньо додаватися, – виконуючими (В) (табл. 1).

Таблиця 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
К	В	В	К	В	В	К	В	В	...
01	10	11	01	10	00	01	11	10	...

Згідно з табл. 1 правила додавання рядків можна описати такими кроками:

1) перший блок (керуючий) показує, що до першого рядка матриці потрібно додати два рази;

2) другий блок (виконуючий) вказує, що до першого рядка потрібно додати другий рядок;

3) третій блок (виконуючий) вказує, що до першого рядка потрібно додати третій рядок;

4) четвертий блок (керуючий) показує, що до другого рядка матриці потрібно додати два рази;

5) п'ятий блок (виконуючий) вказує, що до другого рядка потрібно додати другий рядок – така операція не виконується;

6) шостий блок (виконуючий) вказує, що до другого рядка потрібно додати перший рядок;

7) сьомий блок (керуючий) показує, що до третього рядка матриці потрібно додати два рази;

8) восьмий блок (виконуючий) вказує, що до третього рядка потрібно додати третій рядок – така операція не виконується;

9) дев'ятий блок (виконуючий) вказує, що до третього рядка потрібно додати другий рядок.

Матричні перетворення триватимуть доти, доки не буде проаналізований весь документ. Запропонований алгоритм вимагає більшої кількості вихідних даних, тому що, на відміну від попереднього алгоритму, де кожний блок визначав рядок, який буде додаватися послідовно, в цьому алгоритмі передбачені керуючі блоки, які вказують на кількість операцій додавання. Вдосконалений алгоритм формування хеш-функції ЕД показаний на рис. 2.

Як і в попередньому алгоритмі, результатом обчислення хеш-функції ЕД буде матриця, яку отримаємо в кінці, після аналізу всього ЕД.

Отримані в обох випадках в результаті процесу хешування контрольні суми – найпростіший спосіб перевірки цілісності ЕД.

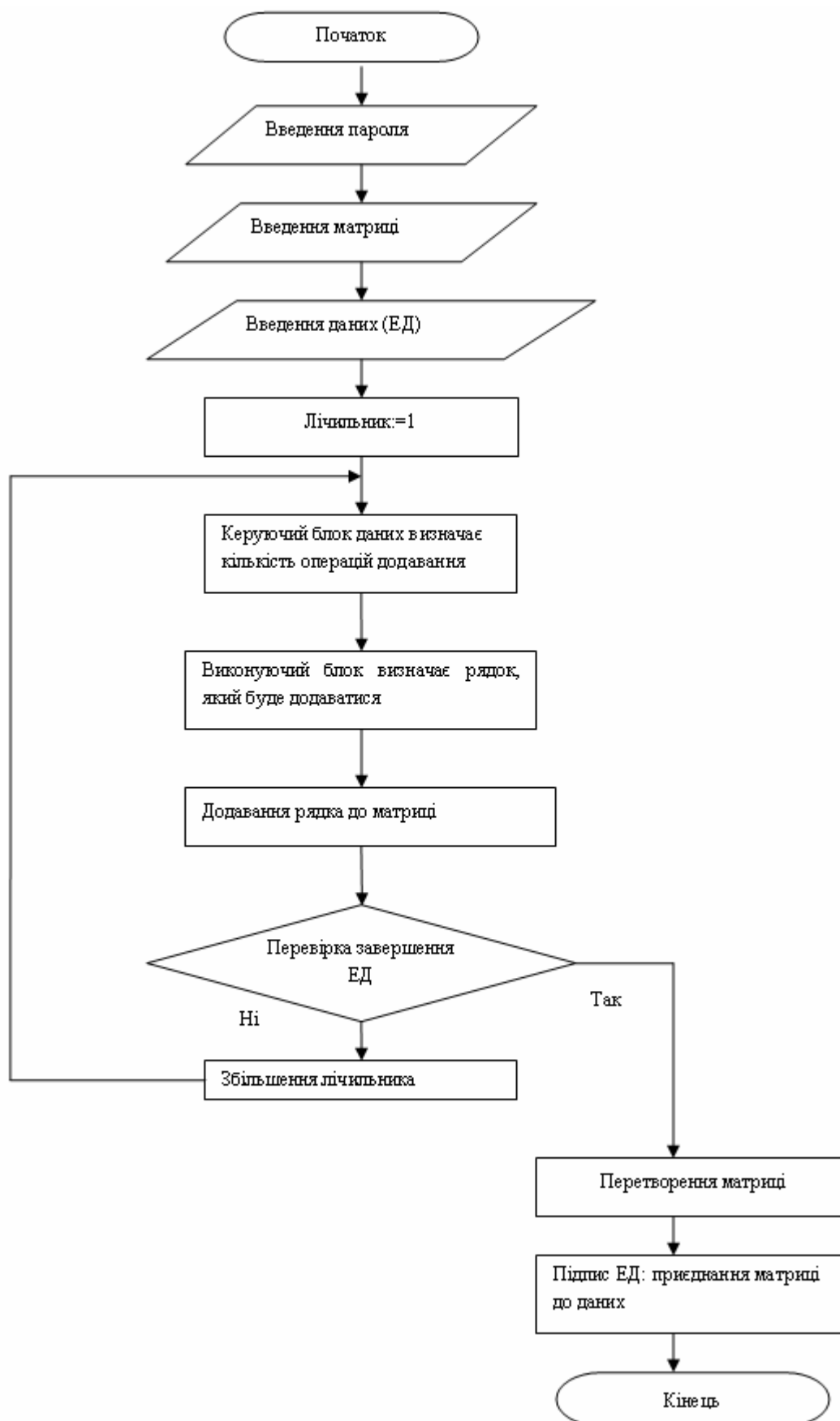


Рис. 2. Вдосконалений алгоритм формування хеш-функції електронного документа

Висновки. Таким чином, у статті досліджено проблему забезпечення цілісності ЕД. У результаті проведених досліджень було сформовано два алгоритми обчислення хеш-функції ЕД. Перший алгоритм базується на послідовному виконанні операції додавання за модулем рядків матриці. Другий алгоритм ускладнений шляхом введення правил додавання рядків матриці. Вдосконалений спосіб обчислення вимагає більшої кількості вхідних даних, тому що вводиться поняття «керуючий та виконуючий блоки», на основі яких відбувається перетворення рядків матриці. Типових алгоритмів обчислення хеш-функції ЕД за допомогою матричних криптографічних перетворень можна побудувати безліч, задаючи нові правила додавання рядків матриці. Все це дасть змогу забезпечити цілісність і автентичність ЕД.

Список літератури

1. Панасенко С. П. Защита электронных документов: целостность и конфиденциальность / С. П. Панасенко // Банки и технологии. – 2000. – № 4. – С. 82–87.
2. 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.
3. Линник О. В. Виявлення підробки електронного цифрового підпису для встановлення змін у документі / О. В. Линник // Юридичний науковий електронний журнал. – 2015. – № 2. – С. 209–211.
4. Криптографическое кодирование: методы и средства реализации (часть 2): [монография / В. Н. Рудницкий, В. Я. Мильчевич, В. Г. Бабенко и др.]. – Х. : Щедрая усадьба, 2014. – 224 с.
5. Миронець І. В. Підвищення достовірності процесу матричного криптографічного перетворення / І. В. Миронець // Інформаційні технології та системи управління. – 2015. – № 5/6 (25). – С. 52–54.
6. Рудницький В. М. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного кодування та декодування інформації / В. М. Рудницький, В. Г. Бабенко, С. В. Рудницький // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – № 4. – С. 198–200.

7. Голуб С. В. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення на основі додавання за модулем два / С. В. Голуб, В. Г. Бабенко, С. В. Рудницький // Системи обробки інформації. – 2012. – № 3 (101). – С. 119–122.
8. Бабенко В. Г. Реалізація методу захисту інформації на основі матричних операцій криптографічного перетворення / В. Г. Бабенко, С. В. Рудницький // Системи обробки інформації. – 2012. – № 9 (107). – С. 130–139.
9. Лужецький В. А. Використання операції множення за модулем в симетричних блокових шифрах / В. А. Лужецький, О. В. Дмитришин // Системи обробки інформації. – 2010. – № 5. – С. 9–14.
10. Black J. Black-box analysis of the block-cipher-based hash-function constructions from PGV / J. Black, P. Rogaway, T. Shrimpton // Advances in Cryptology, CRYPTO'02, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002.

References

1. Panasenko, S. P. (2000) The security of digital documents: integrity and confidentiality. *Banki i tehnologiyi*, No. 4, pp. 82–87 [in Russian].
2. Astakhova, T. S. and Chadaeva, E. P. (2012) Electronic digital signature as a factor of ensuring integrity and authenticity of a document. *Izvestiya Tomskogo politechnicheskogo Universiteta*, No. 6, pp. 153–157 [in Russian].
3. Linnik, O. V. (2015) Identifying the fake of electronic digital signature to establish changes in a document. *Yurydychnyy naukovyy elektronnyy zhurnal*, No. 2, pp. 209–211 [in Ukrainian].
4. Rudnitsky, V. N., Milchevich, V. Ja., Babenko, V. G. et al. (2014) Cryptographic coding: methods and means of implementation (Part 2). Kharkov: Schedraya usadba, 224 p. [in Russian].
5. Myronets, I. V. (2015) The increase of reliability of the process of matrix cryptographic transformation. *Informatsionnye tehnologiyi i sistemy upravleniya*, No. 5/6 (25), pp. 52–54 [in Ukrainian].
6. Rudnitsky, V. M., Babenko, V. G. and Rudnitsky, S. V. (2012) The method for synthesis of matrix models of cryptographic op-

- erations of data encoding and decoding. *Zbirnyk naukovykh prats Harkivskoho universytetu Povitryanyh syl*, No. 4, pp. 198–200 [in Ukrainian].
7. Golub, S. V., Babenko, V. G. and Rudnitsky, S. V. (2012) The method for synthesis of cryptographic transformation operations on the basis of addition by modulo two. *Systemy obrobky informatsiyi*, No. 3 (101), pp. 119–122 [in Ukrainian].
8. Babenko, V. G. and Rudnitsky, S. V. (2012) Implementation of information security method based on matrix operations of cryptographic transformation. *Systemy obrobky informatsiyi*, No. 9 (107), pp. 130–139 [in Ukrainian].
9. Luzhetsky, V. A. and Dmytryshyn, A. V. (2010) The use of modular multiplication in symmetric block ciphers. *Systemy obrobky informatsiyi*, No. 5, pp. 9–14 [in Ukrainian].
10. Black, J., Rogaway, P. and Shrimpton T. (2002) Black-box analysis of the block-cipher-based hash-function constructions from PGV. *Advances in Cryptology, CRYPTO'02, Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag.

I. O. Rozlomii, *postgraduate student*

Cherkasy Bogdan Khmelnytskyi National University
Shevchenko blvd, 81, Cherkasy, 18000, Ukraine

METHODS FOR CALCULATING THE HASH FUNCTION OF ELECTRONIC DOCUMENT ON THE BASIS OF MATRIX CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATIONS

The widespread use of electronic document management in all areas of society makes a very urgent problem of electronic documents protection. Electronic digital signature and hashing algorithms are the most effective ways to identify digital information. Electronic digital signature is the main guarantee of electronic document's integrity. The result of hashing is the simplest case of electronic digital signature. So promising area of the research consists in the development of methods for calculating the hash function of electronic document.

The aim of the article is to develop algorithms using the matrix of operations of cryptographic transformations to calculate the hash function of electronic document.

To achieve this goal, hash function concept, particularly the process of hashing, has been investigated. The calculation of the hash function of electronic document with the use of matrix cryptographic transformations is examined in the article. Two algorithms for computing the hash function of electronic document are formed as a result of the research. The first algorithm is based on the consistent performance of the operation of addition by matrix lines modulo. The second algorithm is complicated by the introduction of the rules of matrix rows adding. An improved calculation method requires more input data because it introduces the notion of managing and executing blocks, on the basis of which the transformation of matrix lines occurs. In the article block diagrams of the proposed algorithms are shown, mathematical models of operations of matrix lines transformation are described.

The results give the prospects for further development and perfection of hashing algorithms.

Keywords: *electronic document, electronic digital signature, integrity, hash function, cryptographic transformations, matrix operations.*

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

УДК 504.064.2:639.2(477.46)

Н. І. Свояк, к.б.н., доцент,
e-mail: SvojakNata@ukr.net

Л. Б. Ящук, к.х.н., доцент,
e-mail: yashchuk@yandex.ua

Н. В. Загоруйко, к.б.н., доцент
e-mail: nelli.zagorujko@yandex.ru

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

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИБНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Проведено дослідження іхтіофауністичного складу Черкаської області та оцінено екологічний стан за обсягами рибних ресурсів.

Розглянуто рибні запаси Черкаської області та фактори, що впливають на їхні зміни; проведено аналіз Програми розвитку рибного господарства водойм Черкаської області на 2014–2020 рр.

В результаті проведених досліджень було розроблено рекомендації щодо покращення стану рибних ресурсів Черкаської області.

Ключові слова: рибні ресурси, іхтіофауна, іхтіофауністичний склад, екологічний стан, рибне господарство, рибний промисел.

Постановка проблеми. Спричинений економічними, політичними помилками та серйозними прорахунками теперішній стан природного середовища України оцінюється фахівцями як критичний. В Україні загинули сотні річок, деградують Чорне та Азовське моря, спотворений забрудненими водосховищами Дніпро. Сучасний стан рибного населення України було досліджено в роботах вітчизняних фахівців. Для того щоб оцінити екологічний стан річок України, необхідно розглядати екологічну ситуацію кожного об'єкта окремо. Стан рибних ресурсів річок Черкаської області було досліджено лише деякими науковцями [1–3].

Актуальність обраної теми визначається загальною спрямованістю сучасної екології на дослідження пошкодження і вичерпування природних ресурсів, що призводять до деформації сформованих протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на планеті. Внаслідок цього почалося прогресуюче руйнування біосфери Землі, що може набути характеру незворотних процесів, навколишнє середовище може стати непридатним для існування. Після створення на Дніпрі каскаду водосховищ значно змінилися умови існування, видовий склад,

чисельність і співвідношення окремих видів і кологічних груп риб в уловах [2, 3].

Метою дослідження було з'ясувати іхтіофауністичний склад Черкаської області та оцінити екологічний стан за обсягами рибних ресурсів.

Мета роботи обумовила необхідність вирішення таких завдань:

- описати іхтіофауну Черкаської області;
- дослідити рибні запаси Черкаської області та фактори, що впливають на їхні зміни;
- оцінити обсяг рибних ресурсів Черкаської області.

Об'єктом дослідження є екологічна ситуація в Україні.

Предметом вивчення є рибні ресурси Черкаської області.

Результати досліджень. Води України мають близько 200 видів риб: 110 – у річках, 180 – у морі (близько 90 видів живуть і в прибережних частинах Азовського та Чорного морів, і в ріках, що впадають у ці моря). Переважна більшість видів риб є промисловими; кілька десятків не мають промислового значення з огляду на свою нечисленність, малий розмір чи отруйність; серед промислових видів риб тільки близько 10 % мають велике значення, і на них припадає більшість улову.

Серед риб внутрішніх водойм України є такі, що постійно живуть у річках, озерах чи ставках; такі, що обмежені у своєму поширенні окремими річками; такі, що живуть водночас і в річках, і в лиманах; прохідні (осетри, білуга, оселедець та ін.), що частину життя проводять у морі, частину – в річках; інші, що живуть в опріснених, прилеглих до гирла рік ділянках моря і входять у річки для нересту та зимівлі. Рибою, яка живе у річці, але на нерест іде у море, є вугор. Рибальство на внутрішніх водах вже не має добрих умов розвитку, бо води України все більше стають занециженими, а для їх очищення вкладається замало коштів. Ряд видів риб винищено, на що вплинув також їх хижацький вилов [1, 2].

Черкаська область покрита густою мережею річок, які за розмірами надзвичайно неоднорідні і змінюються від малих струмків до значних водних артерій (Дніпро). В області – 1037 річок сумарною довжиною 7641 км. Головні річки області – Дніпро, Рось, Вільшанка. Власне, основною річкою є Дніпро, який безпосередньо впадає в Чорне море. Всі інші річки – це притоки різних розрядів Дніпра. До поверхневих вод області, крім річкових, належать також води, акумульовані в озерах, ставках, водосховищах. Озера – це найхарактерніший елемент ландшафту облас-

ті. На території Черкаської області переважають ставки і водосховища. Виділяють два головні водосховища черкаського Подніпров'я: Канівське і Кременчуцьке водосховища.

Рибне господарство в Черкаській області має значний потенціал. На її території розташовані 1037 середніх та малих річок, 2352 ставки та невеликі водосховища місцевого значення. Також територією області пролягло Кременчуцьке водосховище, значна частина якого лежить у межах п'яти районів Черкаської області. Загальна площа водосховища – 225 тис. га [4–6].

За умов розташування в сприятливих кліматичних умовах, мілководності та за розмірами Кременчуцьке водосховище планувалось як одне з найбільш рибопродуктивних в Європі. Планова рибопродуктивність водосховища – 60–70 кг/га, проте вона так ніколи й не була досягнута. Найбільша продуктивність становила 46 кг/га в 1989 р. при загальному вилові більше 10 тис. т риби. З 1991 р. спостерігається зниження обсягів вилову до 3–5 тис. т на рік.

У 2015 р. з Кременчуцького водосховища рибовидобувними підприємствами виловлено 3602,7 т риби, відповідно рибопродуктивність становила 16,01 кг/га. Динаміку вилову риби з Кременчуцького водосховища за останні 30 років зображено на рис. 1.

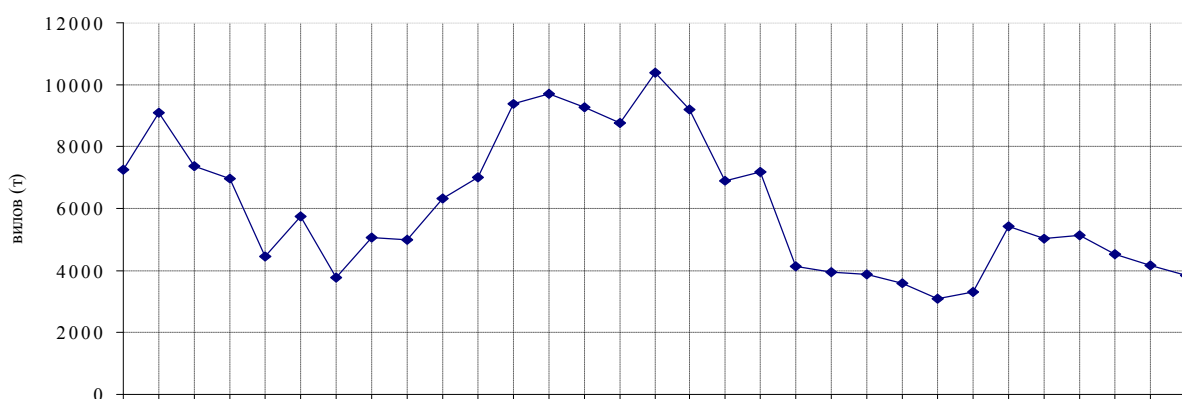


Рис. 1. Динаміка вилову риби з Кременчуцького водосховища за 1974–2015 рр.

Іхтіофауна Кременчуцького водосховища налічує 41 вид риб. 10 видів кісткових риб занесені до Червоної книги України. Серед еврибіотних риб трапляються головець, звичайна бистрянга (*Alburnoides bi-punctatus*), підуст, пічкур звичайний (*Gobiogobio*). Серед теплолюбивих видів трапляється сом [4, 5].

За статистичними даними, промислове значення мають 17 видів риб, у тому числі крупночастикові: лящ, товстолобики, сом, щука, сазан, судак, білий амур, в'язь; дрібночастикові: плітка, плоскирка, синець, окунь, карась, чехоня, а також верховод і тюлька. Основою уловів в останні роки є плітка, лящ, плоскирка, верховод [6, 7].

Видовий склад вилову риби рибовидобувними організаціями Черкаської області з

Кременчуцького водосховища в 2015 р. зображено на рис. 2 [3–6].

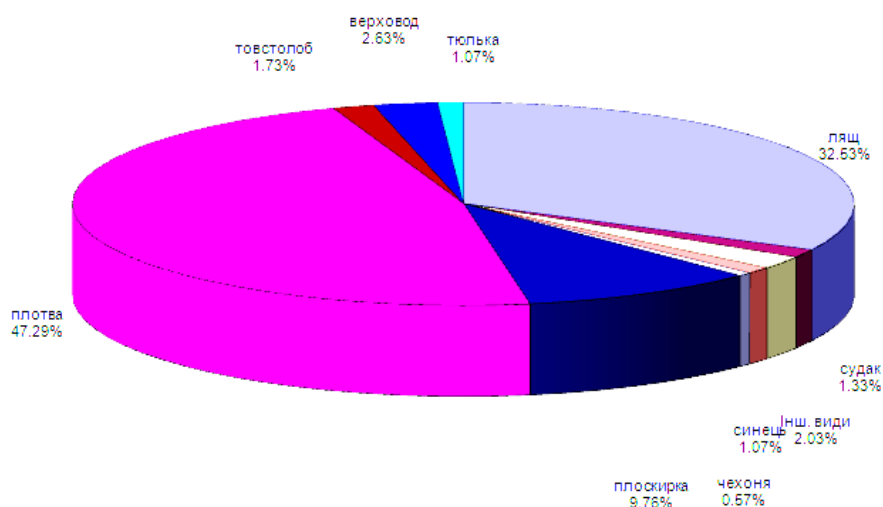


Рис. 2. Видовий склад вилову риби рибовидобувними організаціями Черкаської області з Кременчуцького водосховища в 2015 р.

Аналіз ситуації, що склалась на Кременчуцькому водосховищі, показав, що зниження рибопродуктивності пов'язане, в першу чергу, зі зменшенням площі нерестовищ Кременчуцького водосховища за рахунок будівництва на них ставкових господарств, що призвело до погіршення умов відтворення, особливо в середній частині водосховища. Реальна площа водосховища скоротилася з 225 до 208,2 тис. га, в першу чергу за рахунок відторгнення мілководь під будівництво рибних господарств, ще 10,2 тис. га мілководь у вершині водосховища та Сулинському заказ-

нику випали з нерестового фонду в результаті суцільного заростання водною рослинністю.

Значне зростання пресу промислового зусилля на іхтіофауну Кременчуцького водосховища за рахунок зростання кількості користувачів в умовах встановлення завищених квот на вилов призводить до падіння середньорічного вилову на сітку та рибалку і, як наслідок, до збільшення собівартості риби-сирцю і ринкових цін на рибну продукцію та може призвести до підриву промислових запасів.

Порівняння інтенсивності промислу в роки стабільного промислового зусилля та в 2015 р. наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння інтенсивності промислу в роки стабільного промислового зусилля та в 2015 р.

Характеристики промислу	Роки		Відмінність показників характеристик промислу	
	1982-1991	2015	в натуральному вираженні	у відсотковому вираженні
Кількість сіток, шт.	12700	19400	+ 6700	+ 52,7
Кількість плавзасобів, шт.	367	572	+ 205	+ 55,8
Кількість рибалок, осіб	845	1292	+ 447	+ 52,9
Кількість користувачів (промисловиків)	11	50	+ 39	+ 355
Середня рибопродуктивність, кг/га	36,4	17,1	- 19,3	- 53,0
Середній річний вилов на одну сітку, кг	627	197	- 430	- 68,5
Середній річний вилов на одного рибалку, кг	9693	2969	- 6724	- 69,4

Вже нині на Кременчуцькому водосховищі ведуть промисел 50 користувачів, з них 33 – на території Черкаської області. Причому

за кількісним зростанням користувачів неодмінно йде якісне: збільшення кількості задіяних на промислі в користувача людей, плав-

засобів, знярядь лову, технічного оснащення та набуття досвіду, що приводить до збільшення інтенсивності лову і без збільшення кількості користувачів.

Падіння вилову змушує користувачів шукати шляхи інтенсифікації промислу. Так, наприклад, в останні роки на Кременчуцькому водосховищі почали широко застосовувати сітки з розміром вічок 36–38 мм, які дозволені правилами рибальства, але традиційно мало використовувались промисловиками на цьому водосховищі. Така ситуація на першому етапі дає збільшення вилову, в першу чергу плотви, за рахунок тієї частини промислової зграї, що раніше не використовувалась, але в подальшому призводить до ще більшого зниження вилову за рахунок зменшення резерву плідників.

На даний час, відповідно до правил промислового рибальства, промислові зняряддя лову маркуються за допомогою бирок, виготовлення яких лежить на користувачеві. На Кременчуцькому водосховищі як бирки використовують поліетиленову пластину, на якій витиснуті слово «Головрибвод» та номер. Такий стан справ дозволяє користувачам застосовувати під одним номером декілька сіток,

що призводить до значної різниці між реальним та офіційним (дозволеним) промзусиллям. Виявити це порушення дуже складно, тому що однакові номери рибаки використовують, як правило, в різних районах водосховища, а довести взагалі практично неможливо. Браконьєри, користуючись недосконалістю законодавства, також мають можливість маскувати свої сітки під промислові.

Квоти на вилов водних живих ресурсів користувачам виділяє Укрдержрибгосп у межах загального ліміту вилову з Кременчуцького водосховища, який затверджує Мінприроди на підставі рекомендацій (прогнозу вилову) Інституту рибного господарства УААН. Розподіл квот, як правило, має суб'єктивний характер.

В останні роки офіційний вилов з Кременчуцького водосховища значно не дотягує до встановленого ліміту. Так, наприклад, у 2015 р. промислом було освоєно лише 42 % виділеного ліміту (табл. 2). Недоосвоєння ліміту подавалось як наслідок недостатнього промислового зусилля та давало можливість Укрдержрибгоспу нарощувати кількість користувачів [3].

Таблиця 2

Динаміка кількості користувачів Кременчуцького водосховища

Рік	Затверджений на основі прогнозу ліміт, т	Загальний вилов з Кременчуцького водосховища, т	Кількість користувачів, що отримали квоти	Виллов риби користувачами Черкаської області, т
1989	дані відсутні	10379,5	11	дані відсутні
1999	5960	5426,2	15	3387,6
2000	6747	5039,1	17	41,64,1
2012	7357	5139,4	26	3249,7
2013	9660	4541,5	40	2760,2
2014	9900	4338,4	57	2381,5
2015	9167	3837,1	55	2252,0

Без вирішення проблеми ефективного контролю та приведення промислового зусилля до оптимального значення практично не можливе дієве державне регулювання промислу та рибопродуктивності водойми. Ситуація ускладнюється тим, що скорочення кількості промзусилля (користувачів) адміністративним рішенням призведе до обґрунтованих судових позовів до державних органів. Вирішення цієї проблеми можливе за умови зміни схеми розподілу квот [6, 8, 9].

На початку 30-х років XX ст. в Черкаській області було близько 60 рибалок, які працювали здебільшого закидними неводами завдовжки 200–250 м, дрібними ятерями, плав-

ними річковими тристінними сітками і невеликою кількістю ставних сіток. Вони плелись з тонкої льняної або бавовняної нитки. Для продовження строків використання їх щоденно сушили, часто консервували, смолили, фарбували. Рибальський флот на будь-яку відстань пересувався за допомогою весел чи парусів. На початку 80-х років XX ст. промислове рибальство розширилось до 670 рибалок. Для добування риби використовували ставні сітки – 14 тис. штук, плавні сітки річкові – 13, ятері – 1 тис., неводи тюлечні – 16, трали тюлечні – 37. Усі зняряддя лову виготовляються з капронового полотна, завдяки чому підвищилась їх уловистість, довговічність і полег-

шилась праця рибалок. Якщо в минулому до 85 % риби виловлювали неводами, то тепер стільки ж припадає на частку сіток. На своєму оснащенні, на противагу 30-м рокам, рибалки мають човни з підвісними і стаціонарними двигунами.

З середини XX ст. рибна промисловість почала застосовувати капронові сітки, уловистість яких порівняно з бавовняними та льняними більша у 4–5 разів. З введенням капронових сіток, які характеризуються, крім того, ще й підвищеною міцністю, у погоні за уловистістю почали застосовувати значно тонші, або, як кажуть рибалки, «липкі» нитки. Це викликало різке збільшення прилову молоді судака. Його мальки чіпляються за надзвичайно тонкі нитки сіток зябровими кришками та зубами. У зв'язку з цим активно порушувалось питання про доцільність застосування сіток у водоймах, де судак є промисловим об'єктом. Ця проблема постає ще нагальніше у зв'язку з появою сіток з іще міцніших, але тонших ниток, що вимагало конструювати їх такими, які максимально відповідали б вимогам охорони рибних запасів навіть при деякому зниженні уловистості нових снастей. Промислові організації намагаються швидше виловити з водосховища лімітовані види риб, які цінніші й легше вибираються з сіток. Тому спершу, як правило, для лову використовуються великовічкові сітки, а вичерпавши ліміт, що зазвичай відбувається в кінці промислового періоду, рибалки частіше застосовують маловічкові сітки. Якщо протягом року лімітовані види риб ловляться погано, рибалки для виконання плану також починають інтенсивніше застосовувати маловічкові сітки. Значно підривають запаси ляща, синця та судака їх великі прилови непромислових розмірів, які влітку досягають у маловічкових сітках у Кременчуцькому водосховищі 40–60 %. За орієнтовними підрахунками, у Кременчуцькому водосховищі протягом липня – серпня 1974 р. було виловлено 200 тис. штук судака, понад 1 млн. штук ляща, понад 30 тис. штук синця, що в перерахунку на масу дорослої риби становило 612 тис. центнерів [10].

Залежно від тривалості перебування сіток з рибою у воді її відходи зростають. Так, в умовах ставних сіток, які перебували у воді протягом однієї доби, відходи судака становили 20 %, шуки – 12 %, ляща – 2 %; протягом двох діб відходи судака становили 26 %, шуки – 15 %, ляща – 10 %; протягом трьох діб

відходи судака досягали 40 %, шуки – 37 %, ляща – 30 %; протягом чотирьох діб відходи судака зростали до 64 %, шуки – до 91 %, ляща – до 39 %. Значної шкоди завдають і втрати сіток під час штормів, весняних та осінніх переміщень криги, коли відриваються розпізнавальні буйки чи сітки переносяться на нові місця. Інколи протягом року ці снасті є пасткою для різних риб. Немало їх травмується і гине внаслідок проникнення через вічка сіток, неводів і тралів, особливо за швидкого їх буксирування.

На Черкащині затверджена Програма розвитку рибного господарства водойм Черкаської області на 2014 – 2020 рр. Основними проблемами рибної галузі є відсутність належного фінансування на проведення меліоративних робіт (очищення нерестовищ), відтворення рибних запасів – належне зариблення водойм області, застаріла матеріально-технічна база органів рибохорони [6, 10].

Програма спрямована на реалізацію в області державної політики щодо сприяння розвитку рибного господарства, зміцнення її виробничого і науково-технічного потенціалу, формування розгалуженої інфраструктури, координацію діяльності органів виконавчої влади та місцевого самоврядування, підприємств, установ та організацій з метою розв'язання найважливіших проблем функціонування рибогосподарського комплексу області, створення сприятливих умов для стабілізації та нарощування обсягів вилову і виробництва рибної продукції, підвищення ефективності використання рибних запасів, вжиття заходів щодо їх відтворення та охорони. Виконання передбачених заходів Програми дасть можливість відновити показники вилову водних біоресурсів Кременчуцького водосховища до рівня 6–8 тис. т щорічно [10].

Окремою проблемою Кременчуцького водосховища та річок області є відсутність меліоративних робіт на мілководних ділянках їх акваторії. Ці ділянки є місцями нересту та зимівлі як молоді, так і статевозрілих цінних промислових видів риб.

У зв'язку зі значним навантаженням комунальних, сільськогосподарських та інших підприємств викиди нечистот, забір води без ефективних РЗП, прокладення трубопроводів спричиняють замулення річок, заростання нерестовищ жорсткою вищою рослинністю, виникнення заморів у зимовий період.

Питання зариблення водойм області на сьогоднішній день є одним із основних, тому що кількість рибогосподарського матеріалу, який зариблюється у водойми, є вкрай низькою і кошти на ці заходи виділяються в малій кількості.

Для контролю належних характеристик рибопосадкового матеріалу формується конкурсна комісія, яка складається з представників органів рибоохорони, Міністерства екології та природних ресурсів України та місцевих органів влади. Комісія визначає об'єкти робіт з відтворення (водойми, видовий склад і кількість посадкового матеріалу) та формує перелік виконавців робіт з відтворення водних живих ресурсів.

При визначенні користувачів – виконавців робіт з відтворення водних живих ресурсів перевагу слід віддавати тим рибоводним підприємствам, де сформовані ремонтно-маточні зграї чистих ліній білих і строкатих товстолобиків, а також є матеріально-технічна база для відтворення цінних аборигенних видів риб.

Висновки. Основними причинами зниження запасів і уловів цінних видів риб у Черкаській області є:

- несприятливі умови розмноження, пов'язані з різкими добовими коливаннями рівня води в нерестовий період, що призводить до масової загибелі на нерестовищах ікри і личинок риб;

- велике скорочення нерестових для виробників і нагульних для молоді площ мілководних зон внаслідок відсутності на них лугової рослинності, рясного заростання їх повітряно-водяними рослинами й заболочування;

- забруднення водосховищ, спричинене стічними водами промислових, сільськогосподарських і комунально-побутових підприємств;

- зростаючі масштаби любительського рибальства, яке в літній період вилучає велику кількість молоді цінних видів риб, особливо ляща;

- винос з водосховищ у водозабори молоді промислових риб;

- різке переважання в промислі однотипних знарядь лову.

Для збереження в межах Черкаської області акваторій, що забезпечують умови існування риб на всіх стадіях розвитку (нерест, нагул, зимівля), необхідно розробити комплекс природоохоронних і рибоводно-

меліоративних заходів, які передбачають обмеження господарської діяльності, особливо в мілководній прибережній зоні.

Список літератури

1. Алимов С. І. Рибне господарство України: стан і перспективи / С. І. Алимов. – К., 2003. – 335 с.
2. Шевчук В. Я. Екологічний стан басейну річки Дніпро за результатами першої українсько-канадської експедиції / В. Я. Шевчук, О. Г. Власенко. – Харків, 1999. – 52 с.
3. Рибне господарство України [Електронний ресурс] / Держ. служба статистики України. – Режим доступу : <http://ukrstat.gov.ua/>
4. Екологічний паспорт Черкаської області. – Черкаси : Департамент екології та природних ресурсів Черкаської ОДА, 2016. – 132 с.
5. Довкілля Черкащини. – Черкаси : Управління статистики, 2016. – 117 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2015 році. – Черкаси : Департамент екології та природних ресурсів Черкаської ОДА, 2016. – 272 с.
7. Іхтіофауна Кременчуцького водосховища Черкаської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://riboohorona-ck.org.ua>
8. Свояк Н. І. Рибні ресурси Черкаської області / Н. І. Свояк // Современное состояние рыбного хозяйства: проблемы и пути решения : зб. тез доп. – Херсон. 2008. – С. 115–116.
9. Джулай О. С. Аналіз стану рибних ресурсів Черкаської області. / Джулай О. С., Чемерис І. А., Свояк Н. І. // Екологія та освіта: інноваційні інтеграційні технології для сталого розвитку : зб. тез доп. – Черкаси, 2004. – С. 12–15.
10. Програма розвитку рибного господарства водойм Черкаської області на 2014–2020 роки. – Черкаси, 2014. – 17 с.

References

1. Alimov, S. I. (2003) Fishery resources of Ukraine: state and prospects. Kiev, 335 p. [in Ukrainian].
2. Shevchuk, V. Ja. and Vlasenko, O. G., (1999) Environmental condition of Dnipro basin according to the results of the first

- Ukrainian-Canadian expedition. Harkiv, 52 p. [in Ukrainian].
3. Fishery resources of Ukraine. The State Committee of Statistics of Ukraine, available at: <http://ukrstat.gov.ua/>
 4. Ecological passport of Cherkassy region (2016) The Department of ecology and natural resources of Cherkassy region, 132 p. [in Ukrainian].
 5. The environment of Cherkassy region (2016) The Department of ecology and natural resources of Cherkassy region, 117 p. [in Ukrainian].
 6. Regional report on the state of environment of Cherkassy region in 2015 (2016) The Department of ecology and natural resources of Cherkassy region, 272 p. [in Ukrainian].
 7. The ichthyofauna of Kremenchug reservoir of Cherkassy region, available at: <http://ruboohorona-ck.org.ua>
 8. Svojak, N. I. (2008) Fishery resources of Cherkassy region. *Sovremennoye sostoyaniye rybnogo khozyajstva: problemy i puti resheniya*: conf. materials, Herson, pp. 115–116 [in Ukrainian].
 9. Dgulai, O. S., Chemeris, I. A. and Svojak, N. I. (2004) The analysis of fishery resources of Cherkassy region. *Ekolohiya ta osvita: innovacijni integracijni tehnolohiyi dlya staloho rozvytku*: conf. materials, Cherkassy, pp. 12–15 [in Ukrainian].
 10. The Program of the development of fishery resources of Cherkassy region reservoirs on 2014–2020 (2014). Cherkassy, 17 p. [in Ukrainian].

N. I. Svojak, *Ph.D. in Biology, associate professor*,
e-mail: SvojakNata@ukr.net

L. B. Yashchuk, *Ph.D. in Chemistry, associate professor*,
e-mail: yashchuk@yandex.ua

N. V. Zagoruiko, *Ph.D. in Biology, associate professor*
e-mail: nelli.zagorujko@yandex.ru

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

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF FISHERY RESOURCES OF CHERKASY REGION

Ichthyofauna composition of Cherkassy region is researched and environmental condition in terms of fishery resources is evaluated. Fish stocks of Cherkassy region and the factors that influence on their changes are considered; the analysis of the Program for the development of fishery resources of Cherkassy region ponds in 2014-2020 is conducted. As a result of the research the recommendations concerning the improvement of fishery resources of Cherkassy region are developed.

The main reasons for reduction of stocks and catches of fish species in Cherkassy region consist in unfavorable breeding conditions associated with sharp daily fluctuations of water level in the spawning period, leading to massive loss of spawning grounds for fish eggs and larvae of fish; great reduction in spawning for producers and fattening for youth shallow areas due to the lack of meadow vegetation on them, abundant overgrowth of air-water plants and water logging; storage reservoir pollution caused by sewage of industrial, agricultural and municipal enterprises; increasing scales of amateur fishing, which in summer removes a large number of young species of fish, especially bream; removal of young commercial fish from reservoirs in the intakes; marked predominance of similar fishing gear.

To save in Cherkassy region areas of water, that provide conditions for the existence of fish at all stages of development (spawning, feeding, wintering), a set of environmental, breeding and reclamation measures that limit economic activity, especially in shallow coastal zone, should be developed.

Keywords: fish resources, ichthyofauna, ichthyofaunal composition, environmental condition, fisheries, fishing.

Рецензенти: В. Я. Білоножко, д.с.-г.н., професор,

Л. І. Білик, д.пед.н., професор, член-кореспондент МАНеБ

Т. І. Веретільник, к.т.н., професор,
e-mail: vertim@mail.ua

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент,
e-mail: musnik@list.ru

Р. Б. Капітан, ст. викладач
e-mail: kapitan_ruslan@ukr.net

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

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПОЛІГРАФІЇ ТА ВИДАВНИЧІЙ СПРАВІ

У статті розглянуто інформаційні технології, що використовуються в поліграфії та видавничій справі. Проведено аналіз можливостей та перспектив застосування сучасних інформаційних технологій у поліграфії та видавничій справі.

Ключові слова: інформаційна технологія, поліграфічне виробництво, видавнича справа, CALS-технологія, Digital Workflow.

Вступ. Постановка проблеми та її актуальність. Роль інформації як ресурсу діяльності людини постійно зростає, що приводить до перетворень практично в усіх сферах життя суспільства. Не минули ці перетворення й поліграфічну галузь. Наразі в поліграфії та видавничій справі спостерігається значне поширення інформаційних технологій.

Актуальність роботи обумовлена все більшим впровадженням інформаційних технологій у виробничі та управлінські процеси виготовлення поліграфічної продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема впровадження інформаційних технологій у поліграфію та видавничу справу займається цілий ряд вчених, до яких можна віднести: Б. В. Дурняка, М. І. Сенківського, Л. Я. Сікору, М. М. Луцківа, Ю. В. Кравченка, Ю. М. Романишина, О. А. Машкова, О. І. Огірко та ін. Результати наукових досліджень перелічених вчених знайшли застосування на поліграфічних підприємствах та фірмах, створено науково-методологічну базу для подальшого вдосконалення та оптимізації цих технологій.

Метою роботи є узагальнення та класифікація інформаційних технологій, що вже використовуються і мають перспективи впровадження в поліграфічній галузі.

Викладення основного матеріалу. Поліграфічне підприємство для аналізу проблем, що виникають, прийняття рішень, кон-

тролю операцій, створення нових продуктів або надання послуг потребує інформації. Процес збору, обробки, зберігання та цілеспрямованої передачі різноманітної інформації у вигляді даних, організованих на базі сучасних обчислювальних машин і систем, мережевих технологій, банків і баз даних і знань, різноманітного системного, прикладного й проблемно-орієнтованого програмного забезпечення, є невід'ємною частиною інформаційної технології. Спрощена схема інформаційної системи підприємства зображена на рис. 1.

Для ефективного управління та скорочення часу виготовлення і витрат інформаційна система підприємства повинна мати взаємозв'язки з усіма учасниками процесу виготовлення продукції.

Впровадження сучасних інформаційних технологій дозволяє [1]:

- перетворити підприємство на інформаційно кероване;
- сприймати підприємство як одне ціле;
- керувати підприємством та процесами в режимі реального часу;
- орієнтуватися на масових користувачів.

У видавничій діяльності та на поліграфічному підприємстві інформаційні технології використовуються в управлінських, інформаційних і технологічних процесах [2].

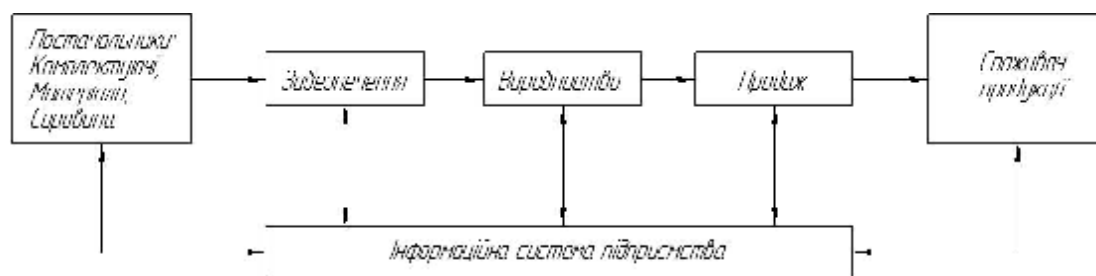


Рис. 1. Спрощена схема інформаційної системи підприємства

Система управління сучасним поліграфічним підприємством – це [3]:

– інформаційна система для ідентифікації і планування всіх ресурсів підприємства, які необхідні для здійснення закупівель, виробництва, продажів, обліку в процесі виконання клієнтських замовлень;

– методологія ефективного планування і управління всіма ресурсами підприємства.

На сьогодні, на ринку України та Росії представлено ряд систем керування поліграфічним підприємством. Найбільш розповсюдженими є Ад'ютант, АРМЕКС, Типографія, ІС:Підприємство 8.0 Поліграфія, АSystem, DISO, HIFLEX, Logicprint, Prinect, PrintEffect. Основними функціями цих систем є:

- оформлення та розрахунок поліграфічного замовлення;
- підготовка виробничої документації;
- планування і диспетчеризація виробництва;
- розрахунок планової та фактичної собівартості;
- планування витрат матеріалів;
- облік готової продукції;
- аналіз досягнутих результатів;
- контроль за проходженням замовлення в режимі online.

Для підвищення ефективності, продуктивності та рентабельності процесів виробничої діяльності підприємства використовується стратегія, що ґрунтується на впровадженні сучасних методів інформаційної взаємодії учасників життєвого циклу продукту, або її ще називають CALS-технологією.

Життєвому циклу продукту притаманна велика різноманітність процесів, зображених на рис. 2.

Сучасне поліграфічне підприємство на етапах закупівлі, експлуатації та утилізації пов'язане з підприємствами – постачальниками обладнання в системі CALS таким програмним забезпеченням:

– CRM (Customer Relationship Management) – керування взаємовідносин із замовником;

– SFA (Sales Force Automation) – автоматизація діяльності по продажах;

– IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) – інтерактивний електронний технічний паспорт обладнання;

– PLM (Product Lifecycle Management) – керування даними життєвого циклу обладнання.

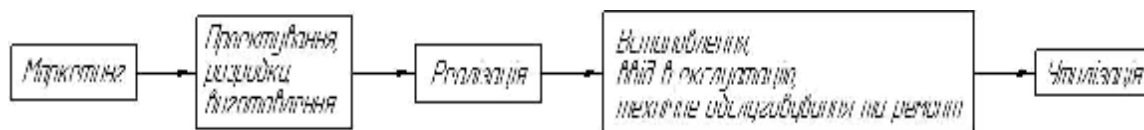


Рис. 2. Етапи життєвого циклу виробу

Для ефективного використання обладнання на поліграфічному підприємстві слід використовувати все зазначене програмне забезпечення, але найбільш цікавим з точки зору експлуатації є ІЕТМ. Використання ІЕТМ для поліграфічного обладнання дозволяє вирішити такі задачі:

– забезпечення користувача довідковим матеріалом про будову та принцип роботи обладнання;

– забезпечення користувача правилами експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання;

– забезпечення користувача довідковими матеріалами, що необхідні для експлуатації обладнання, виконання регламентних робіт та ремонту;

– забезпечення користувача інформацією про технології виконання операцій на обладнанні;

- діагностика стану обладнання та пошук несправностей;

- підготовка і реалізація автоматизованого замовлення матеріалів і запасних частин;

- планування і облік проведення регламентних робіт;

- обмін даними між користувачем та постачальником.

IETM включає в себе базу даних і електронну систему відображення. Зазначені задачі IETM вирішуються завдяки специфічним формам і методам організації баз даних і способам доступу до них. По своїй суті, IETM є своєрідною базою знань про обладнання і являє собою інтелектуальний засіб підтримки експлуатації обладнання на післявиробничих стадіях життєвого циклу обладнання. Для створення і використання IETM застосовується спеціальне програмне забезпечення.

Таким чином, використання CALS і, зокрема, IETM на поліграфічних підприємствах дасть можливість підвищити ефективність роботи підприємства за рахунок використання всіх його внутрішніх ресурсів, зокрема поліграфічного обладнання при оптимальному проведенні його технічного обслуговування та ремонту.

Іншим напрямком використання інформаційних технологій у поліграфії та видавничій справі є використання інформаційних технологій для технологічних процесів створення поліграфічного продукту.

Сучасне поліграфічне виробництво використовує три форми цифрового коду[4]:

- у формі вихідного матеріалу;

- як інформації для налаштування обладнання та управління ресурсами;

- у формі продукту поліграфічного виробництва.

Область цифрової обробки в поліграфії визначає підготовку цифрового оригіналу, що містить всю інформацію про замовлення, включаючи змістовий і технологічний аспекти. Цифровий потік даних містить не тільки інформацію, що потрібно надрукувати, але й інформацію для електронного керування додрукарськими, друкарськими та післядрукарськими процесами. З його допомогою здійснюється попереднє налаштування обладнання, задання виробничих параметрів, з'єднання машин одна з одною за допомогою мережі. На поліграфічному підприємстві ця технологія отримала назву Digital Workflow (DWF). Digital Workflow

слід розглядати як сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, що реалізують процеси перетворення вхідної інформації, керування технологічним обладнанням та планування і керування ресурсами фірми.

Процес побудови Digital Workflow може бути здійснений двома способами:

- використанням готових програмних пакетів підтримки робочого потоку;

- використанням різноманітного програмного і апаратного забезпечення для організації окремих операцій.

Для організації Digital Workflow використовуються робочі станції, сервери та окремі технічні пристрої, а також мережі та мережеве обладнання.

Digital Workflow базується на використанні технологій робочого потоку CIP3 і CIP4.

Технологія CIP3 [4] спрямована на організацію найбільш важливих операцій поліграфічної діяльності. У додрукарських процесах вона охоплює проблеми розміщення матеріалу, на стадії друкування – регулювання подачі фарби, приведення, а на післядрукарській стадії – обрізання. Технологія орієнтована на досить великі, інтегровані виробництва, що спираються на мережеву підтримку. Безпосередньо дані (специфікації) PPF-файлу призначені для управління опису поліграфічним процесом. При цьому друкарська машина має інтерфейс формату CIP3 і сприймає масив даних PPF. Застосування цього стандарту передбачає наявність у друкарні мережі передачі інформації.

Застосування технології CIP3 дозволяє отримати такі переваги: збільшити завантаження виробництва, поліпшити перевірку якості, прискорити підготовку до роботи, зменшити витрату паперу і фарби. PPF-файл містить: растрове зображення низького розділення (для загального контролю), докладну інформацію про колір і відповідні команди налаштування фарбових апаратів, команди процедур для обрізування і фальцювання.

Переваги цифрового технологічного потоку проявляються в наступному:

- скорочення часу налагодження машин, обумовлене комп'ютерними методами управління технологічними процесами;

- економія матеріалів як за рахунок скорочення кількості проміжних технологічних процесів, так і за рахунок зменшення виходу макулатурних аркушів;

- підвищення якості друку за рахунок точності відтворення тонопередачі, стандартизації технологічного процесу, управління кольором у додрукарській обробці;

- більш ефективно управління якістю, обумовлене можливістю виключення помилок у використанні формних матеріалів, реалізацією вхідного і вихідного контролю даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;

- можливість переходу до цифрових систем одержання проби (струменевий принтер), крім виготовлення кольороподілених фотоформ;

- внесення коректурних змін без втрати матеріалу, за рахунок оперативної зміни змісту даних;

- забезпечення збереження даних, що дає змогу виключити непродуктивні тимчасові й економічні витрати, з допомогою систем резервування (Backup), пристроїв захисту;

- зменшення кількості ручних і допоміжних робіт, що потребують додаткової робочої сили;

- підвищення вимог до кваліфікації персоналу, який безпосередньо бере участь у виробничому процесі (наприклад, з'являються нові професії в додрукарському процесі);

- розвиток методів децентралізованої публікації за рахунок просторового розділення процесів виготовлення форм, експонування, виготовлення проб, друку тощо на базі мережних технологій.

Мета технології CIP4 (Cooperation for the Integration of Process in Prepress, Press, Postpress) полягає в тому, щоб у розширеному вигляді описати специфікацію взаємодії поліграфічних процесів. Новий формат файлу опису був названий JDF. Технологія покликана стимулювати комп'ютерну інтеграцію всіх процесів, які можуть бути розглянуті в поліграфії, і особливо специфікацію стандартів для формату JDF. Новий формат базується на використанні мови розмітки XML і концентрується на технологічних процесах виробництва друкованої продукції, він може служити для цілей електронної комерції і передачі економічної інформації на верхні рівні управління фірмою.

Файли специфікації базуються на трьох головних взаємодіючих аспектах єдиного робочого потоку:

- призначення продукції – визначає, що виробляти, з деталізацією опису самої ро-

боти (наприклад, особливості фальцювання кількох зошитів);

- функціональні параметри, що визначають процес виконання операції: порядок роботи, перевірка погоджень і готовності до переходу на виконання чергової операції;

- спеціальні регульовані параметри та умови, що дають можливість реагувати на ситуації та пропонувати можливі рішення й алгоритми.

Відповідні прикладні програми ще на додрукарській стадії створюють JDF-файл, який потім передається по корпоративних мережах і веде робочий потік. Поряд з описом завдання він може містити й іншу виробничу інформацію. Пристрої, що використовуються у технологічному процесі, сприймають відповідні дані файлу і передають їх як керуючу інформацію. Додаток Job Messaging Format (JMF) – частина технології CIP4, визначає структуру повідомлень, якими обмінюються окремі програми та пристрої при роботі з JDF-файлом.

Крім зазначених вище сфер застосування, інформаційні технології в поліграфії та видавничій справі також можуть застосовуватися для специфічних задач, зокрема:

- інформаційні технології стандартизації в поліграфії [5];

- інформаційні технології рерайтингу у веб поліграфії [6];

- інформаційні технології безпекометрії поліграфічного виробництва [7] тощо.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, проведене дослідження показало значне поширення інформаційних технологій у поліграфії та видавничій справі. Виділяють три основні напрями застосування інформаційних технологій:

- для управління поліграфічним підприємством;

- для виконання виробничих процесів;

- у системі технічного обслуговування та ремонту поліграфічного обладнання.

Впровадження інформаційних технологій в усі ланки управління і виробництва дає змогу ефективно використовувати ресурси підприємства і, таким чином, підвищувати його конкурентоспроможність. Але для досягнення поставленої мети потрібна модернізація як наявного устаткування, так і систем керування в цілому. Використання концепцій Digital Workflow та CALS-технології дозволяє впроваджувати сучасні інформаційні техноло-

гії у виробництво. В подальшому необхідно розвивати та розширювати сфери застосування інформаційних технологій у поліграфії та видавничій справі.

Список літератури

1. Андрищенко Т. Ю. Автоматизація та системи підтримки прийняття рішень на поліграфічних підприємствах / Т. Ю. Андрищенко // Системи обробки інформації. – 2010. – Вип. 7. – С. 134–141.
2. Иванов П. К. Автоматизированные информационно-управляющие системы в полиграфии / П. К. Иванов, Ю. Н. Самарин // КомпьюАрт. – 2007. – № 4. – С. 35–39.
3. Дроздов В. Н. Автоматизация технологических процессов в полиграфии / В. Н. Дроздов. – СПб. : Петербургский институт печати, 2005. – 248 с.
4. Меньяев М. Ф. Цифровые системы управления техническими процессами в полиграфии : учеб. пособ. / М. Ф. Меньяев. – М. : МГУП, 2006. – 126 с.
5. Огірко О. І. Інформаційні технології стандартизації в поліграфії [Електронний ресурс] / О. І. Огірко, О. Ю. Пілат. – Режим доступу : http://networktechnologies.io.ua/s2301880/informaciyni_tehnologie_standartizacie_v_poligrafie
6. Огірко О. І. Інформаційні технології ре-райтинга у веб-поліграфії. Стаття на сайті розміщена 19.03.2016. – Режим доступу : http://networktechnologies.io.ua/s2301879/informaciyni_tehnologie_reraytinga_u_veb_poligrafie
7. Огірко І. Інформаційні технології безпекометрії в поліграфії / І. Огірко, О. Огірко // Захист інформації і безпека інформаційних систем : III Міжнар. наук.-техн. конф., (Нац. ун-т «Львівська політехніка», 05–06 червня 2014 р.). – Львів. – С. 46–51.
8. Гехман Ч. Рабочий поток / Чак Гехман ; пер. с англ. Е. Н. Зверева, А. Н. Коваленко ; под ред. А. Н. Коваленко. – М. : МГУП, 2004. – 252 с.
9. Дурняк Б. В. Аналіз розвитку інформаційних технологій / Б. В. Дурняк, О. В. Шевченко // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – 2013. – Вип. 66. – С. 169–176.

10. Никульчев Е. В. Информационные технологии в полиграфии / Е. В. Никульчев // Высшее образование в России. – 2010. – № 6. – С. 105–109.

References

1. Andriushchenko, T. Yu. (2010) Automation and systems of decision-making support at printing enterprises. *Systemy obrobky informatsii*, No. 7, pp. 134–141 [in Ukrainian].
2. Ivanov, P. K. and Samarin, Yu. N. (2007) Automated management information systems in printing industry. *KompyuArt*, No. 4, pp. 35–39 [in Russian].
3. Drozdov, V. N. (2005) Automation of technological processes in printing industry. St. Petersburg: Peterburgskiy institut pechati, 248 p. [in Russian].
4. Menyaev, M. F. (2006) Digital systems of management by technical processes in printing industry. Moscow: MGUP, 126 p. [in Russian].
5. Ogirko, O. I. and Pilat, O. Yu. (2016) Information standardization technologies in printing industry, available at: http://networktechnologies.io.ua/s2301880/informaciyni_tehnologie_standartizacie_v_poligrafie [in Ukrainian].
6. Ogirko, O. I. (2016) Information re-writing technologies in web-printing industry, available at: http://networktechnologies.io.ua/s2301879/informaciyni_tehnologie_reraytinga_u_veb_poligrafie [in Ukrainian].
7. Ogirko, I. and Ogirko, O. (2014) Information technologies of safety ranging in printing industry. *Zakhyst informatsiyi i bezpeka informatsiynyh system: III Mizhnar. nauk.-tehn. konf. (Nats. un-t "Lvivska politekhnika")*, June, 05-06, Lviv, pp. 46–51 [in Ukrainian].
8. Gekhman, Ch. (2004) Worker thread. Moscow: MGUP, 252 p. [in Russian].
9. Durnyak, B. V. and Shevchenko, O. V. (2013) The analysis of information technologies development. *Zbirnyk naukovykh prats Institutu problem modelyuvannya v energetytsi im. G. E. Pukhova*, No. 66, pp. 169–176 [in Ukrainian].
10. Nikulchev, Ye. V. (2010) Information technologies in printing industry. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, No. 6, pp. 105–109 [in Russian].

T. I. Veretil'nyk, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: vertim@mail.ua

L. D. Mysnyk, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: musnik@list.ru

R. B. Kapitan, *senior lecturer*
e-mail: kapitan_ruslan@ukr.net
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN PRINTING AND PUBLISHING INDUSTRIES

The role of information as a resource for human activity is constantly growing, leading to changes in almost all areas of society. Printing industry has also undergone these changes. Currently printing and publishing industries widely use information technologies.

Any enterprise requires information to analyze urgent problems, make decisions, monitor operations and create new products or services. The process of collecting, processing, storage and transmission of various information as data, organized on the basis of modern computer systems and machines, networking technologies, data and knowledge banks, various system, applied and problem-oriented software is an integral part of information technology.

To effectively manage and reduce the time of manufacturing and expenditures the information system of an enterprise must be connected with all participants of production process.

The complexity and variety of technologies, the necessity to produce a large range of products need information coordination and management. Currently, the activity, based on information, constitutes a significant part of a company's activity. Only an integrated, modern information system can provide necessary cooperation for the entire enterprise.

The modern market of printing services is developing; new technologies and the scope of their application emerge. To withstand a competition and ensure effective management printing companies have to keep up with modern trends of printing industry. This is possible due to the use of modern information technology. The analysis shows that the implementation of information technology at all levels of management and production enables efficient use of company's resources thus increasing its competitiveness. But to achieve this goal existing equipment and control systems in general are to be modernized. The use of the concept of Digital Workflow and CALS-technology allows to implement modern information technologies in production. The application of information technologies in printing and publishing industries need further research.

Keywords: *information technology, printing production, publishing industry, CALS-technology, Digital Workflow.*

Рецензенти: **С. О. Воронов**, *д.т.н., професор*,
 Г. В. Канашевич, *д.т.н., професор*

М. П. Рудь, к.т.н., доцент,
e-mail: hochspannung77@gmail.com

О. О. Похил, аспірант,
e-mail: olegpokhyl@gmail.com

О. В. Лега, магістрант,

С. П. Бабенко, магістрант

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОБАР'ЄРА ЕКСТРУДЕРА ПРИСТРОЇВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ FDM

Моделювання методом наплавлення (або FDM) є найбільш поширеною технологією 3D друку. Найбільш важливим елементом FDM 3D принтера є екструдер. Екструдер призначений для транспортування та розподілення робочого матеріалу в зоні обробки. У статті проведено дослідження нагрівального блока екструдера 3D принтера. Розглянуто розроблений прототип нагрівального блока. Проаналізовано проблему теплоізоляції верхньої (холодної) частини екструдера від нижньої (гарячої). Було обрано матеріал для теплоізоляції. Розраховано математичну модель ефективності термобар'єра, який забезпечить зосередження тепла в гарячому блоці, що запобігає руйнуванню структури робочого матеріалу в каналах транспортування.

Наведено результати розрахунку математичної моделі. Показано, що розроблена конструкція термобар'єра екструдера забезпечує надійну термоізоляцію та мінімальну перехідну зону. Ефективність термобар'єра підтверджено експериментально.

Ключові слова: 3D-принтер, моделювання методом наплавлення (FDM), екструдер, метод скінченних елементів.

Вступ. Моделювання методом наплавлення (або FDM) є найбільш поширеною технологією 3D друку [1–6]. Найважливішим елементом FDM 3D-принтера, який працює за технологією моделювання методом наплавлення термопластів, є екструдер [7, 8]. Екструдер складається з двох частин: механічної, призначеної для подачі робочого матеріалу в твердому стані у вигляді нитки (філаменту), і термічної (або гарячої), призначеної для розплавлення філаменту та формування з нього безперервного профілю будь-якої 3D-моделі.

Аналіз проблеми та останніх досліджень. Особливістю гарячої частини екструдера є розділення філаменту на холодну й гарячу зони з мінімізацією розміру перехідної зони та максимальною ізоляцією гарячої частини від інших частин конструкції (рис. 1). Для вирішення цієї проблеми необхідно реалізувати термобар'єр між гарячою та холодною частинами [9, 10].

Це дасть можливість ізолювати інші частини конструкції екструдера і, таким чином, запобігти нагріванню, а також плавленню робочого матеріалу поза зоною гарячого блока екструдера. В існуючих FDM 3D-

принтерах використовують два підходи: цільнометалевий нагрівач з охолоджуючим радіатором і примусовим обдувом та нагрівач з теплоізолюючим матеріалом.

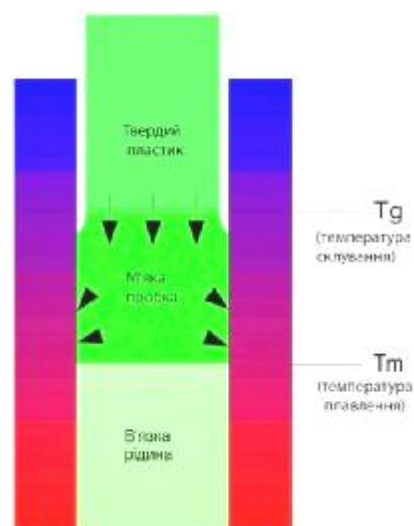


Рис. 1. Схема стану пластика в гарячій частині екструдера

Метою дослідження є виявлення ефективності термобар'єра екструдера пристроїв адитивного виробництва за технологією FDM.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дуже важливо, щоб температура від нагрівача не переносилась на верхню частину екструдера, тому що, коли філамент транспортується в блок нагрівання, він не повинен розплавитися на шляху до сопла. Тверда частина пластика виконує функцію поршня (рис. 1). М'яка частина пластика після переходу його температури точки склування виконує роль ущільнювача між поршнем і стінками циліндра, який унеможливає зворотну подачу пластика у в'язкотекучому стані. Перехідна зона між твердим та рідким станом пластика відіграє важливу роль у роботі екструдера. Занадто велика перехідна зона призводить до збільшення сил тертя між філаментом та стінками циліндра. З другого боку, зменшення перехідної зони ускладнює нагрів пластика до температури плавлення і відповідно зменшує швидкість друку. Для вирішення цієї проблеми було встановлено термобар'єр з теплоізолюючого матеріалу, фторопласту. На рис. 2 зображено розроблену модель для розрахунку гарячої частини екструдера. Основним завданням розробки моделі є розрахувати конструкцію термобар'єра, при якій гаряча та холодна частини екструдера були б надійно ізольовані, та визначити час, необхідний для нагріву сопла екструдера до робочої температури.

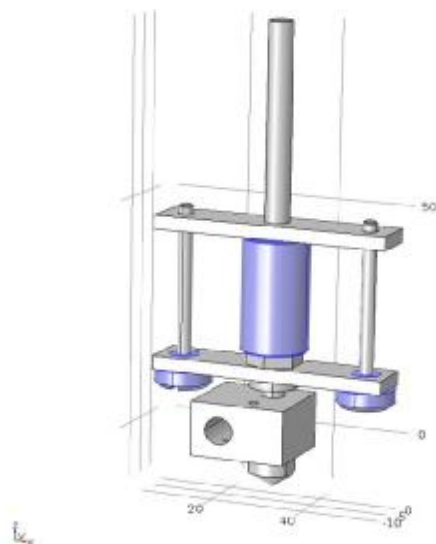


Рис. 2. Конструкція екструдера
(1 – трубка подачі філаменту; 2 – фторопласт;
3 – розташування датчика температури;
4 – блок нагрівання; 5 – розташування нагрівача;
6 – робоча головка)

Для вирішення поставленої задачі ми використовуємо метод кінцево-елементного моделювання.

Постановка задачі нестационарної теплопровідності

Диференціальне рівняння теплопровідності:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} + \rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q$$

Початкова температура $t_0 = 293 \text{ K} = 20^\circ\text{C}$.

Граничні умови включають конвекційний тепловий потік від природного обдування екструдера повітрям:

$$q_0 = h (T_{\text{ext}} - T),$$

де коефіцієнт конвекції

$$h = h_{\text{air}}(L, p_A, T_{\text{ext}})$$

і тепловий потік від нагрівача $P = 40 \text{ Вт}$ для розрахунку початкового нагріву екструдера або гранична умова першого роду – постійна температура нагрівача $t = 220^\circ\text{C}$.

Для високої точності розрахунку модель конструкції екструдера розбивається на кінцеві елементи (тетраедри). Після того як модель розбита на кінцеві елементи, починається процес обчислення за заданими умовами та значеннями.

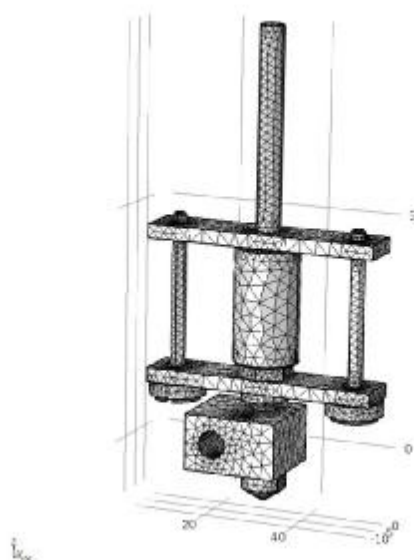


Рис. 3. Модель розбита на кінцеві елементи (тетраедри)

Після обчислення були отримані результати розрахунків у вигляді моделі передачі тепла в екструдері. На рис. 4, а показано, що потрібна температура $t = 220^\circ\text{C}$ підтриму-

ється саме в блоці нагрівання та соплі, тобто в нижній частині екструдера. Завдяки термобар'єру з фторопласту верхня частина екструдера не нагрівається до температури плавлення робочого матеріалу що запобігає утворенню «пробки» в трубці подачі філаменту. Ізотермічні поверхні, які показані на рис 4, б, демонструють ефективність дії термобар'єра.

Для того щоб визначити ефективність дії термобар'єра, а також точність підтримання температури в соплі, було досліджено зміну температури в чотирьох різних точках ек-

струдера (рис. 5), а саме: на соплі екструдера (рис. 5, а), на датчику вимірювання температури (рис. 5, б), на вході в блок нагрівання (рис. 5, в), в зоні подачі холодного філаменту (рис. 5, г).

На основі результатів дослідження температури в чотирьох точках екструдера для визначення ефективності дії термобар'єра було складено графіки залежності температури від часу. На рис. 6 показано, за який час температура в наших чотирьох точках досягне температури плавлення робочого матеріалу.

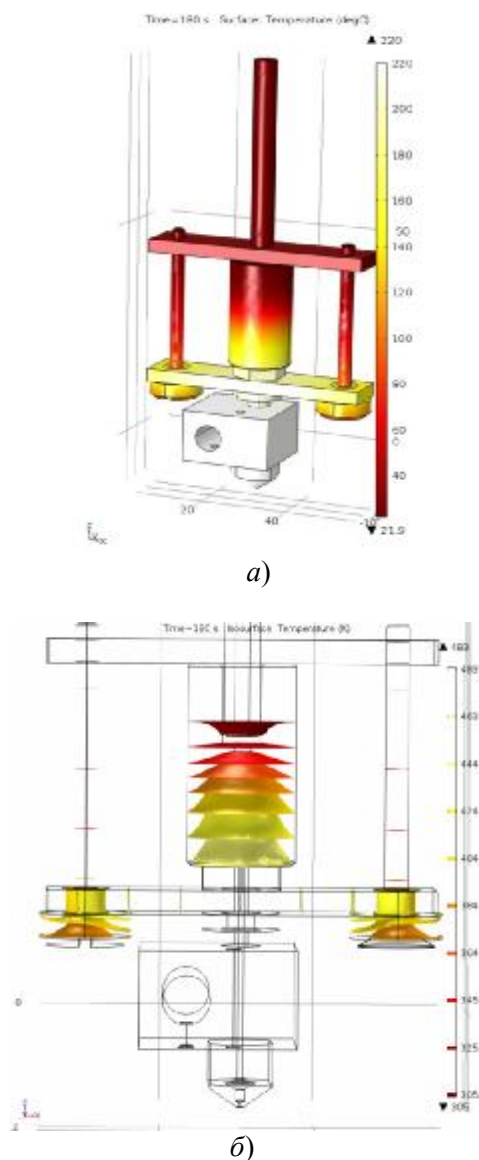


Рис. 4. Результат розрахунку побудованої моделі: умова підтримання постійної температури $t = 220^{\circ}\text{C}$:

- а) температурне поле,
- б) ізотермічні поверхні

Температура плавлення філаменту – 160-180°C, оптимальна температура для роботи з

філаментом – 220°C. На рис. 6 ми бачимо, що оптимальна температура була досягнута в точ-

ках сопла екструдера і датчика вимірювання температури, точка входження філаменту в блок нагрівання досягла температури плавлення, а в точці зони подачі холодного філаменту температура не піднялась до критичного значення, що б спричинило утворення «пробки».

На стадії підтримки постійної, оптимальної для роботи з робочим матеріалом температури ми бачимо, що в зоні подачі холодного філаменту підтримується безпечно для філаменту середовище (рис. 7), тобто пластик залишається в твердому стані.

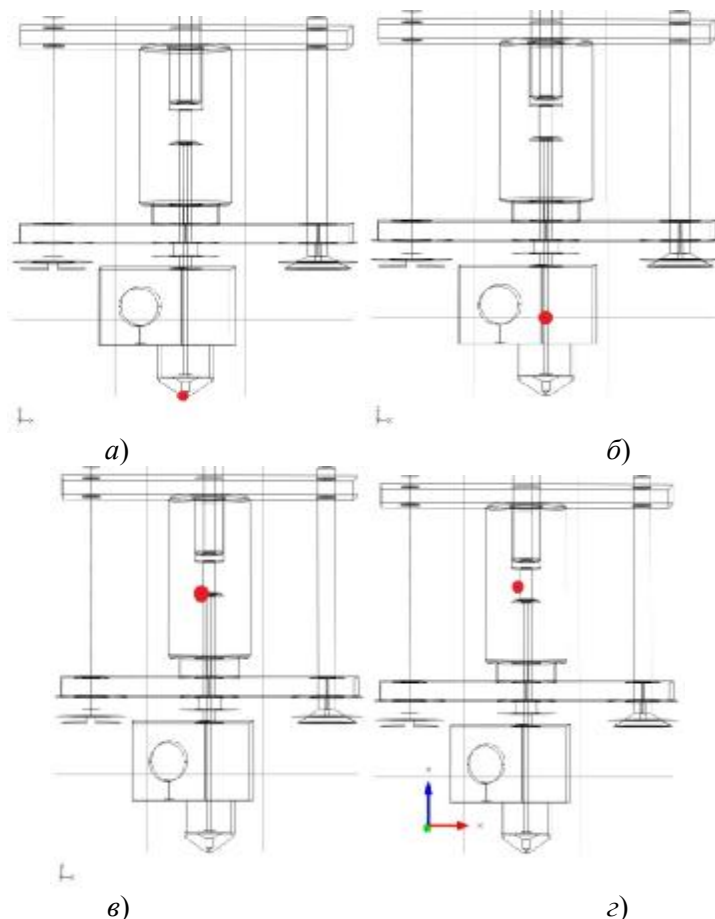


Рис. 5. Точки для визначення ефективності дії термобар'єра

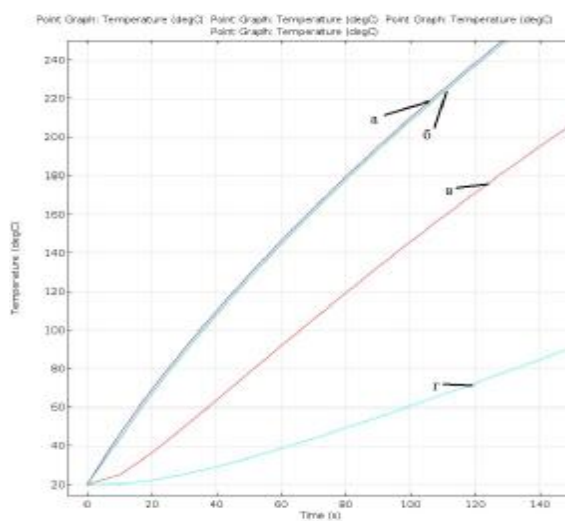


Рис. 6. Стадія нагрівання в чотирьох точках екструдера

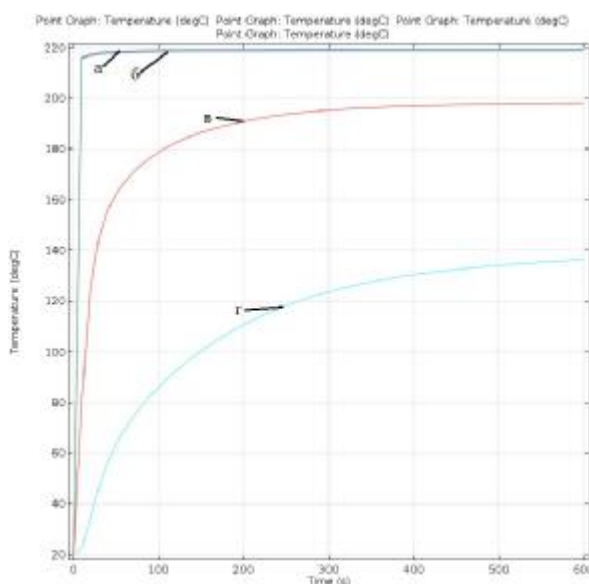


Рис. 7. Стадія підтримання оптимальної температури для роботи з філаментом

Висновки. В результаті дослідження було запропоновано конструкцію ефективного термобар'єра гарячої частини екструдера FDM 3D-принтера. Було проведено математичне моделювання теплової задачі методом скінченних елементів. В результаті моделювання було показано достатню ефективність запропонованої конструкції термобар'єра. Тривалість нагріву сопла для найбільш поширеного нагрівача потужністю 40 Вт для ABS пластика становить близько 100 с. В середній точці термобар'єра товщиною 2 мм температура склування для ABS пластика стабілізується приблизно за 400 с. За межами термобар'єра температура склування не досягається.

Список літератури

1. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez (2015) A review of additive manufacturing. 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Springer New York, 498 p.
2. Krisztián Kun (2016) Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology. *Procedia Engineering. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials (ICMEM)*, June 6-10, Nový Smokovec, Slovakia, Vol. 149, pp. 203–211.
3. Omar Ahmed Mohameda, Syed Hasan Masooda and Jahar Lal Bhowmikb (2016) Mathematical modeling and FDM process parameters optimization using response surface methodology based on Q-optimal design. *Applied Mathematical Modelling*, available online 9 July 2016.
4. Chohan, J. S., Singh, R. and Boparai, K. S. (2016) Parametric optimization of fused deposition modeling and vapour smoothing processes for surface finishing of biomedical implant replicas. *Measurement*, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.09.001>
5. Singh, J., Singh, R. and Singh, H. (2016) Repeatability of linear and radial dimension of ABS replicas fabricated by fused deposition modelling and chemical vapor smoothing process: A case study. *Measurement*, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.064>
6. Alhijaj, M., Belton, P. and Qi, S. (2016) An investigation into the use of polymer blends to improve the printability of and regulate drug release from pharmaceutical solid dispersions prepared via fused deposition modeling (FDM) 3D printing. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.08.016>
7. Jianlei Wanga, c, Hongmei Xiea, Zixiang Wenga, c, T. Senthila, Lixin Wu (2016) A novel approach to improve mechanical properties of parts fabricated by fused deposition modeling. *Materials & Design*, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.05.078>

8. Du, Jun, Wei, Zhengying, Wang, Xin, Wang, Jijie, Chen, Zhen (2016) An improved fused deposition modeling process for forming large-size thin-walled parts. *Journal of Materials Processing Technology*, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.04.005>
9. Turner, Brian N., Strong, Robert and Gold, Scott A. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*, available at: <http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-01-2013-0012>
10. Guo, N. and Leu, M. C. (2013) Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Front. Mech. Eng.*, 8: 215, available at: 10.1007/s11465-013-0248-8

M. P. Rud', *Ph.D., associate professor,*
e-mail: hochspannung77@gmail.com

O. O. Pohyl, *postgraduate student,*
e-mail: olegpokhyl@gmail.com

O. V. Lega, *undergraduate,*

S. P. Babenko, *undergraduate*

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

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF EXTRUDER THERMAL BARRIER FOR ADDITIVE MANUFACTURING DEVICES BY FDM TECHNOLOGY

Introduction. Fused deposition modeling (FDM) is the most used techniques of 3D printing. An extruder is the most important element of FDM 3D printer. The extruder is designed for the transportation and distribution of working material in processing zone. In the paper heating unit of 3D printer extruder is studied. A peculiarity of extruder heating unit consists in filament separation on cold and hot zones while minimizing the size of transition zone and maximizing the insulation of hot parts from other parts of the structure.

The purpose of scientific work is to identify the effectiveness of extruder thermal barrier for additive manufacturing devices by FDM technology.

Formulation of the problem. The transition zone between solid and liquid plastic states plays an important role in the extruder. Too large transition zone increases frictional forces between the filament and cylinder walls. On the other hand, the reduction of transition zone complicates the heating to plastic melting point and therefore reduces printing speed.

The main material. To solve this problem thermal barrier of insulating material has been installed. The main objective of developed model is to calculate thermal barrier structure, in which hot and cold parts of the extruder would be properly insulated, and to determine the time required for heating extruder nozzle to operating temperature. As a material for thermal insulation it is offered to use PTFE. Using finite element analysis, a mathematical model of the efficiency of thermal barrier of extruder heating unit is calculated.

Conclusions. It is shown that designed thermal barrier of extruder provides reliable thermal insulation and minimal transition zone. The efficiency of thermal barrier is confirmed experimentally. The duration of nozzle heating for the most common heater with the power of 40 W for ABS plastic is about 100 seconds. At the mid-point of thermal barrier 2 mm thick the glass transition temperature for ABS plastic is stabilized approximately during 400 seconds. Outside of thermal barrier the glass transition temperature is not achieved.

Keywords: 3D-printer, fused deposition modeling (FDM), extruder, finite element method.

Рецензенти: С. В. Заболотний, д.т.н., доцент,
В. Є. Снитюк, д.т.н., професор

I. M. Demchuk, postgraduate student,
e-mail: AnnaviAnnavi@yandex.ua

G. S. Stolyarenko, D.Sc., professor, the head of the department
of chemical technologies and water purification,
e-mail: htr@rambler.ru

N. I. Tupytska, master of the department
of chemical technologies and water purification,
e-mail: nat.tupitska@yandex.ru
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RECUPERATION OF BOUND NITROGEN BY PROCESSING INTO HYDRAZINE SULFATE IN INDUSTRIAL WASTEWATER

The work is aimed to reduce nitrogen-containing wastewaters of chemical plants by their utilization as secondary raw material.

The possibility to utilize contaminated water as secondary raw material not only reduces the value of production, but also saves water resources.

The objective of this project is to develop the method of recuperation of ammonia and urea as the main constituents of nitrogen-containing wastewater in mineral fertilizers manufacturing. In general, nitrogen-containing wastewater with ammonia concentration of 3–10 % and urea concentration of 1–5 % is desorbed and hydrolyzed. Desorption and hydrolysis are energy-intensive processes, as they are carried out at high temperatures and excessive pressure. The majority of wastewater after desorption and hydrolysis with urea mass concentration of max. 300 mg/dm³ and ammonia mass concentration of max. 100 mg/dm³ goes to advanced treatment at nitrification-denitrification installations. Nitrification-denitrification installations also require significant investments. Therefore the recuperation of wastewater is still important and the possibility of recuperation and reutilization of nitrogen-containing compounds might become a new phase of recovery technologies.

The synthesis of hydrazine as intermediate material in the production of hydrazine sulfate out a mixture of ammonia and urea has not been considered until now.

Keywords: nitrogen-containing water, ammonia, urea, hydrazine, hydrazine sulfate, utilization synthesis, research.

The work is aimed at reducing of nitrogen-containing runoffs of chemical plants, by using them as secondary raw materials.

The ability to use contaminated water as secondary raw material can not only reduce the cost of production, but also save water resources.

Typically, nitrogen-containing runoffs with ammonia concentration 3-10 % and urea 1-5 % are subjected to desorption and hydrolysis. Desorption and hydrolysis are energy-intensive processes, because they occur at high temperatures and under excess pressure. The main part of the wastewater after desorption and hydrolysis with urea mass concentration of less than 300 mg/dm³ and ammonia mass concentration

of less than 100 mg/dm³ comes to repurification to nitrification-denitrification installations (NDI). NDI installations also require significant investment [1–3]. That is why the theme of wastewater recuperation does not lose its relevance still and the opportunity of processing and return of nitrogen-containing compounds in production can become a new stage of the development of utilization technologies.

Mineral fertilizers plant, specifically urea production unit, has been taken as the research base. After the analysis of wastewater (Table 1) the possibility of its usage in the synthesis of hydrazine has been established [3].

Table 1

Quality parameters of ammonia water in urea production before desorption and hydrolysis stages, provided for experiments by urea production unit M-2 of JSC «Azot»

Parameter	CO(NH ₂) ₂ ,	NH ₃ ,	C ₂ H ₅ N ₃ O ₂ ,	Fe,	Cu,	Ni,	Cr
	%	%	%	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
Concentration	less than 2	less than 5.5	less than 0.5	less than 0.3	less than 0.002	less than 0.01	less than 0.02

The synthesis of hydrazine from a mixture of ammonia and urea has not been considered till now. Since wastewater (as a raw material) is used for the synthesis process, this kind of research is appropriate in three areas:

1. Cleaning of nitrogen-containing runoffs (until now the only way to clean urea-containing wastewater consists in hydrolysis and purification at NDI plants).

2. Improving of hydrazine synthesis as intermediate substance in the production of hydrazine sulfate and hydrazine.

3. Reducing of urea production expenses by 5–7% (depending on installation design and synthesis units performance) via eliminating the purification step of condensates of juice steam.

In Ukraine, till 2013 there was one production of hydrazine and its derivatives. Today, hydrazine and its derivatives market is entirely dependent on import [4]. The main importers of this substance in our country are the following: France, Germany, Japan («OTSUKA-MGC CHEMICAL COMPANY, INC», Osaka), South Korea, the United States («Arch Hydrazine») and China.

The main task at hydrazine synthesis is to stabilize formed hydrazine and withdraw it from the process, as it is a strong reducing agent. The presence of even small amounts of impurities (oxygen, metals and metal oxides, particularly copper) leads to immediate oxidation of hydrazine. This phenomenon is connected with the fact that between p-orbitals of nitric system (>N-N<) there is repulsion, which makes the N-N bond longer (1,40Å), than the sum of the radii of two

nitrogen atoms N≡N (0,53Å). In elementary nitrogen N₂ p-orbitals are mutually attracted, which further stabilizes the bond between atoms, so the system tends to the formation of nitrogen.

The synthesis temperature and reaction mixture temperature after hydrazine formation greatly influence on hydrazine stabilization [8]. Therefore, the temperature of hydrazine collapse at 50°C is 0.01% per day, at 100°C – 0.1% per day, at 250°C – 10% for 1 minute [9].

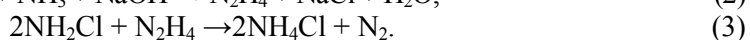
To prevent the process of hydrazine collapse and reduce its reactivity in the laboratory it is possible to acidify newly formed hydrazine with sulfuric acid at low temperatures without the access of air, that leads to the formation of hydrazine sulfate salt, which is volatile and has a lower reactivity [6, 7].

Due to the toxicity of hydrazine (applies to the first class of dangers, TLV in the air of working area = 0.1 mg/m³), the conduction of laboratory experiments is dangerous, therefore, the conduction of hydrazine sulfate release is determined after the formation of hydrazine sulphate salt [14, 15].

For laboratory researches of hydrazine sulfate synthesis guidelines for the implementation of research on "Utilization of bound nitrogen in industrial wastewater by processing in hydrazine sulfate" are developed.

The main methods of the synthesis of hydrazine as an intermediate product in the production of hydrazine sulfate and hydrazine itself, which are used in the industry, are listed below:

1. The synthesis of hydrazine by Raschig method from ammonia:



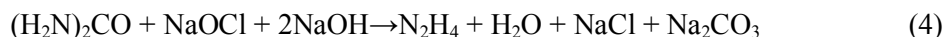
Hydrazine formation occurs through the oxidation of ammonia with sodium hypochlorite.

Chloramine is formed during the first phase. This reaction proceeds very quickly and can be ex-

pressed by equation (1). The reaction occurs at a temperature of 160 °C and a pressure of 2.5–3.0 MPa. Hydrazine synthesis is caused by the action of excess ammonia on chloramine according to equation (2). Reaction (2) proceeds slowly; it competes with reaction (3), which occurs, complicating the process. The reaction (3) pro-

ceeds much faster and is especially sensitive to impurities, that greatly reduces the output of hydrazine [5].

2. The synthesis of hydrazine by Hoffman method from urea by oxidation of carbamide (urea) with sodium hypochlorite:



3. The synthesis of hydrazine by the method of Eugene–Kuhlman from acetone, ammonia and hydrogen peroxide.

The reaction occurs in several stages. Acetone reacts with ammonia to form imine, which is oxidized by hydrogen peroxide with the formation of

3,3-dimethyloxapyridine, and then to azine, which forms a hydrazone with acetone, which hydrolyzes to hydrazine and acetone. The process goes at 50 °C and atmospheric pressure. The chemistry of the process is shown in Fig. 1.

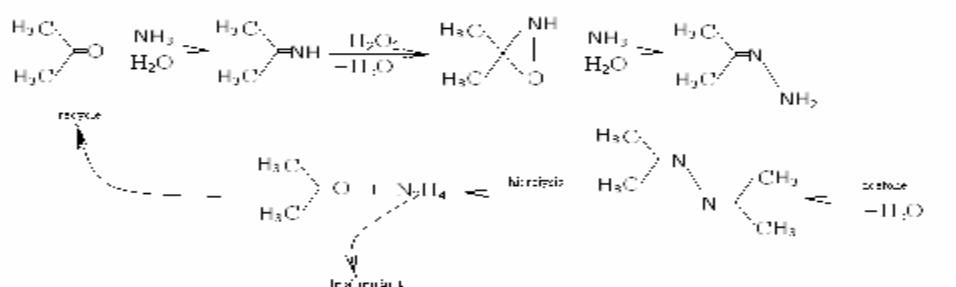


Fig. 1. The chemistry of Eugene-Kuhlman process

Techniques and methods of the synthesis of hydrazine and hydrazine sulfate, which are not implemented at industrial scale due to low profitability of these production methods, are listed below:

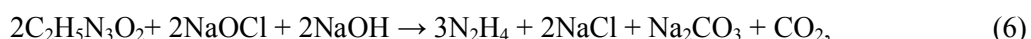
- the technology of hydrazine direct synthesis through nitrogen fixation, using two-photon absorptions by activating molecules of nitrogen and hydrogen on catalyst surface at the expense of discharge with the use of solid catalyst as the opposite electrode [10];
- the synthesis of hydrazine by Baer method from ammonia and hydrogen peroxide [11];
- direct synthesis of hydrazine sulfate from benzequinoxaline in the presence of dilute sulfuric acid [16].

As a raw material for this process nitrogen runoffs, mainly ammonia, urea, biuret; sodium hypochlorite; sodium hydroxide; gelatin; sulfuric acid are used.

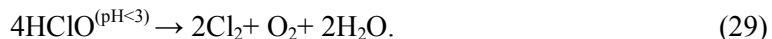
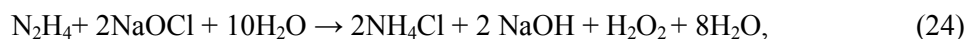
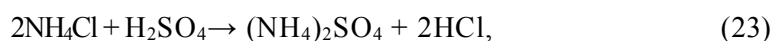
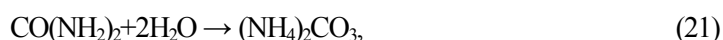
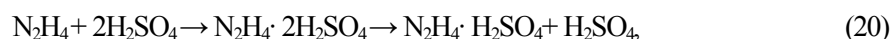
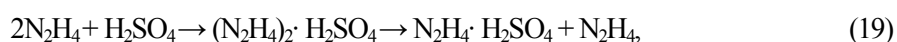
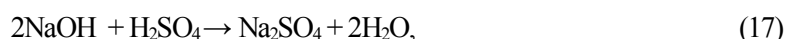
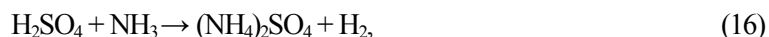
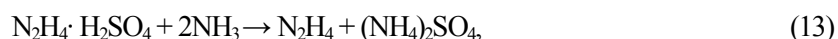
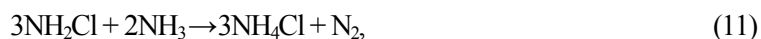
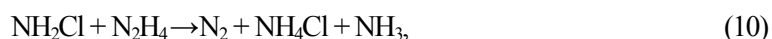
For the provided technology as a foundation Raschig and Hoffman method is taken. The syntheses, designed by Raschig and Hoffman, seem simple, if written as equations, but the implementation of these chemical processes is complex and power-intensive.

After the improvement and adaptation of the proposed methods of hydrazine synthesis as intermediate product in the production of hydrazine sulfate, for this work the chemism of synthesis process is developed, which is shown below:

a) the basic synthesis reactions:



b) adverse reactions of hydrazine sulfate synthesis:



The reaction between chloramine and hydrazine (10) is catalyzed by ions of certain metals, so without the use of inhibitors the formation of hydrazine practically will not occur. Also, to remove the run of adverse reaction (10), we create a slight excess of ammonia, that leads to the reaction (11), which is considerably faster than (10). To ensure optimum pH of the substance we use sodium hydroxide, which catalyzes the reaction (8). Ammonolysis reaction, expressed by the equation (13), requires a large excess of ammonia, that's why under these conditions the formation of ammonium sulphate according to the reaction (11) is not possible. The reaction (15), whose kinetics in these conditions has not been investigated, can also occur, but after a series of experimental studies the presence of ammonia in exhaust gases is established.

The excess of sulfuric acid provides the run of reactions (14) and (17), allowing to neutralize the balance of sodium hydroxide (reaction (17)) and sodium hypochlorite (reaction (14)). The decomposition of urea with sulfuric acid is limited by low temperature of the process, since

the reaction (18) is endothermic and because of the conditions of hydrazine sulfate synthesis (12-18 °C) runs slowly. Dyhydrazine sulfate, formed by the reaction (19), and hydrazine dysulfate (reaction (20)) are unstable, decomposing to form hydrazine sulfate, hydrazine and sulfuric acid, according to reactions equations, so they can be ignored. Since urea hydrolyzes to form ammonium carbonate very slowly, the equation (21), and, as a consequence, the equation (22) can also be ignored.

The main problem in the synthesis of hydrazine and hydrazine sulfate under this scheme consists in oxygen formation according to reactions (26) and (29), which oxidizes hydrazine with the formation of nitrogen, ammonia and water.

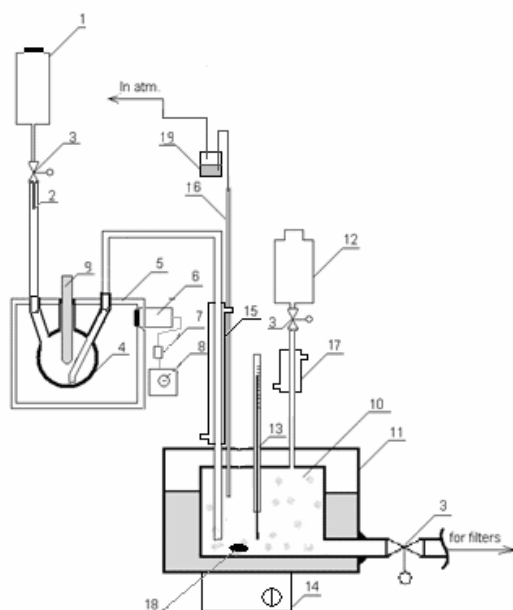
Before experimental testing a new model of hydrazine synthesis is developed (Fig. 2).

This flow-chart, through the use of alternative heat sources and conducting the process without ejectors and pumps, is less power-intensive. According to this technology it is possible to conduct continuous synthesis of intermediate hydrazine.

As a heating element of reaction mixture electromagnetic waves with the length from 1 mm to 1 m ($\nu > 300$ MHz) are used. High frequency radiation provides a non-contact heating of reaction mixture. In this process heating occurs not only because of heat transfer from the surface of heating element, but also throughout the volume of reaction mixture as it contains polar molecules. This phenomenon makes it possi-

ble to ensure even temperature distribution in reaction environment.

In this process temperature control of hydrazine synthesis is impossible for this scheme. As an alternative it is decided to measure the temperature of reaction mixture at the outlet of synthesis reactor. To do this, the thermogram of synthesis process (Fig. 3) is taken from heat vision TH 9100 NEC, which allows to measure the temperature of the wall of connective capillary tube.



1 – pressure tank with reaction mixture; 2 – flow meter; 3 – check valves;
4 – intermediate (hydrazine) synthesis reactor; 5 – protective capacity; 6 – magnetron; 7 – condenser;
8 – transformer; 9 – compensator of magnetic waves; 10 – hydrazine sulfate synthesis reactor;
11 – cooling capacity; 12 – pressure tank of sulfuric acid; 13 – thermometer; 14 – magnetic stirrer;
15, 17 – refrigerator; 16 – diverter tube; 18 – stirrer in a glass flask; 19 – water seal

Fig. 2. Flow-chart of laboratory installation of hydrazine sulfate synthesis

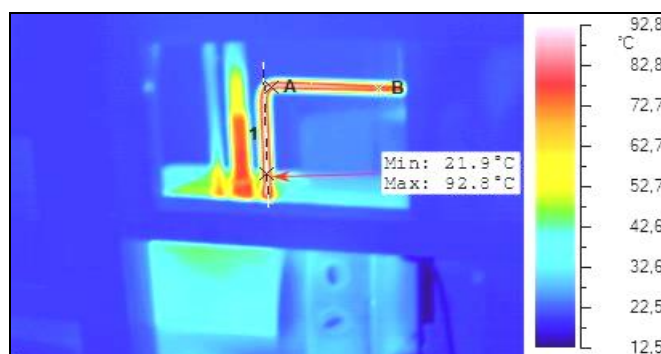


Fig. 3. The thermogram of the process of hydrazine sulphate synthesis

For further calculation of the temperature of hydrazine synthesis the dependence of the value

of specific heat flow (q , W/m $\cdot$ K) on the temperature of outlet wall tube is derived (Fig. 4).

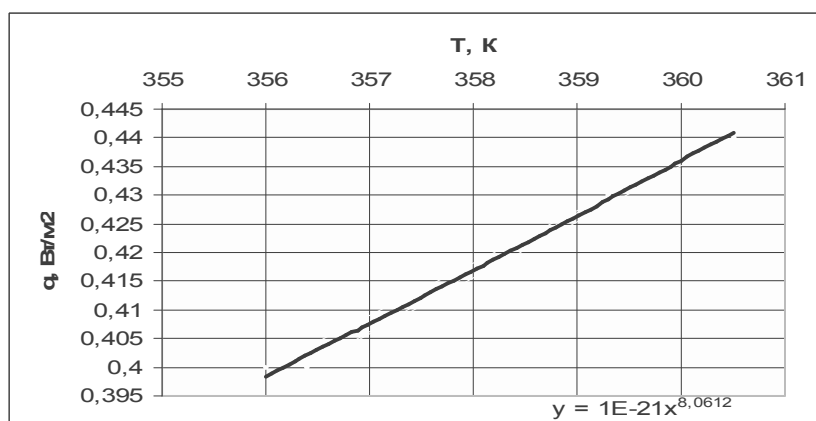


Fig. 4. The dependence of the value of current heat flow on outlet tube wall

Using Mathcad program (the system of computer algebra from the class of automated projecting systems), the algorithm for determining reaction mixture temperature with the following parameters of the process: wall thickness (in this laboratory installation $\delta = 0,002$ m), the coefficient of thermal conductivity of wall material, surface area of outlet wall, the coefficient of wall heat transfer, the coefficient of thermal conductivity of wall material (for this material $\lambda = 1.14$ W/m•K), the viscosity of reaction mixture and other parameters is established [12, 13].

Then, having determined specific heat flow q , we calculate approximate temperature of reaction mixture at the outlet of hydrazine synthesis reactor (T_R), measuring the temperature of outlet pipe wall of reaction mixture (T_w) according to the equation (30).

$$T_R = \frac{q \cdot \delta}{\lambda} + T_w, K \quad (30)$$

After the syntheses of hydrazine sulphate the following has been established:

- The outlet of hydrazine depends on molar ratio of input components of reaction mixture (NaOCl, NaOH) at constant composition of waste water ($C_{(CO(NH_2)_2)} = 0,5\%$, $C_{(S_2H_5N_3O_2)} = 0,06\%$, $C_{(NH_3)} = 4.15\%$, $C_{(CO_2)} = 3.5\%$).

- The degree of hydrazine collapse after the synthesis of hydrazine sulfate, which is 50-70%, depending on the temperature of hydrazine sulfate synthesis, sulfuric acid volume and the time of the synthesis, is established. This phenomenon confirms the occurrence of adverse reactions (14), (26), (29).

- A qualitative and quantitative analysis of hydrazine sulfate solution on the presence of ammonium ions is made. The complete absence of ammonium ions in the solution is established that allows to neglect the reactions (10), (11), (16), (18), (21) and, as a consequence, reactions (22), (23), (24) and (25).

- After hydrazine sulfate synthesis the intensification of gas phase release (residual CO_2 and Cl_2 formed by reactions (28) and (29)) is observed. Taking into account oxygen solubility in acidic environment in current circumstances (at 12-18 °C oxygen solubility in sulfuric acid is small and located within 0,001-0,02 mg/dm³) the gassing of the last one is also possible.

- Since the process of hydrazine stabilization with sulfuric acid is limited by hydrazine decomposition temperature, the presence of the reaction (26) is confirmed by the degree of hydrazine conversion in a hydrazine sulfate. The loss of hydrazine from the termination of the synthesis of intermediate product – hydrazine before the termination of the synthesis of hydrazine sulphate ranges from 50–70% depending on temperature control of the process of hydrazine sulfate synthesis.

- Non-reacted ammonia is released in gas phase, that is confirmed by the presence of the last one in the water from water seal, which serves as waste gas absorber of synthesis process.

- The scheme of hydrazine sulfate synthesis must be isolated until the end of intermediate product stabilization.

- The maximum output of hydrazine sulfate at optimal molar ratio of components is 3 g in 1 dm³ of urea production wastewater of sustainable composition.

The polarity of reaction mixture allows to use alternative power sources for reaction mixture heating. The design of hydrazine synthesis reactor allows to use less pressure in reaction zone, which is needed to intensify the synthesis of hydrazine from ammonia by Raschig's method, because electromagnetic waves accelerate the movement of molecules. It also increases the output of hydrazine from urea and biuret with low synthesis temperature. At hydrazine synthesis from urea by Hoffman's method at the beginning the reaction temperature should be at least 100 °C. This flow-sheet of hydrazine synthesis reduces energy cost by decreasing the temperature of hydrazine synthesis from urea. The symbiosis of the reactions of hydrazine synthesis from ammonia and urea increases the output of the final product and reduces the impact of adverse reactions (11), as evidenced by the absence of ammonium ions in hydrazine sulfate solution.

After the analysis of conducted research it is established that bound nitrogen utilization by processing it in hydrazine sulfate is technically possible.

References

1. Yakovlev, S. V., Prozorov, I. V., Ivanov, E. N. et al. (1991) Rational use of water resources. Moscow: Vyssh. shk., 400 p. [in Russian].
2. Gorlovskiy, D. M., Altshuler, L. N. and Kucheryavyy, V. I. (1981) Urea technology. L.: Khimiya, 320 p. [in Russian].
3. Temporary production regulations of urea production No. 59 (M-2 plant of JSC "Azot", Cherkasy) [in Russian].
4. The Agency of industrial news. Market research & business analytics. Nomenclature and classifications of products. Express analysis of the market "organic derivatives of hydrazine or hydroxylamine". Moscow, 2001–2016, available at: <http://www.apn-ua.com/dkpp/21584>. (Date of access: 18.02.2016) [in Russian].
5. Odritt, L. F. and Ogg, B. A. (1951) Hydrazine chemistry. New York, 237 p.
6. Ioffe, B. V., Kuznetsov, M. A. and Potekhin, A. A. (1978) Chemistry of hydrazine organic derivatives. L.: Khimiya, 224 p. [in Russian].
7. Grekov, A. P. (1966) Organic chemistry of hydrazine. L.: Tehnika, 235 p. [in Russian].
8. Overberger, Ch. J., Anselm, J.-P. and Lombardino, J. G. (1970) Organic compounds with related nitrogen-nitrogen. L.: Khimiya, 128 p. [in Russian].
9. Grekov, A. P. and Veselov, V. Ya. (1979) Physical chemistry of hydrazine. Kiev: Naukova dumka, 264 p. [in Russian].
10. Patent № 7118655 Direct synthesis of hydrazine through nitrogen fixation by means of two-photon absorptions. Takao Kondo, Kaoru Tsuyuki. Issue Date 10.10.2006.
11. Patent № 60077112 Direct synthesis of hydrazine and/or ammonia. Miyahara, Koshiro. 12.04.1985.
12. Malinin, K. M., Pesakov, I. L., Arkin, N. L. and Spinko, M. G. (1935) The technology of sulfuric acid and sulfur. Part One. Moscow: ONTI, 447 p. [in Russian].
13. Pavlov, C. F., Romankov, P. G. and Noskov, A. A. (1987) Examples and problems at the course of processes and apparatuses of chemical technology, 10th ed., revised and enlarged. L.: Khimiya, 576 p. [in Russian].
14. State standard 12.1.005-88. Maximum allowable concentrations of harmful emissions into the air of the working area, hazard class [in Russian].
15. State standard 12.1.007.76 Harmful substances. Classification and general safety requirements [in Russian].
16. Kolla, V. E., Berdysky, I. S. (1976) Chemistry and pharmacology of hydrazine derivatives. Yoshkar-Ola: Mar. kn. izd-vo, 264 p. [in Russian].

І. М. Демчук, аспірант,

e-mail: AnnaviAnnavi@yandex.ua

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,

завідувач кафедри хімічних технологій та водоочищення,

e-mail: htr@rambler.ru

Н. І. Тупицька, магістр кафедри хімічних технологій та водоочищення

Черкаський державний технологічний університет

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

УТИЛІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗАНОГО АЗОТУ ШЛЯХОМ ПЕРЕРОБКИ В ГІДРАЗИН СУЛЬФАТ У ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОДАХ

Робота спрямована на зменшення стоків виробництва карбаміду за рахунок використання азотовмісних сполук конденсатів виробництва карбаміду як вторинної сировини. Метою роботи стала розробка способу утилізації аміаку та карбаміду як одних із основних складових азотовмісних стоків виробництв мінеральних добрив.

Як правило, азотовмісні стоки з концентраціями аміаку 3–10 % та карбаміду 1–5 % піддають десорбції та гідролізу. Основна частина стічної води після десорбції та гідролізу з масовою концентрацією карбаміду, не більшою ніж 300 мг/дм³, і масовою концентрацією аміаку, не більшою ніж 100 мг/дм³, надходить на доочищення на установки нітри-денітрифікації. Розробка альтернативної утилізаційної технології сприятиме зменшенню собівартості карбаміду на 5–7 % (залежно від конструкції установки та продуктивності агрегатів синтезу) за рахунок ліквідації стадії очищення конденсатів сокової пари.

Утилізація зв'язаного азоту у виробничих водах відбувається шляхом використання останніх як сировини для синтезу гідразин сульфату. За рахунок широкого спектра використання та високої вартості цього продукту розробка нових технологій синтезу матиме великий попит на внутрішньому та зовнішньому ринках, а використання маловартісної сировини робить цю схему економічно рентабельною.

Синтез гідразину як напівпродукту у виробництві гідразин сульфату з суміші аміаку та карбаміду до сьогодні не було розглянуто.

Ключові слова: азотовмісні стічні води, аміак, карбамід, гідразин, гідразин сульфат, утилізація, синтез, дослідження.

Статтю представляє Г. С. Столяренко, д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічних технологій та водоочищення.

Ю. Г. Лега, д.т.н., професор,
головний редактор «Вісника Черкаського державного
технологічного університету. Серія: Технічні науки»

ДО 20-РІЧЧЯ «ВІСНИКА ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

Збірнику наукових праць «Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки» у грудні 2016 року виповнюється двадцять років. Видання було започатковано в 1996 році як «Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту». Перший випуск вийшов у трьох частинах і репрезентував увесь спектр наукових досліджень, що провадилися професорсько-викладацьким складом у навчальному закладі. «Вісник» створювався як багатопрофільний науково-технічний журнал відповідно до існуючих наукових шкіл.

Хочеться відзначити учених, що стояли біля витоків його створення – це члени редакційної колегії професори Валерій Дмитрович Акіншин, Валентин Іванович Биков, Микола Іванович Бушин, В'ячеслав Андрійович Вашенко, Валентин Іванович Діскант, Павло Архипович Донченко, Галина Миколаївна Дубровська, Артур Анатолійович Златкін, Юрій Олександрович Кочкарьов, Юрій Петрович Кунченко, Борис Пилипович Мінаєв, Іван Павлович Підласий, Святослав Петрович Поляков, Геннадій Степанович Столяренко, Анатолій Анастасійович Тимченко, Валерій Михайлович Шарапов, Володимир Тимофійович Шпак та інші шановані науковці. Досягнення наукових шкіл, створених цими вченими та їхніми учнями, є гідним здобутком національної науки.

Фахового статусу «Вісник ЧІТІ. Серія: Технічні науки» набув із вересня 2000 року відповідно до рішення ВАК України, що на той час було дуже актуально у зв'язку з відкриттям аспірантури, становленням молодих науковців і захистами дисертаційних досліджень.

Згодом, з квітня 2002 року, після перереєстрації, науково-технічний журнал став збірником наукових праць «Вісник Черкаського державного технологічного університету». «Вісник Черкаського державного технологічного університету» затверджений у фаховому статусі з технічних наук постановою ВАК України № 1-05/6 від

12.06.2002 р. і підтверджував цей статус у 2008 та 2015 роках.

Заснування «Вісника Черкаського інженерно-технологічного інституту» сприяло значному збільшенню кількості наукових праць, що публікувалися викладачами і співробітниками навчального закладу за результатами наукових розробок. Без перебільшення можна сказати, що функціонування фахового видання у ЧІТІ – ЧДТУ сприяло кадровому зміцненню і становленню університету, розширенню напрямів підготовки фахівців, ліцензуванню та акредитації спеціальностей і навчального закладу в цілому.

На сторінках «Вісника Черкаського інженерно-технологічного інституту – державного технологічного університету» були опубліковані значні наукові доробки таких наукових шкіл:

- «Розробка та дослідження телекомунікаційних систем з шумовими сигналами»;
- «Кібернетика, обчислювальна техніка та інформатика»;
- «Новітні озонні системи та природоохоронні комплекси, розробка приладів і технологій для очистки питної води»;
- «Високоєфективні процеси обробки матеріалів»;
- «П'єзоелектрична техніка і приладобудування» та ін.

Наші шановані професори виховали плеяду молодих науковців, що «розправляли крила» на сторінках часопису і нині становлять основу кадрового потенціалу ЧДТУ та провідних вишів країни.

У «Віснику» публікуються статті з актуальних наукових проблем інформаційних технологій і автоматизації, математичного моделювання, приладо- і машинобудування, будівництва, управління проектами, пожежної безпеки, охорони довкілля, хімічних технологій, екологічної безпеки, прикладної фізики, енергозбереження та інших технічних галузей. На сторінках часопису постійно йде обговорення сучасних напрямів вдосконалення

інженерної освіти в Україні, питань міжнародної співпраці на теренах освіти і технологій.

Щорічний обсяг публікацій – від 100 до 80 наукових статей. За цей час вийшло друком понад 1600 публікацій наших вчених, а також науковців із вузів-партнерів з України та з-за кордону. Керівництво університету всіляко підтримувало й підтримує імідж видання, сприяючи публікаціям співробітників.

Окремо хотілося б сказати про діяльність редколегії «Вісника» та науковців, що входять до її складу. Відповідальними редакторами «Вісника ЧІТІ-ЧДТУ» працювали свого часу професори Ю. П. Кунченко, Ю. М. Тесля, В. М. Шарاپов, С. М. Первунінський.

Засадами роботи редколегії від початку й донині є: толерантність наукової думки, коректність, конструктивна співпраця, колективна відповідальність за результат і персональна – за рекомендований матеріал, орієнтація на потреби розвитку кадрового потенціалу університету, доступність і постійний розвиток; використання досвіду провідних наукових видань України й світу.

Члени редколегії – провідні штатні та позаштатні вчені, чие ім'я, авторитет та значний науковий досвід дозволяють оперативно та високоякісно опрацьовувати матеріали статей, що подаються до збірника. Інтернаціоналізація наукових пошуків долучила до редколегії і наших авторів численних шанованих представників близького і далекого зарубіжжя в рамках спільних наукових конференцій і проектів.

Команда професіоналів – відповідальний секретар редакції І. Мельник та колектив редакційно-видавничого відділу – допомагає авторам дотримуватися редакційних вимог та формувати іміджеві переваги збірника серед подібних фахових видань.

Започаткування «Вісника Черкаського державного технологічного університету» дало поштовх до створення інших періодичних наукових видань нашого університету. Так, у 2001 році був створений

«Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки», в якому публікуються наукові здобутки, присвячені вивченню стратегічних питань розвитку економіки й актуальним проблемам сучасної економічної науки.

Всеукраїнський збірник наукових праць «Гуманітарний вісник» був заснований з ініціативи професора Валерія Кириловича Шпака (серія «Іноземна філологія»). Згодом виходили друком серії «Педагогіка», «Філософія». Серія «Історичні науки» (головний редактор – доктор історичних наук, професор Микола Іванович Бушин) також набула фахового статусу.

Нині редакційні колегії і головні редактори, з одного боку, зберігають традиції, а з другого, – постійно дбають про впровадження новачків згідно з вимогами часу. Фахові видання нашого університету презентують наукові здобутки як визнаних фахівців, так і молодих науковців. Це свідчить про наукове майбутнє України, потенціал та перспективи розвитку університету.

Приємно відзначити розширення наукової проблематики і звернення до світових досліджень, розміщення статей англійською мовою, що сприяє інтеграції науковців ЧДТУ до європейського науково-освітнього простору через видання, що входять до наукометричних баз. Оновлений формат видань дає можливість ознайомлюватися зі здобутками вчених університету закордонним колегам. Це, в свою чергу, веде до налагодження міжнародних зв'язків та, в цілому, до популяризації наших вчених серед світової наукової спільноти.

Ще раз хочу подякувати усім членам редколегії, науковцям, молодим вченим, студентам та аспірантам за копітку та наполегливу працю, спрямовану на розвиток вітчизняної науки, популяризацію наукових досліджень та підвищення іміджу університету. Запрошую науковців до співпраці на сторінках нашого видання на благо університету й національної науки!

Список літератури

1. Бушин М. І. Учені Черкаського державного технологічного університету / М. І. Бушин. – Черкаси : Вид-во Черкас. ЦНТЕІ, 2010. – 480 с.
2. Черкаський державний технологічний університет: 50 років. – Черкаси, ЧДТУ, 2010. – 210 с.
3. Лега Ю. Г. Шляхом до державного університету / Ю. Г. Лега, М. І. Бушин. – Черкаси : Вид-во Черкас. ЦНТЕІ, 2003. – 352 с.

ВІСНИК
Черкаського державного технологічного університету
СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ
4 • 2016

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu
SERIA: TEHNICHNI NAUKY
4 • 2016

Статті друкуються в авторській редакції

Технічний редактор Давиденко К. В.
Коректура Костенко Т. В.
Комп'ютерна обробка Вознюк Т. І.

Видавець і виготівник – Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
Поліграфічні послуги: ФОП Гордієнко Є.І.

Формат 60x84 1/8. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 14,4. Обл.-вид. арк. 15,8. Зам. № 17-010.