ЗМІСТ

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Заболотній С. В., Рудь М. П., Іващенко К. В. Моделювання послідовного оцінювання параметра зсуву асиметрично-розподілених випадкових величин методом максимізації полінома 5

Петрищев О. Н., Базило К. В. Математическое моделирование пьезоэлектрического трансформатора стержневого типа 11

Крайник Я. М., Перов В. О., Мусієнко М. П. Моделювання процесу декодування Turbo-Product-кодів засобами середовища ModelSim 21

Коваленко О. В. Математичні моделі технології тестування DOM XSS вразливості та вразливості до SQL ін'єкцій 29

Битько Н. М., Кузнецова О. В., Бойко В. В. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния бетонов при длительном центральном сжатии 37

АВТОМАТИЗАЦІЯ І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Шевченко В. А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий 46

Куцевол А. О., Лега Ю. Г., Гавриш О. С., Багрій М. О. Використання системи технічного зору для автоматизації сортування овочів/фруктів за розміром 56

Базіло К. В., Заїка В. М., Бондаренко Ю. Ю. Розробка системи знезараження ультразвукового хірургічного інструменту 63

Томенко М. Г., Корецька О. О. Використання консольних п'єзокерамічних ідентифікаторів у вібродіагностиці при визначенні аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв 68

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Кулик А. Я., Дідич В. М., Ревіна Т. Г., Боднар М. В. Адаптивна реєстрація і оброблювання сигналу електрокардіограми 73

Федоров Е. Е., Ярош И. В., Черняк Т. А. Метод пакетного обучения нейросети с задержкой во входном слое для комплексной диагностики состояния вентиляторной установки главного проветривания 80

Сотуленко О. О., Триус Ю. В. Проектування і створення системи підтримки дистанційного навчання працівників закладів охорони здоров'я на основі web і хмарних технологій 88

Миронюк Т. В., Чепеленко А. В. Вдосконалення методу компресії даних на основі коду Фібоначчі 94

Миронець І. В., Орловський В. В. Програмування засобів обробки інформації у хмарних сховищах на основі операційної системи ANDROID 101

Burmistrov S. V., Panasco O. M., Laitarov O. D. Modernization of self-movable fixing devices based on Vernam's cipher analogue 106

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Гурець Н. В. Управління проектом впровадження системи екологічного менеджменту у муніципальних утвореннях 112

Єгорченков О. В., Катаєва Є. Ю., Хлевна Ю. Л. Понятійний апарат управління портфелями проектів і програм в 4П-середовищі 119

CONTENTS

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

Zabolotnii S. V., Rud M. P., Ivashchenko K. V. Modeling of sequential estimation of bias parameter of asymmetric-distributed random variables using polynomial maximization method 5

Petrishchev O. N., Bazilo C. V. Mathematical modeling of rod type piezoelectric transformer 11

Krainyk Ya. M., Perov V. O., Musiyenko M. P. Modeling of Turbo-Product-codes decoding process using ModelSim environment 21

Kovalenko O. V. Mathematical models of the technology for testing DOM XSS vulnerability and SQL injections vulnerability 29

Bitko N. M., Kuznetsova O. V., Boiko V. V. Theoretical studies of stress-strain state of concrete under long-term central compression 37

AUTOMATION AND INSTRUMENT ENGINEERING

Shevchenko V. A. Optimization of power plant control on minimum fuel consumption taking into account weather conditions 46

Kutsevol A. O., Lega Yu. G., Havrysh O. S., Bagrii M. O. The use of a system of technical vision for automation of vegetables/fruits sorting by sizing 56

Bazilo C. V., Zaika V. M., ***Bondarenko Yu. Yu.*** Development of disinfection system of ultrasonic surgical instrument 63

Tomenko M. G., Koretska O. O. Use of console piezoceramic identifiers in vibrodiagnostics at the definition of emergency situations of potentially hazardous productions 68

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES

Kulyk A. Ya., Didych V. M., Revina T. G., Bodnar M. V. Electrocardiogram signal adaptive registration and processing 73

Fedorov E. E., Yarosh I. V., Cherniak T. A. Method of batch training of neural network with delay in input layer for integrated diagnostics of the state of fan installation of the main airing 80

Sotulenko O. O., Tryus Y. V. Design and development of a system of distance learning support for employees of health care institutions based on web and cloud technologies 88

Myronyuk T. V., Chepelenko A. V. Analysis and improvement of data compression method based on Fibonacci code 94

Myronets I. V., Orlovskyi V. V. Investigation of the features of programming of information processing methods in cloud storages based on the Android operating system 101

Burmistrov S. V., Panasco O. M., Laitarov O. D. Modernization of self-movable fixing devices based on Vernam's cipher analogue 106

PROJECT MANAGEMENT

Gurets N. V. Project management of implementation of environmental management system in municipal institutions 112

Yehorchenkov Ye. V., ***Kataieva Ye. Yu., Khlevna Yu. L.*** Conceptual apparatus of management by projects and programs portfolio in 4P-environment 119

pISSN 2306-4412 / eISSN 2306-4455

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія: Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р. **4/2018**

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.
Рудницький В. М., д.т.н., проф.
Сетлак Г., д.ф.н. (Польща)
Слатінеану Л., д.т.н., проф. (Румунія)
Снитюк В. Є., д.т.н., проф.
Столяренко Г. С., д.т.н., проф.
Тесля Ю. М., д.т.н., проф.
Тимченко А. А., д.т.н., проф.
Хоменко О. М., к.х.н., доц.
Мельник І. В. *(відповідальний секретар редакції)*

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ –
Черкаський державний технологічний університет
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 6061 від 16.04.2002 р.
Виходить 4 рази на рік

У випуску:

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
АВТОМАТИЗАЦІЯ І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ
ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Редакційна рада:
Григор О. О., Ланських Є. В., Фауре Е. В., Лазуренко В. М., Лега Ю. Г., Коломицева О. В., Стадник І. Ю.

Штатні наукові редактори:
Фауре Е. В., Лавданський А. О.
(Прогресивні інформаційні технології)
Ситник О. О., Протасов С. Ю.
(Математичне і комп'ютерне моделювання)
Гальченко В. Я., Бондаренко Ю. Ю.
(Автоматизація і приладобудування)
Прокопенко Т. О.
(Управління проектами)

Статті надійшли до редакції
з 15 вересня по 05 листопада 2018 року

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

4·2018

ВІСНИК
Черкаського державного технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY
4 • 2018

Затверджено науково-технічною радою Черкаського державного технологічного університету, протокол № 6 від 26.11.2018 р.

Видання включене до Переліку наукових фахових видань України як фахове видання з технічних наук (категорія «В»)

Видання зареєстровано в наукометричній базі ICI World of Journals (Index Copernicus).

Електронна версія:
visnyk.chdtu.edu.ua
vtn.chdtu.edu.ua
https://chdtu.edu.ua

pISSN 2306-4412 / eISSN 2306-4455

При повному або частковому передрукуванні матеріалів посилання на “Вісник Черкаського державного технологічного університету” є обов’язковим.

© “Вісник Черкаського державного технологічного університету”, № 4, 2018
© Автори випуску, 2018

УДК 519.2

С. В. Заболотній, *д.т.н., доцент,*
М. П. Рудь, *к.т.н., доцент,*
К. В. Іващенко, *аспірант*
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна
e-mail: s.zabolotnii@chdtu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛІДОВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРА ЗСУВУ АСИМЕТРИЧНО-РОЗПОДІЛЕНИХ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН МЕТОДОМ МАКСИМІЗАЦІЇ ПОЛІНОМА

У статті досліджується новий алгоритм послідовного оцінювання параметра зсуву негаусових асиметрично-розподілених випадкових величин, який базується на методі максимізації полінома та моментно-кумулянтному описі. Отримано аналітичні вирази для знаходження послідовних оцінок при другому степені полінома. Шляхом статистичних випробувань методом Монте-Карло проведено порівняльний аналіз ефективності поліноміальних послідовних оцінок з відомими лінійними оцінками.

Ключові слова: *послідовне оцінювання, параметр зсуву, асиметричний розподіл, стохастичні поліноми, кумулянтні коефіцієнти.*

Вступ. Послідовний статистичний аналіз є спеціальним розділом математичної статистики, основною специфікою постановки задач якого є те, що рішення приймаються не на основі опрацювання вибірок фіксованого обсягу, а шляхом формування статистик із даних, що надходять у ході експерименту. Теоретичний базис підходів до вирішення задач послідовного аналізу був закладений у роботах Вальда ще у середині минулого століття [1]. Відомо, що послідовні методи надають більшу гнучкість при проведенні статистичного експерименту і, з точки зору середнього обсягу спостережень, у багатьох ситуаціях є значно ефективнішими, ніж традиційні статистичні процедури, Ще однією позитивною властивістю послідовного аналізу є можливість застосування ефективних (з обчислювальної точки зору) рекурентних алгоритмів при формуванні результуючих статистик.

У цьому дослідженні розглядається задача оцінювання параметра зсуву асиметричного розподілу, яку також можна трактувати як визначення величини постійної складової за умови наявності адитивних випадкових похибок вимірювання. Відомо [2], що існує декілька підходів до вирішення такої задачі. Найбільш оптимальним (за критерієм точності) є використання методу максимальної правдоподібності. Проте його застосування вимагає наявності апріорної інформації про вигляд закону розподілу статистичних даних та часто призводить до достатньо складних обчислювальних алгоритмів. Дуже поширеним є робастний підхід [3], який базується на порядкових або рангових статистиках, але його послідовна реалізація також характеризується суттєвими обчислювальними затратами. Тому на практиці найчастіше використовують звичайну статистику у вигляді середнього арифметичного, для послідовного обчислення якої існує проста рекурентна модифікація [4]. Основним недоліком такого підходу є те, що дисперсії оцінки середнього арифметичного можуть суттєво перевищувати ефективні значення при відмінності розподілу статистичних даних від гаусової моделі.

Одним із альтернативних підходів до статистичного оцінювання є метод максимізації полінома (ММПл) [5]. Цей відносно новий метод базується на ймовірнісному описі у вигляді статистик вищих порядків (моментів або кумулянтів). У роботах [6–8] досліджено властивості та проаналізовано ефективність ММПл-оцінок параметра зсуву симетричних та асиметричних розподілів. Показано, що застосування ММПл при негаусовому характері статистичних даних дозволяє зменшувати дисперсію оцінок шуканого параметра на основі урахування значень статистик вищих порядків.

Метою роботи є застосування статистичного моделювання для доведення ефективності алгоритму послідовного оцінювання параметра зсуву негаусових асиметрично-розподілених

випадкових послідовностей, що базується на застосуванні ММПл при степені $r=2$.

Математична постановка задачі послідовного оцінювання. Нехай спостерігається випадкова послідовність $x_1, x_2, ...x_n, ...$, кожний елемент якої являє собою однаково розподілене та статистично незалежне вибіркове значення, що описується моделлю

$$\xi = \theta + \eta, \qquad (1)$$

де $\theta = \text{const}$, η – центрована (із нульовим математичним сподіванням) асиметрично-розподілена випадкова величина, ймовірнісний характер якої описується, дисперсією (кумулянтом другого порядку) κ_2 і кумулянтними коефіцієнтами асиметрії γ_3 та ексцесу γ_4.

Загальна задача полягає у формуванні послідовних оцінок параметра зсуву $\hat{\theta}_n$, які б враховували ймовірнісний характер стохастичної складової моделі (1).

Методи послідовного оцінювання

1. Знаходження послідовних лінійних оцінок параметра зсуву. Початково розглянемо класичне розв'язання поставленої задачі із використанням лінійної оцінки шуканого параметра (для фіксованого обсягу вибірки) у вигляді середнього арифметичного:

$$\hat{\theta} = \overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu. \qquad (2)$$

Очевидно, що безпосереднє використання статистики (2) для отримання послідовних оцінок є затратним (з точки зору обчислювальних ресурсів), оскільки на кожному n-му кроці потребує n операцій додавання та збереження в пам'яті $n-1$ попередніх вибіркових значень x_ν, $\nu = \overrightarrow{1, n-1}$. Тому для отримання послідовного варіанта лінійних оцінок (2) зазвичай використовують відоме [4, с. 128] рекурентне співвідношення виду

$$\hat{\theta}_n = \frac{n-1}{n}\overline{X}_{n-1} + \frac{x_n}{n} = \frac{n-1}{n}\hat{\theta}_{n-1} + \frac{x_n}{n}, \qquad (3)$$

що дозволяє уточнювати оцінку шуканого параметра, здійснюючи лише одну операцію додавання і зберігаючи лише одне (попереднє) оцінне значення $\hat{\theta}_{n-1}$.

2. Знаходження послідовних ММПл-оцінок параметра зсуву. На основі [5–7] відомо, що лінійна оцінка (2) є частковим випадком ММПл-оцінок параметра зсуву при застосуванні степені полінома $r=1$. Основною перевагою такої оцінки є простота, але спосіб її формування не враховує ймовірнісного характеру стохастичної складової моделі (1) випадкових величин.

При застосуванні степені полінома $r=2$ ММПл-оцінки шуканого параметра в загальному випадку можуть бути знайдені із вирішення стохастичного рівняння виду [5]

$$h_1\left[\frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu - \theta\right] + h_2\left[\frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu^2 - \left(\theta^2 + \kappa_2\right)\right]\Bigg|_{\theta=\hat{\theta}} = 0, \qquad (4)$$

де оптимальні коефіцієнти, що знаходяться за умови забезпечення мінімуму дисперсії оцінок параметра θ, можна записати у вигляді

$$h_1 = 2\theta\gamma_3 + \kappa_2^{1/2}\left(2+\gamma_4\right),\ h_2 = -\gamma_3.$$

Характерною особливістю ММПл є те, що алгоритми пошуку оцінок зводяться до вирішення степеневих рівнянь відносно параметра, що оцінюється. У цьому випадку рівняння (4) зводиться до квадратичного і має аналітичний розв'язок, що дозволяє отримувати незміщену ММПл-оцінку шуканого параметра у вигляді [5]

$$\hat{\theta}^{(2)} = \frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu + \kappa_2^{1/2}\frac{2+\gamma_4}{\gamma_3}\left[\frac{n-1}{n}\kappa_2 - \frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n}\left(x_\nu\right)^2 + \left(\frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu\right)^2\right]. \qquad (5)$$

Аналіз виразу (5) свідчить, що для отримання ММПл-оцінки при степені $r=2$, окрім лінійної статистики виду (2), додатково необхідним є обчислення квадратичної статистики $\overline{X^2} = \frac{1}{n}\sum_{\nu=1}^{n}\left(x_\nu\right)^2$, послідовний варіант формування якої також може бути отримано на основі рекурентного співвідношення, аналогічного до (3), тобто:

$$\overline{X^2}_n = \frac{n-1}{n}\overline{X^2}_{n-1} + \frac{\left(x_n\right)^2}{n}.$$

Таким чином, вираз для формування послідовної ММПл-оцінки (при $r=2$) може бути записано у формі:

$$\hat{\theta}_n^{(2)} = \frac{n-1}{n}\overline{X}_{n-1} + \frac{x_n}{n} + \kappa_2^{1/2}\frac{2+\gamma_4}{\gamma_3}\times \left[\frac{n-1}{n}\left(\kappa_2 - \overline{X^2}_{n-1}\right) + \frac{\left(x_n\right)^2}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\overline{X}_{n-1} + \frac{x_n}{n}\right)^2\right]. \qquad (6)$$

На рис. 1 зображено модельний приклад послідовного оцінювання параметра зсуву

(при істинному значенні $\theta = 1$). Ступінь негаусового характеру моделі стохастичної складової випадкової послідовності x_n (рис. 1, *а*) визначається кумулянтними коефіцієнтами асиметрії $\gamma_3 = 1.4$ і ексцесу $\gamma_3 = 3$. На рис. 1, *б* зображено динаміку залежності послідовних оцінок параметра, що формуються на основі виразів (3) та (6), від кількості отриманих даних n.

Аналіз рис. 1 підтверджує працездатність алгоритмів послідовного оцінювання параметра зсуву, тому що зі зростанням довжини послідовності n величини оцінних значень θ_n наближаються до істинного значення цього параметра. І хоча графіки, зображені на рис. 1, *б*, свідчать про потенційну перевагу (у швидкості збіжності до істинного значення) поліноміальної (при $r = 2$) ММПл-оцінки (6) порівняно з лінійною оцінкою (3), проте ці залежності є результатом однократного експерименту, що не дозволяє оцінити у цілому ступінь їх ефективності.

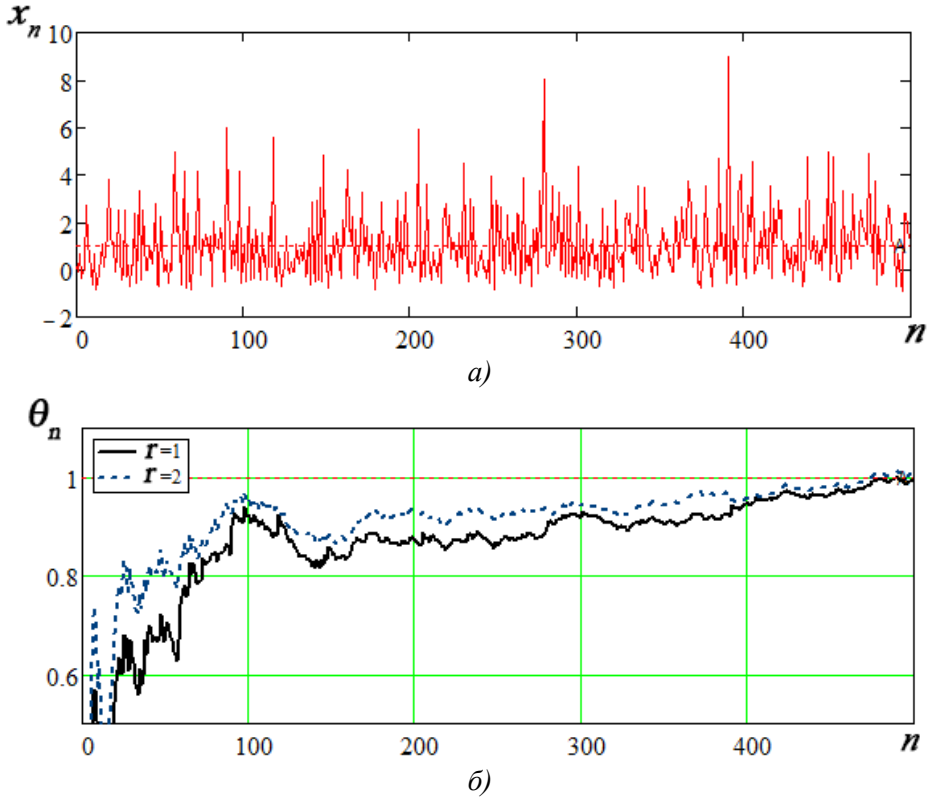


Рис. 1. Послідовне оцінювання параметра зсуву асиметричної випадкової величини:
а) вхідна послідовність вибіркових значень; б) значення послідовних оцінок параметра зсуву

Аналіз ефективності послідовних оцінок. Відомо, що для оцінок параметрів, які отримуються із вибірок фіксованого обсягу, основним критерієм точності є їх ступінь невизначеності, що чисельно визначається середньоквадратичним відхиленням (СКВ) від істинного значення параметра або дисперсією оцінки, яка є квадратичною функцією від СКВ. В роботі [5] показано, що співвідношення дисперсії оцінок (5) та (2) асимптотично (при $n \to \infty$) описуються виразом

$$\sigma^2_{\theta(r=2)} = \frac{\kappa_2}{n}\left[1 - \frac{\gamma_3^2}{2+\gamma_4}\right] = \sigma^2_{\theta(r=1)}\left[1 - \frac{\gamma_3^2}{2+\gamma_4}\right]. \quad (7)$$

Таким чином коефіцієнт зменшення дисперсії

$$g_2 = \sigma^2_{\theta(r=2)} \Big/ \sigma^2_{\theta(r=1)} = 1 - \frac{\gamma_3^2}{2+\gamma_4} \quad (8)$$

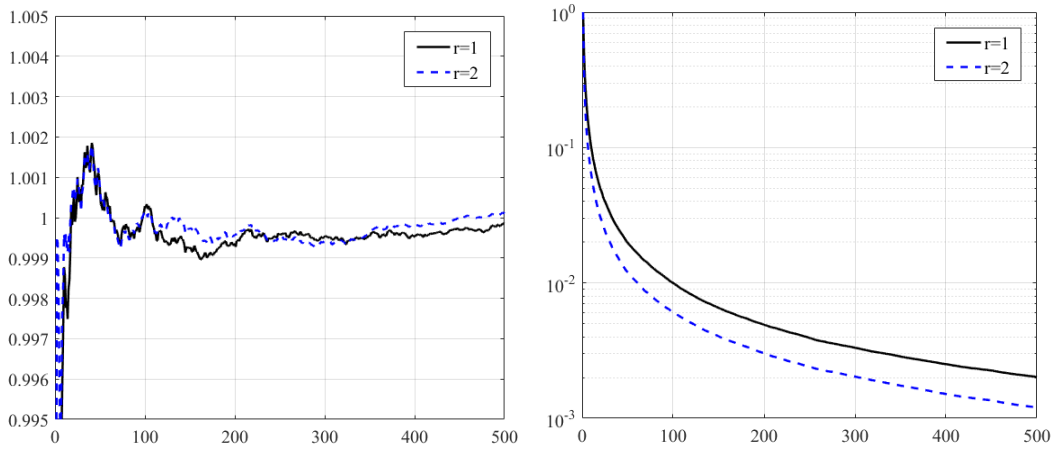
залежить лише від ступеня негаусовості (значень кумулянтних коефіцієнтів асиметрії та ексцесу) випадкових послідовностей і, як відомо, належить діапазону $(0;1]$.

Як вже було зазначено вище, результати однократних експериментів, приклад яких наведено на рис. 1, не дозволяють адекватно порівнювати точність різних алгоритмів послідовного оцінювання. Для порівняння можуть бути використані лише статистики, що

отримуються шляхом багаторазових експериментів з однаковими вихідними значеннями параметрів моделі (метод Монте-Карло).

На підставі отриманих результатів в програмному середовищі MATLAB розроблено набір *m*-функцій, що реалізують статистичне моделювання роботи алгоритмів лінійного та поліноміального послідовного оцінювання параметра зсуву негаусових випадкових величин з різними типами розподілів (експоненціальним, гамма, логнормальним, Вейбула, бігаусовим).

На рис. 2 зображено один із прикладів результатів статистичного моделювання методом Монте-Карло. У цьому прикладі здійснюється послідовне оцінювання параметра зсуву $\theta = 1$ асиметрично-розподіленої випадкової величини, ймовірнісні властивості моделі якої задаються кумулянтними коефіцієнтами асиметрії $\gamma_3 = 1.4$ і ексцесу $\gamma_3 = 3$. В такій ситуації застосування ММПл при степені полінома $r = 2$ відповідно до (8) теоретично забезпечує асимптотичне (зі зростанням довжини вхідної послідовності) зменшення дисперсії оцінок (порівняно з лінійною статистикою) на коефіцієнт $g_2 = 0.6$.



а) *б)*

Рис. 2. Усереднені залежності статистичних характеристик послідовного оцінювання параметра зсуву асиметричної випадкової величини:
а) середні значення оцінок; б) дисперсії оцінок

Аналіз зображених на рис. 2 усереднених (за результатами 10^5 експериментів) статистичних характеристик послідовних оцінок параметра θ підтверджує теоретично передбачену ефективність застосування ММПл. Зокрема, графіки динаміки характеристик на рис. 2, *б* свідчать, що, наприклад, для досягнення рівня зменшення дисперсії до 10^{-2} ММПл-оцінкам необхідно у середньому на 40 % меншу кількість вимірювань ($n = 60$ вибіркових значень для $r = 2$ порівняно з $n = 100$ для лінійних оцінок при $r = 1$). Ці експериментальні результати відповідають теоретично розрахованим величинам коефіцієнта зменшення дисперсії (8). Характер залежності змін середніх значень послідовних оцінок, зображений на рис. 2, *а*, для обох алгоритмів фактично не відрізняється і підтверджує тезу про їх асимптотичну незміщеність.

Висновки. Сукупність отриманих результатів моделювання послідовного оцінювання параметра зсуву випадкових величин у цілому підтверджує ефективність застосування методу максимізації полінома та моментно-кумулянтного опису для випадку, коли розподіл статистичних даних має негаусовий характер.

Застосування подібних алгоритмів забезпечить суттєве зменшення часу на прийняття рішень при діагностиці стану технічних систем і технологічних процесів.

Одним із подальших завдань для проведення досліджень у цьому напрямку є аналіз ефективності застосування чисельних ітераційних процедур, що призначені для спрощення алгоритмів формування послідовних оцінок.

Список літератури

1. Вальд А. Последовательный анализ. Москва: Физматлит, 1960. 328 с.
2. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Основы

моделирования и первичная обработка данных: справ. изд. Москва: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
3. Хьюбер П. Робастность в статистике. Москва: Мир, 1984. 304 с.
4. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2 т. Москва: Мир, 1983. Т. 1. 312 с.
5. Кунченко Ю. П., Лега Ю. Г. Оценка параметров случайных величин методом максимизации полинома. Киев: Наукова думка, 1991. 180 с.
6. Warsza Z. L., Zabolotnii S. W. A polynomial estimation of measurand parameters for samples of non-Gaussian symmetrically distributed data. *Automation 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 550. Cham: Springer International Publishing, 2017. P. 468–480.
7. Warsza Z. L., Zabolotnii S. W. Estimation of measurand parameters for data from asymmetric distributions by polynomial maximization method. *Automation 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 743. Cham: Springer International Publishing, 2018. P. 746–757.
8. Warsza Z. L., Zabolotnii S. W. Polynomial estimation of the measurand parameters for samples from non-Gaussian distributions based on higher order statistics. *Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XI.* WORLD SCIENTIFIC, 2018. P. 383–400.

References

1. Val'd, A. (1960) Sequential analysis. Moscow: Fizmatlit, 328 p. [in Russian].
2. Ajvazyan, S. A. Enyukov, I. S., Meshalkin, L. D. (1983) Applied statistics: Basics of modeling and primary data processing: reference book. Moscow: Finansy i statistika, 471 p. [in Russian].
3. Xyuber, P. (1984) Robustness in statistics. Moscow: Mir, 304 p. [in Russian].
4. Maks, Zh. (1983) Methods and techniques for signal processing in physical measurements: in 2 vol. Moscow: Mir. T. 1, 312 p. [in Russian].
5. Kunchenko, Yu. P., Lega, Yu. G. (1991) Estimation of random variables parameters by the method of polynomial maximization. Kiev: Naukova dumka, 180 p. [in Russian].
6. Warsza, Z. L., Zabolotnii, S. W. (2017) A polynomial estimation of measurand parameters for samples of non-Gaussian symmetrically distributed data. *Automation 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 550. Cham: Springer International Publishing, pp. 468–480.
7. Warsza, Z. L., Zabolotnii, S. W. (2018) Estimation of measurand parameters for data from asymmetric distributions by polynomial maximization method. *Automation 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 743. Cham: Springer International Publishing, pp. 746–757.
8. Warsza, Z. L., Zabolotnii, S. W. (2018) Polynomial estimation of the measurand parameters for samples from non-Gaussian distributions based on higher order statistics. *Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XI.* WORLD SCIENTIFIC, pp. 383–400.

S. V. Zabolotnii, *Dr.Tech.Sc, associate professor,*
M. P. Rud, *PhD,*
K. V. Ivashchenko, *PhD student*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: s.zabolotnii@chdtu.edu.ua

MODELING OF SEQUENTIAL ESTIMATION OF BIAS PARAMETER OF ASYMMETRIC-DISTRIBUTED RANDOM VARIABLES USING POLYNOMIAL MAXIMIZATION METHOD

An original approach to finding sequential estimates of the parameter of bias of non-Gaussian asymmetric-distributed random variables is investigated in the paper. The polynomial maximization method (PlMM), which is based on the mathematical apparatus of stochastic Kunchchenko polyno-

mials and a partial description of random variables by higher order statistics (moments or cumulants) is the basis of this approach. The classic approach to solving a posed problem, which is based on simple linear recurrent statistics, that does not take into account the peculiarities of probabilistic data distribution and is optimal only for Gaussian model, is analyzed. Analytical expressions for finding the estimates by polynomial maximization method at the second degree polynomial are obtained. A comparative analysis of the efficiency on the basis of the criterion of the magnitude of asymptotic dispersion of the estimates of various methods parameters is performed. It is shown that theoretical value of the coefficient of the reduction of PlMM-estimates dispersion (in comparison with linear estimates) depends on the magnitude of cumulative coefficients of asymmetry and excess of statistical data. On the basis of the received results, in MATLAB software environment a set of m-functions that realize statistical modeling by Monte-Carlo method of linear and polynomial sequential grading algorithms for the parameter of bias of non-Gaussian random variables with different types of distributions (exponential, gamma, lognormal, Weibull, double-Gaussian ones) is developed. The combination of the obtained results shows that the application of the proposed approach can provide a significant reduction in the time to make decisions when diagnosing the state of technical systems and technological processes.

Keywords: *sequential estimation, bias parameter, asymmetric distribution, stochastic polynomials, cumulative coefficients.*

УДК 621.373.826.032:534.232.082.73

О. Н. Петрищев[1], *д.т.н., профессор*,
К. В. Базило[2], *к.т.н., доцент*
[1]Государственное предприятие «Киевский государственный
научно-исследовательский институт гидроприборов»
[2]Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, Черкассы, 18006, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТЕРЖНЕВОГО ТИПА

Актуальность применения различных функциональных элементов пьезоэлектроники в силовых и информационных системах объясняется, прежде всего, их высокой надежностью, а также малыми габаритами и весом, что в значительной мере облегчает решение проблемы миниатюризации таких систем.

Основной целью данной статьи является построение математической модели пьезоэлектрического трансформатора стержневого типа.

Ключевые слова: *пьезоэлектрический стержневой элемент, физические процессы, математическая модель.*

Введение. Известно, что при динамическом деформировании упругого объекта различные участки его поверхности совершают колебания с различными амплитудами. Образуются области, которые называются узлами, в которых амплитуда колебаний материальных частиц поверхности деформируемого твердого тела принимает минимальные значения. Вместе с этим на поверхности колеблющегося объекта можно найти участки, где амплитуда колебаний принимает максимальные значения. Участки локальных максимумов амплитуд колебаний материальных частиц поверхности деформируемого твердого тела называются пучностями. Очевидно, что упругие деформации в узловых областях имеют существенно меньшие значения по сравнению с деформациями в пучностях. Если материал упругого объекта обладает пьезоэлектрическими свойствами, то поляризационные заряды, которые формируются в узлах и пучностях вследствие проявления прямого пьезоэлектрического эффекта, будут в значительной мере отличаться друг от друга по величине. Этот, в достаточной степени очевидный, факт используется при построении пьезоэлектрических трансформаторов. Если электрод вторичной электрической цепи разместить в области существования пучности, то на нагрузочном сопротивлении можно ожидать достаточно большое падение электрического напряжения. Естественно, что при размещении электрода в узловой области, следует ожидать существенного уменьшения выходной разности электрических потенциалов на нагрузочном сопротивлении во вторичной электрической цепи трансформатора.

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

Построению и исследованию математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов посвящено немало публикаций. Начиная с монографии [2], основы расчета передаточных характеристик пьезоэлектрических трансформаторов рассматривались, например, в работах [3–6]. Однако рассмотренные работы не объединены каким-либо системным подходом, имеют характер разрозненных эпизодов, на основании чего можно утверждать, что в настоящее время существует потребность в создании целостной методики построения математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов, которая могла бы использоваться в качестве теоретической основы расчета их характеристик и параметров.

Таким образом, актуальность разработки физически содержательных математиче-

ских моделей пьезоэлектрических трансформаторов сохраняется и в настоящее время.

Целью данной работы является построение математической модели пьезоэлектрического трансформатора стержневого типа.

Для того, чтобы показать основные особенности математического моделирования пьезоэлектрических трансформаторов, рассмотрим простейшую конструкцию трансформатора, которая изображена на рис. 1. Призматический стержень длиной L с прямоугольным поперечным сечением размером $\alpha \times b$ изготовлен из поляризованной вдоль оси Ox_3 пьезокерамики типа ЦТС (цирконат титанат свинца). Нижняя поверхность $x_3 = 0$ стержня электродирована и заземлена. На верхней поверхности $x_3 = \alpha$ расположены два электрода (позиции 1 и 2 на рис. 1), которые образуют первичную и вторичную электрические цепи пьезоэлектрического трансформатора. Первичная цепь состоит из источника разности электрических потенциалов $U_1 e^{i\omega t}$ (U_1 – амплитудное значение разности электрических потенциалов; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; ω – круговая частота смены знака разности потенциалов; t – время) с выходным электрическим импедансом Z_1 и электрода № 1. Вторичная электрическая цепь трансформатора состоит из электрода № 2 (позиция 2 на рис. 1) и электрической нагрузки Z_2, на которой выделяется разность потенциалов $U_2 e^{i\omega t}$.

Очевидно, что системной функцией (математической моделью) пьезоэлектрического трансформатора является коэффициент трансформации $K(\omega, \Pi)$ (символ Π в списке аргументов комплекснозначной функции $K(\omega, \Pi)$ означает набор геометрических, физико-механических и электрических параметров пьезоэлектрического трансформатора), который определяется следующим образом:

$$K(\omega, \Pi) = \frac{U_2}{U_1}. \qquad (1)$$

Принцип действия показанного на рис. 1 стержневого трансформатора в достаточной степени очевиден.

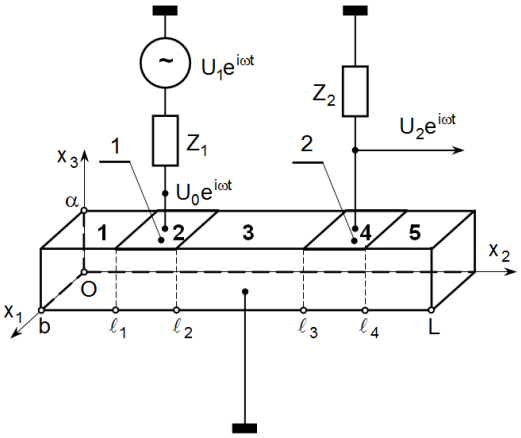


Рис. 1. Схематическое изображение конструкции стержневого пьезоэлектрического трансформатора

При подаче на электрод № 1 (позиция 1 на рис. 1) разности электрических потенциалов от внешнего источника в области $\ell_1 \le x_2 \le \ell_2$ пьезокерамического стержня из-за обратного пьезоэлектрического эффекта возникают вынужденные продольные колебания материальных частиц пьезоэлектрика. Благодаря упругим связям в процесс продольных гармонических колебаний вовлекаются все без исключения материальные частицы (элементарные объемы деформируемого твердого тела) пьезокерамического стержня. В результате прямого пьезоэлектрического эффекта на электроде № 2 вторичной электрической цепи появляется электрический заряд $Q_2(\omega)$, который своим электрическим полем приводит в движение свободные носители электричества в проводнике вторичной электрической цепи. Электрический ток $I_2(\omega) = -i\omega Q_2(\omega) e^{i\omega t}$, протекающий по проводнику во вторичной электрической цепи, формирует на электрической нагрузке Z_2 разность электрических потенциалов $U_2 e^{i\omega t} = -i\omega Z_2 Q_2(\omega) e^{i\omega t}$. Таким образом,

$$U_2 = -i\omega Z_2 Q_2(\omega). \qquad (2)$$

Электрический заряд $Q_2(\omega)$ определяется через аксиальный компонент вектора электрической индукции $D_3^{(4)}(x_k)$ в деформируемом пьезоэлектрике в области $\ell_3 \le x_2 \le \ell_4$ следующим образом:

$$Q_2(\omega) = \int_{\ell_3}^{\ell_4}\int_0^b D_3^{(4)}(x_1, x_2, \alpha)\, dx_1 dx_2 . \quad (3)$$

Как следует из уравнений физического состояния деформируемого пьезоэлектрика, компоненты вектора электрической индукции определяются компонентами тензора упругих деформаций. Уровень влияния того или иного компонента на электрическое состояние деформируемого пьезоэлектрика определяется компонентами матрицы пьезоэлектрических модулей $e_{k\beta} \equiv e_{kij}$.

При оговоренном выше способе электрической поляризации пьезокерамического стержня матрицы его материальных констант имеют следующую конструкцию:

– матрица модулей упругости $c_{\beta\lambda}^E$, которые экспериментально определяются в режиме постоянства (равенства нулю) напряженности электрического поля (символ E) в объеме деформируемого пьезоэлектрика

$$\left|c_{\beta\lambda}^E\right| = \begin{vmatrix} c_{11}^E & c_{12}^E & c_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ & c_{22}^E & c_{23}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & c_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & & c_{44}^E & 0 & 0 \\ & & & & c_{55}^E & 0 \\ & & & & & c_{66}^E \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где $c_{11}^E = c_{22}^E \neq c_{33}^E$; $c_{12}^E = c_{13}^E = c_{23}^E$; $c_{44}^E = c_{55}^E$; $c_{66}^E = \left(c_{11}^E - c_{12}^E\right)/2$;

– матрица пьезоэлектрических модулей $e_{k\beta}$

$$\left|e_{k\beta}\right| = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & e_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{24} & 0 & 0 \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где $e_{15} = e_{24} = \left(e_{33} - e_{31}\right)/2$; $e_{31} = e_{32} \neq e_{33}$;

– матрица диэлектрических проницаемостей χ_{ij}^{ε}, элементы которой экспериментально определяются в режиме постоянства (равенства нулю) упругих деформаций (символ ε) в объеме исследуемого пьезоэлектрика

$$\left|\chi_{ij}^{\varepsilon}\right| = \begin{vmatrix} \chi_{11}^{\varepsilon} & 0 & 0 \\ & \chi_{22}^{\varepsilon} & 0 \\ & & \chi_{33}^{\varepsilon} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

где $\chi_{11}^{\varepsilon} = \chi_{22}^{\varepsilon} \neq \chi_{33}^{\varepsilon}$.

Так как источников и причин, которые бы способствовали развитию напряженно-деформированного состояния сдвига, в показанной на рис. 1 схеме нет по определению, то обобщенный закон Гука для различных участков стержня записывается следующим образом:

$$\sigma_{11}^{(m)}(x_k) = c_{11}^E \varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + c_{12}^E \varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + c_{12}^E \varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) - e_{31} E_3^{(m)}(x_k), \quad (7)$$

$$\sigma_{22}^{(m)}(x_k) = c_{12}^E \varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + c_{22}^E \varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + c_{12}^E \varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) - e_{31} E_3^{(m)}(x_k), \quad (8)$$

$$\sigma_{33}^{(m)}(x_k) = c_{12}^E \varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + c_{12}^E \varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + c_{33}^E \varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) - e_{33} E_3^{(m)}(x_k), \quad (9)$$

где $m = 1, 2, \ldots, 5$ – номер области стержня (рис. 1), в которой определяется напряженно-деформированное состояние; при записи соотношений (7)–(9) одинаковые по величине материальные константы обозначены, как это принято в механике деформируемого твердого тела, одинаковыми символами. Символами $\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k)$, $\varepsilon_{22}^{(m)}(x_k)$ и $\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k)$ обозначены деформации сжатия-растяжения в m-й области стержня вдоль координатных осей Ox_1, Ox_2 и Ox_3 (рис. 1) соответственно; $E_3^{(m)}(x_k)$ – аксиальный компонент вектора напряженности электрического поля в m-й области деформируемого пьезокерамического стержня.

Будем рассматривать такой диапазон частот смены знака разности потенциалов на выходе генератора электрических сигналов, в котором длина волны упругих колебаний материальных частиц стержня соизмерима с его длиной L. Так как по определению призматического стержня должны в обязательном порядке выполняться сильные неравенства $\alpha/L << 1$ и $b/L << 1$, то можно утверждать, что в этом диапазоне частот напряженно-деформированное состояние стержня не меняется в пределах площади его поперечного сечения.

Предположим, что стержень колеблется в вакууме и не контактирует с другими материальными объектами. В этом случае на его гранях должны выполняться следующие, обусловленные третьим законом Ньютона, соотношения:

$$\sigma_{11}^{(m)}(x_k)\Big|_{x_1=0,b} = 0, \quad (10)$$

$$\sigma_{22}^{(m)}(x_k)\Big|_{x_2=0} = 0, \ \sigma_{22}^{(m)}(x_k)\Big|_{x_2=L} = 0, \quad (11)$$

$$\sigma_{33}^{(m)}(x_k)\Big|_{x_3=0,\alpha} = 0. \quad (12)$$

Условия (10) и (12) в рассматриваемом диапазоне частот выполняются не только на поверхности стержня, но и в любой точке внутри его объема. Это позволяет записать соотношения (7) и (9) в следующем виде:

$$c_{11}^E\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + c_{12}^E\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) = -c_{12}^E\varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + e_{31}E_3^{(m)}(x_k),$$

$$c_{12}^E\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + c_{33}^E\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) = -c_{12}^E\varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + e_{33}E_3^{(m)}(x_k). \quad (13)$$

Из системы уравнений (13) определяются компоненты тензора деформации $\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k)$ и $\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k)$:

$$\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) = -\frac{c_{12}^E}{\Delta_0}\left(c_{33}^E - c_{12}^E\right)\varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + \frac{1}{\Delta_0}\left(c_{33}^E e_{31} - c_{12}^E e_{33}\right)E_3^{(m)}(x_k),$$

$$\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) = -\frac{c_{12}^E}{\Delta_0}\left(c_{11}^E - c_{12}^E\right)\varepsilon_{22}^{(m)}(x_k) + \frac{1}{\Delta_0}\left(c_{11}^E e_{33} - c_{12}^E e_{31}\right)E_3^{(m)}(x_k), \quad (14)$$

где $\Delta_0 = c_{11}^E c_{33}^E - \left(c_{12}^E\right)^2$. При записи выражений (14) было учтено, что физическое состояние деформируемого пьезоэлектрика остается неизменным в пределах площади его поперечного сечения.

Подставляя выражения (14) в соотношение (8), получаем запись обобщенного закона Гука для одноосного напряженного состояния пьезокерамического стержня в области низких частот в следующем виде:

$$\sigma_{22}^{(m)}(x_2) = Y^E\varepsilon_{22}^{(m)}(x_2) - e_{31}^*E_3^{(m)}(x_2), \quad (15)$$

где $Y^E = c_{11}^E - \left(c_{12}^E\right)^2\left(c_{11}^E + c_{33}^E - 2c_{12}^E\right)/\Delta_0$ – модуль Юнга поляризованной вдоль оси Ox_3 пьезокерамики для режима одноосного сжатия-растяжения стержня вдоль оси Ox_2; $e_{31}^* = e_{31} + c_{12}^E\left[-e_{31}c_{33}^E - e_{33}c_{11}^E + c_{12}^E\left(e_{31} + e_{33}\right)\right]/\Delta_0$ – пьезоэлектрический модуль для режима одноосного напряженного состояния пьезоэлектрического стержня.

Электрическое состояние деформируемого пьезокерамического стержня определяется вектором электрической индукции $\vec{D}^{(m)}(x_k)$, k-й компонент которого в общем случае определяется следующим образом [7]:

$$D_k^{(m)}(x_k) = e_{kij}\varepsilon_{ij}^{(m)}(x_k) + \chi_{kj}^{\varepsilon}E_j^{(m)}(x_k). \quad (16)$$

Поскольку сдвиговые деформации в рассматриваемом пьезокерамическом стержне отсутствуют по определению, постольку из общей формулировки (16) можно, принимая во внимание структуру матриц (5) и (6), записать следующие расчетные формулы:

$$D_1^{(m)}(x_k) = \chi_{11}^{\varepsilon}E_1^{(m)}(x_k),$$

$$D_2^{(m)}(x_k) = \chi_{11}^{\varepsilon}E_2^{(m)}(x_k), \quad (17)$$

$$D_3^{(m)}(x_k) = e_{31}\left[\varepsilon_{11}^{(m)}(x_k) + \varepsilon_{22}^{(m)}(x_k)\right] + e_{33}\varepsilon_{33}^{(m)}(x_k) + \chi_{33}^{\varepsilon}E_3^{(m)}(x_k). \quad (18)$$

Так как на гранях $x_1 = 0, b$ и $x_2 = 0, L$ должны выполняться условия [8]

$$D_1^{(m)}(x_k)\Big|_{x_1=0,b} = 0, \ D_2^{(m)}(x_k)\Big|_{x_2=0,L} = 0,$$

то $E_1^{(m)}(x_k) = 0$ и $E_2^{(m)}(x_k) = 0$ на поверхности и в объеме деформируемого пьезокерамического стержня. Отсюда следует, что $D_1^{(m)}(x_k) = D_2^{(m)}(x_k) = 0 \,\forall\, x_k \in V$, где V – объем призматического стержня.

Таким образом, электрическое состояние деформируемого пьезокерамического стержня определяется аксиальным компонентом $D_3^{(m)}(x_2)$ вектора электрической индукции, величина которого не зависит от значения координаты x_3. По этой причине фундаментальное условие отсутствия свободных носителей электричества $div\,\vec{D}^{(m)}(x_k) \equiv \partial D_3^{(m)}(x_k)/\partial x_3 = 0$ выполняется автоматически. Подставляя в соотношение (18) выражения (14), получаем описание электрической поляризации пьезокерамического стержня для режима одноосного напряженного состояния:

$$D_3^{(m)}(x_2) = e_{31}^*\varepsilon_{22}^{(m)}(x_2) + \chi_{33}^{\sigma}E_3^{(m)}(x_2), \quad (19)$$

где $\chi_{33}^{\sigma} = \chi_{33}^{\varepsilon} + \left(e_{31}^2 c_{33}^E + e_{33}^2 c_{11}^E - 2e_{31}e_{33}c_{12}^E\right)/\Delta_0$ – диэлектрическая проницаемость для режима постоянства (равенства нулю) механических напряжений $\sigma_{11}^{(m)}(x_k)$ и $\sigma_{33}^{(m)}(x_k)$.

В областях № 1, № 3 и № 5, где отсутствует электродирование на поверхности $x_3 = \alpha$, электрическая индукция $D_3^{(n)}(x_2)$ $(n = 1,3,5)$ равна нулю на поверхности $x_3 = \alpha$ и, как следствие, в любой точке объема n-й области. Приравнивая нулю левую часть выражения (19), приходим к выводу, что в этих областях $E_3^{(n)}(x_2) = -e_{31}^* \varepsilon_{22}^{(n)}(x_2) \big/ \chi_{33}^{\varepsilon}$. При этом обобщенный закон Гука для n-й области записывается в следующем виде:

$$\sigma_{22}^{(n)}(x_2) = Y^D \varepsilon_{22}^{(n)}(x_2), \qquad (20)$$

где $Y^D = Y^E + \left(e_{31}^*\right)^2 \big/ \chi_{33}^{\sigma}$ – модуль Юнга для режима постоянства (равенства нулю) электрической индукции в деформируемом пьезоэлектрике.

Для того, чтобы определить аксиальный компонент $E_3^{(k)}(x_2)$ $(k = 2,4)$ вектора напряженности электрического поля под электродами первичной и вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора, запишем $E_3^{(k)}(x_2) = -\partial \Phi^{(k)}(x_2, x_3) \big/ \partial x_3$, где $\Phi^{(k)}(x_2, x_3)$ – скалярный потенциал электрического поля в k-й области деформируемого пьезокерамического стержня. Подставляя это определение в соотношение (19) и интегрируя полученный результат по переменной x_3 в пределах от нуля до α, приходим к выводу, что

$$D_3^{(k)}(x_2) = e_{31}^* \varepsilon_{22}^{(k)}(x_2) - \chi_{33}^{\sigma} \frac{U^{(k)}}{\alpha}, \qquad (21)$$

где $U^{(k)}$ – амплитудное значение электрического потенциала на поверхности $x_3 = \alpha$ в k-й области. Очевидно (рис. 1), что $U^{(2)} = U_0$, а $U^{(4)} = U_2$. Сравнивая два физически эквивалентных определения электрической индукции $D_3^{(k)}(x_2)$, т. е. приравнивая друг другу правые части выражений (19) и (21), получаем формулы для расчета амплитудного значения аксиального компонента вектора напряженности электрического поля в областях № 2 и № 4:

$$E_3^{(2)}(x_2) = -U_0/\alpha, \; E_3^{(4)}(x_2) = -U_2/\alpha. \qquad (22)$$

Таким образом, амплитудные значения механических напряжений в областях стержня под электродами первичной и вторичной электрической цепи трансформатора рассчитываются по следующим формулам:

$$\sigma_{22}^{(2)}(x_2) = Y^E \varepsilon_{22}^{(2)}(x_2) + e_{31}^* \frac{U_0}{\alpha},$$

$$\sigma_{22}^{(4)}(x_2) = Y^E \varepsilon_{22}^{(4)}(x_2) + e_{31}^* \frac{U_2}{\alpha}. \qquad (23)$$

Деформации сжатия-растяжения вдоль оси Ox_2, т. е. величины $\varepsilon_{22}^{(k)}(x_2)$ $(k = 1,2,3,4,5)$, определяются через амплитудное значение продольного компонента $u_2^{(k)}(x_2)$ вектора смещения материальных частиц k-го участка пьезокерамического стержня. При этом $\varepsilon_{22}^{(k)}(x_2) = \partial u_2^{(k)}(x_2) \big/ \partial x_2$. Упругие смещения $u_2^{(k)}(x_2)$ из положения равновесия материальных частиц стержня удовлетворяют уравнению установившихся гармонических колебаний

$$\frac{\partial \sigma_{22}^{(k)}(x_2)}{\partial x_2} + \rho_0 \omega^2 u_2^{(k)}(x_2) = 0, \qquad (24)$$

где ρ_0 – плотность пьезокерамики.

Подставляя определение механических напряжений $\sigma_{22}^{(k)}(x_2)$ на различных участках пьезокерамического стержня в уравнение (24), записываем его общее решение в следующем виде:

$$u_2^{(1)}(x_2) = A_1 \sin \gamma x_2 + B \cos \gamma x_2,$$

$$u_2^{(2)}(x_2) = A_2 \sin \lambda x_2 + A_3 \cos \lambda x_2,$$

$$u_2^{(3)}(x_2) = A_4 \sin \gamma x_2 + A_5 \cos \gamma x_2,$$

$$u_2^{(4)}(x_2) = A_6 \sin \lambda x_2 + A_7 \cos \lambda x_2,$$

$$u_2^{(5)}(x_2) = A_8 \sin \gamma x_2 + A_9 \cos \gamma x_2, \qquad (25)$$

где $A_1, \ldots, A_9$ и B – подлежащие определению константы; $\gamma = \omega \sqrt{\rho_0 / Y^D}$, $\lambda = \omega \sqrt{\rho_0 / Y^E}$ – волновые числа продольных колебаний материальных частиц пьезокерамики на участках без электродного покрытия поверхности $x_3 = \alpha$ и на электродированных участках стержня соответственно.

При любом способе закрепления пьезокерамического стержня на условных границах, выделенных в процессе расчетов областей, должны выполняться условия динамического и кинематического сопряжения решений (25). Эти условия записываются в следующем виде:

$$\sigma_{22}^{(1)}(\ell_1)=\sigma_{22}^{(2)}(\ell_1),\ \sigma_{22}^{(2)}(\ell_2)=\sigma_{22}^{(3)}(\ell_2),$$
$$\sigma_{22}^{(3)}(\ell_3)=\sigma_{22}^{(4)}(\ell_3),\ \sigma_{22}^{(4)}(\ell_4)=\sigma_{22}^{(5)}(\ell_4),\quad(26)$$
$$u_2^{(1)}(\ell_1)=u_2^{(2)}(\ell_1),\ u_2^{(2)}(\ell_2)=u_2^{(3)}(\ell_2),$$
$$u_2^{(3)}(\ell_3)=u_2^{(4)}(\ell_3),\ u_2^{(4)}(\ell_4)=u_2^{(5)}(\ell_4),\quad(27)$$

Условия на границах $x_2=0$ и $x_2=L$ определяются способом закрепления торцов стержня. Предположим, что торцы стержня свободны от контактов с другими материальными объектами. Из этого следует, что на поверхностях $x_2=0$ и $x_2=L$ должны выполняться, как этого требует третий закон Ньютона, следующие условия:

$$\sigma_{22}^{(1)}(0)=0,\ \sigma_{22}^{(5)}(L)=0. \qquad (28)$$

Несложно подсчитать, что общее число условий (26)–(28) в точности соответствует числу искомых констант.

Для завершения построения математической модели стержневого трансформатора необходимо в явном виде определить константы $A_1,\dots,A_9$ и B. Из первого граничного условия (28) с очевидностью следует, что константа $B=0$. Оставшиеся девять констант $A_1,\dots,A_9$ определяются из восьми условий (26), (27) сопряжения решений (25) уравнения (24) и второго граничного условия (28). Подставляя в эти условия определения напряжений $\sigma_{22}^{(k)}(x_2)$ и продольных смещений $u_2^{(k)}(x_2)$, получаем следующую систему линейных алгебраических уравнений

$$m_{ij}A_j=P_i,\ i,j=1,2,\dots,9, \qquad (29)$$

где m_{ij} – частотно зависимые коэффициенты, числовые значения которых определяются следующим образом:

$$m_{11}=-Y^D\gamma\sin\gamma\ell_1;\ m_{12}=-Y^E\lambda\cos\lambda\ell_1;$$
$$m_{13}=Y^E\lambda\sin\lambda\ell_1;\ (m_{14}\div m_{19})=0;\ m_{21}=0;$$
$$m_{22}=Y^E\lambda\cos\lambda\ell_2;\ m_{23}=-Y^E\lambda\sin\lambda\ell_2;$$
$$m_{24}=-Y^D\gamma\cos\gamma\ell_2;\ m_{25}=Y^D\gamma\sin\gamma\ell_2;$$
$$(m_{26}\div m_{29})=0;\ (m_{31}\div m_{33})=0;$$
$$m_{34}=Y^D\gamma\cos\gamma\ell_3;\ m_{35}=-Y^D\gamma\sin\gamma\ell_3;$$
$$m_{36}=-Y^E\lambda\cos\lambda\ell_3;\ m_{37}=Y^E\lambda\sin\lambda\ell_3;$$
$$(m_{38}\div m_{39})=0;\ (m_{41}\div m_{45})=0;$$
$$m_{46}=Y^E\lambda\cos\lambda\ell_4;\ m_{47}=-Y^E\lambda\sin\lambda\ell_4;$$
$$m_{48}=-Y^D\gamma\cos\gamma\ell_4;\ m_{49}=Y^D\gamma\sin\gamma\ell_4;$$
$$m_{51}=\cos\gamma\ell_1;\ m_{52}=-\sin\lambda\ell_1;\ m_{53}=-\cos\lambda\ell_1;$$
$$(m_{54}\div m_{59})=0;\ m_{61}=0;\ m_{62}=\sin\lambda\ell_2;$$
$$m_{63}=\cos\lambda\ell_2;\ m_{64}=\sin\gamma\ell_2;\ m_{65}=-\cos\gamma\ell_2;$$
$$(m_{66}\div m_{69})=0;\ (m_{71}\div m_{73})=0;\ m_{74}=\sin\gamma\ell_3;$$
$$m_{75}=\cos\gamma\ell_3;\ m_{76}=-\sin\lambda\ell_3;\ m_{77}=-\cos\lambda\ell_3;$$
$$(m_{78}\div m_{79})=0;\ (m_{81}\div m_{85})=0;\ m_{86}=\sin\lambda\ell_4;$$
$$m_{87}=\cos\lambda\ell_4;\ m_{88}=-\sin\gamma\ell_4;\ m_{89}=-\cos\gamma\ell_4;$$
$$(m_{91}\div m_{97})=0;\ m_{98}=Y^D\gamma\cos\gamma L;$$
$$m_{99}=-Y^D\gamma\sin\gamma L;\ P_1=e_{31}^*U_0/\alpha;\ P_2=-e_{31}^*U_0/\alpha;$$
$$P_3=e_{31}^*U_2/\alpha;\ P_4=-e_{31}^*U_2/\alpha;\ (P_5\div P_9)=0.$$

Из конструкции системы уравнений (29) с очевидностью следует, что напряженно-деформированное состояние стержня на всех без исключения его участках зависит одновременно от амплитудных значений потенциалов U_0 и U_2, т. е. от потенциалов на электродах первичной и вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. Последнее означает, что потенциалы U_0 и U_2 связаны между собой линейной зависимостью. Эта зависимость является формальным (математическим) описанием акустической (механической) связи, которая существует в сплошном пьезокерамическом стержне между волновыми полями (материальными частицами) на его различных участках.

Для того, чтобы определить коэффициент связи между амплитудными значениями потенциалов U_0 и U_2, построим выражение для расчета потенциала U_2.

В соответствии с расчетной схемой, которая показана на рис. 1, необходимо записать, что

$$U_2=Z_2I_2, \qquad (30)$$

где I_2 – амплитудное значение тока в проводнике вторичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора. Ранее было показано [7], что $I_2=-i\omega Q_2$, где Q_2 – амплитудное значение электрического заряда на электроде вторичной электрической цепи. Очевидно, что

$$Q_2=b\int_{\ell_3}^{\ell_4}D_3^{(4)}(x_2,\alpha)\,dx_2. \qquad (31)$$

Подставляя в определение (31) расчетную формулу (21), получаем следующий результат:

$$Q_2 = b\left\{e_{31}^*\left[u_2^{(4)}(\ell_4) - u_2^{(4)}(\ell_3)\right] - (\ell_4 - \ell_3)\chi_{33}^{\sigma}\frac{U_2}{\alpha}\right\} =$$

$$= be_{31}^*\left[A_6(\sin\lambda\ell_4 - \sin\lambda\ell_3) + A_7(\cos\lambda\ell_4 - \cos\lambda\ell_3)\right] -$$

$$- C_4^{\sigma}U_2, \qquad (32)$$

где $C_4^{\sigma} = b(\ell_4 - \ell_3)\chi_{33}^{\sigma}/\alpha$ – динамическая электрическая емкость участка пьезокерамического стержня под электродом вторичной электрической цепи.

Константы A_6 и A_7 определяются из системы уравнений (29) следующим образом:

$$A_6 = -\frac{e_{31}^*U_0}{\alpha}\xi_1 - \frac{e_{31}^*U_2}{\alpha}\xi_2,$$

$$A_7 = \frac{e_{31}^*U_0}{\alpha}\xi_3 + \frac{e_{31}^*U_2}{\alpha}\xi_4, \qquad (33)$$

где $\xi_1 = (\Delta_{61} + \Delta_{62})/\Delta_0$; $\xi_2 = (\Delta_{63} + \Delta_{64})/\Delta_0$; $\xi_3 = (\Delta_{71} + \Delta_{72})/\Delta_0$; $\xi_1 = (\Delta_{73} + \Delta_{74})/\Delta_0$; Δ_{ij} – алгебраические дополнения – определители матриц размером 8×8, которые получаются в результате вычеркивания i-го столбца и j-й строки из матрицы размером 9×9, составленной из коэффициентов при константах A_j в системе уравнений (29); Δ_0 – определитель матрицы 9×9 из коэффициентов при константах A_j, т. е. главный определитель системы уравнений (29).

Подставляя соотношения (33) в определение (32) амплитудного значения электрического заряда Q_2, можно записать следующее

$$Q_2 = C_4^{\sigma}U_2\Psi_2(\omega) + C_4^{\sigma}U_0\Psi_0(\omega),$$

где

$$\Psi_2(\omega) = \frac{(e_{31}^*)^2}{(\ell_4 - \ell_3)\chi_{33}^{\sigma}}\left[\xi_4(\cos\lambda\ell_4 - \cos\lambda\ell_3) - \right.$$

$$\left. -\xi_3(\sin\lambda\ell_4 - \sin\lambda\ell_3)\right] - 1;$$

$$\Psi_0(\omega) = \frac{(e_{31}^*)^2}{(\ell_4 - \ell_3)\chi_{33}^{\sigma}}\left[\xi_2(\cos\lambda\ell_4 - \cos\lambda\ell_3) - \right.$$

$$\left. - \xi_1(\sin\lambda\ell_4 - \sin\lambda\ell_3)\right].$$

Так как

$I_2 = -i\omega C_4^{\sigma}Z_2U_2\Psi_2(\omega) - i\omega C_4^{\sigma}Z_2U_0\Psi_0(\omega)$, то после подстановки амплитудного значения тока I_2 в определение (30) получаем следующее равенство:

$$U_2\left[1 + i\omega C_4^{\sigma}Z_2\Psi_2(\omega)\right] = -i\omega C_4^{\sigma}Z_2U_0\Psi_0(\omega),$$

откуда следует, что

$$U_2 = -\Xi_0(\omega)U_0, \qquad (34)$$

где $\Xi_0(\omega)$ – коэффициент обратной акустической связи, числовые значения которого рассчитываются по формуле

$$\Xi_0(\omega) = \frac{i\omega C_4^{\sigma}Z_2\Psi_0(\omega)}{1 + i\omega C_4^{\sigma}Z_2\Psi_2(\omega)}. \qquad (35)$$

Очевидно (см. рис. 1), что амплитудное значение потенциала U_0 определяется следующим образом:

$$U_0 = \frac{U_1Z_{эл}^{(1)}(\omega)}{Z_1 + Z_{эл}^{(1)}(\omega)}, \qquad (36)$$

где $Z_{эл}^{(1)}(\omega)$ – электрический импеданс участка пьезокерамического стержня под электродом первичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора.

Определим электрический импеданс $Z_{эл}^{(1)}(\omega)$. Эта операция фактически завершает построение математической модели стержневого пьезоэлектрического трансформатора.

Из общеизвестного закона Ома для участка электрической цепи следует, что

$$Z_{эл}^{(1)}(\omega) = \frac{U_0}{I_1}, \qquad (37)$$

где I_1 – амплитудное значение электрического тока в проводнике первичной электрической цепи. Так как $I_1 = -i\omega Q_1$, а электрический заряд Q_1 определяется через электрическую индукцию $D_3^{(2)}(x_2, \alpha)$, то

$$I_1 = -i\omega be_{31}^*\left[u_2^{(2)}(\ell_2) - u_2^{(2)}(\ell_1)\right] + i\omega C_2^{\sigma}U_0, \qquad (38)$$

где $C_2^{\sigma} = b(\ell_2 - \ell_1)\chi_{33}^{\sigma}/\alpha$ – динамическая электрическая емкость участка пьезокерамического стержня под электродом первичной электрической цепи пьезоэлектрического трансформатора.

Коэффициенты A_2 и A_3, определяющие продольные смещения материальных частиц стержня в сечениях $x_2 = \ell_1$ и $x_2 = \ell_2$, рассчитываются по следующим формулам:

$$A_2 = -\frac{e_{31}^*U_0}{\alpha}\zeta_1 - \frac{e_{31}^*U_2}{\alpha}\zeta_2,$$

$$A_3 = \frac{e_{31}^* U_0}{\alpha}\zeta_3 + \frac{e_{31}^* U_2}{\alpha}\zeta_4, \qquad (39)$$

где $\zeta_1 = (\Delta_{21} + \Delta_{22})/\Delta_0$; $\zeta_2 = (\Delta_{23} + \Delta_{24})/\Delta_0$; $\zeta_3 = (\Delta_{31} + \Delta_{32})/\Delta_0$; $\zeta_1 = (\Delta_{33} + \Delta_{34})/\Delta_0$.

Подставляя определения (39) констант A_2 и A_3 в формулу для расчета смещения $u_2^{(2)}(x_2)$ материальных частиц стержня, а полученные результаты – в соотношение (38), получаем следующий результат:

$$I_1 = -i\omega C_2^\sigma U_0 \Psi_1(\omega), \qquad (40)$$

где

$$\Psi_1(\omega) = \frac{(e_{31}^*)^2}{(\ell_2 - \ell_1)\chi_{33}^\sigma}\left\{-\left[\zeta_1 - \Xi_0(\omega)\zeta_2\right](\sin\lambda\ell_2 - \sin\lambda\ell_1) + \right.$$
$$\left. + \left[\zeta_3 - \Xi_0(\omega)\zeta_4\right](\cos\lambda\ell_2 - \cos\lambda\ell_1)\right\} - 1.$$

Принимая во внимание определение (40) амплитудного значения тока в проводнике первичной электрической цепи, из соотношения (37) находим электрический импеданс

$$Z_{эл}^{(1)}(\omega) = \frac{1}{-i\omega C_2^\sigma \Psi_1(\omega)},$$

после чего из соотношения (36) получаем расчетную формулу для амплитудного значения потенциала U_0

$$U_0 = \frac{U_1}{1 - i\omega C_2^\sigma Z_1 \Psi_1(\omega)}. \qquad (41)$$

Подставляя выражение (41) в соотношение (34), находим расчетную формулу для потенциала U_2, после чего можно записать выражение (1) для расчета коэффициента трансформации $K(\omega, П)$ в следующем виде:

$$K(\omega, П) = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{\Xi_0(\omega)}{1 - i\omega C_2^\sigma Z_1 \Psi_1(\omega)}. \qquad (42)$$

Аналитическая конструкция (42) является математической моделью стержневого пьезоэлектрического трансформатора, принцип действия которого предполагает использование продольных колебаний в призматическом стержне, расчетная схема которого показана на рис. 1.

Выводы. Основной результат данной статьи можно зафиксировать следующим образом: получена математическая модель стержневого пьезоэлектрического трансформатора, принцип действия которого предполагает использование продольных колебаний в призматическом стержне.

Список литературы

1. Джагупов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. Санкт-Петербург: Политехника, 1994. 608 с.
2. Лавриненко В. В. Пьезоэлектрические трансформаторы. Москва: Энергия, 1975. 112 с.
3. Зубцов В. И. Математическая модель преобразователя статических механических напряжений внутри деформируемых материалов. *Инженерная физика.* 2004. № 4. С. 31–36.
4. Хуторненко С. В., Васильчук Д. П. Математическая модель пьезоэлектрического резонатора при наличии градиентного поля в плоскости кристаллического элемента. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна.* 2011. Вип. 21 (189). С. 168–172.
5. Шульга М. О., Карлаш В. Л. Ефективність електромеханічного перетворення енергії при резонансних коливаннях елементів конструкцій із п'єзокераміки. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології.* 2006. № 3. С. 225–237.
6. Карлаш В. Л. Вынужденные электромеханические колебания прямоугольных пьезокерамических стержней с разделенными электродами. *Прикладная механика.* 2013. Т. 49. № 3. С. 125–134.
7. Петрищев О. Н. Гармонические колебания пьезокерамических элементов. Часть 1. Гармонические колебания пьезокерамических элементов в вакууме и метод резонанса – антирезонанса. Киев: Аверс, 2012. 300 с.
8. Гринченко В. Т., Улитко А. Ф., Шульга Н. А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 5. Электроупругость. Киев: Наукова думка, 1989. 280 с.

References

1. Dzhagupov, R. G. Erofeev, A. A. (1994) Piezoelectronic devices of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politekhnika, 608 p. [in Russian].
2. Lavrinenko, V. V. (1975) Piezoelectric transformers. Moscow: Energiya, 112 p. [in Russian].
3. Zubczov, V. I. (2004) Mathematical model of static mechanical stresses converter within deformable material. *Inzhenernaya fizika*, No. 4, pp. 31–36 [in Russian].

4. Khutornenko, S. V., Vojeykov, A. N., Vasylchuk, D. P. (2011) Mathematic model of piezoelectrical resonator at the presence of gradient field in crystallic element platitude. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Hirnycho-elektromekhanichna*, No. 21 (189), pp. 168–172 [in Russian].
5. Shul'ga, M. O., Karlash, V. L. (2006) An efficiency of electromechanical energy transformation at resonant vibrations of piezoceramics constructional elements. *Fizyko-matematychne modelyuvannya ta informaciini tekhnologii*, No. 3, pp. 225–237 [in Ukrainian].
6. Karlash, V. L. (2013) Forced oscillations of electromechanical rectangular piezoceramic rods with divided electrodes. *Prikladnaya mekhanika*, Vol. 49, No 3, pp. 125–134 [in Russian].
7. Petrishchev, O. N. (2012) Harmonic oscillations of piezoceramic elements. Part 1. Harmonic vibrations of piezoceramic elements in vacuum and a method of resonance – antiresonance. Kiev: Avers, 300 p. [in Russian].
8. Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F., Shulga, N. A. (1989) Mechanics of related fields in structural elements. Vol. 5. Electroelasticity. Kiev: Naukova dumka, 280 p. [in Russian].

O. N. Petrishchev[1], *Dr.Sc. (Eng.), professor,*
C. V. Bazilo[2], *Ph.D. (Eng.), associate professor*
[1]Kyiv Scientific Research Institute of Hydrodevices
[2]Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine

MATHEMATICAL MODELING OF ROD TYPE PIEZOELECTRIC TRANSFORMER

The relevance of the use of various functional elements of piezoelectronics in power and informational systems is explained, first of all, by their high reliability, as well as small dimensions and weight, which greatly facilitates the solution of the problem of miniaturization of such systems.

The purpose of this article is to build a mathematical model of rod type piezoelectric transformer.

Currently, there are no reliable and valid methods of constructing of mathematical models of piezoelectric transformers, which could be used as a theoretical basis for characteristics and parameters calculating of this class of functional elements of modern piezoelectronics.

The main result of this article can be fixed as follows: mathematical model of rod type piezoelectric transformer, the principle of operation of which involves the use of longitudinal vibrations in prismatic rod, is obtained.

Keywords: *rod type piezoelectric element, physical processes, mathematical model.*

О. М. Петрищев[1], *д.т.н., професор,*
К. В. Базіло[2], *к.т.н., доцент*
[1]Державне підприємство «Київський державний
науково-дослідний інститут гідроприладів»
[2]Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРИЖНЕВОГО ТИПУ

Актуальність застосування різних функціональних елементів п'єзоелектроніки в силових та інформаційних системах пояснюється, перш за все, їх високою надійністю, а також малими габаритами і вагою, що значною мірою полегшує вирішення проблеми мініатюризації таких систем.

Основною метою статті є побудова математичної моделі п'єзоелектричного трансформатора стрижневого типу.

Нині існує потреба у створенні цілісної методики побудови математичних моделей п’єзоелектричних трансформаторів, яка могла б використовуватися як теоретична основа розрахунку їх характеристик і параметрів.

Основний результат статті можна зафіксувати в такий спосіб: отримано математичну модель стрижневого п’єзоелектричного трансформатора, принцип дії якого передбачає використання поздовжніх коливань у призматичному стрижні. Показано основні особливості математичного моделювання п'єзоелектричних трансформаторів, розглянуто найпростішу конструкцію трансформатора у вигляді призматичного стрижня з прямокутним поперечним перерізом, виготовленого з поляризованої п'єзокераміки. Напружено-деформований стан стрижня на всіх без винятку його ділянках залежить одночасно від амплітудних значень потенціалів на електродах первинного і вторинного електричних кіл п'єзоелектричного трансформатора. Це означає, що потенціали пов'язані між собою лінійною залежністю. Ця залежність є формальним (математичним) описом акустичного (механічного) зв'язку, який існує в суцільному п'єзокерамічному стрижні між хвильовими полями (матеріальними частинками) на його різних ділянках.

Ключові слова: *п’єзоелектричний стрижневий елемент, фізичні процеси, математична модель.*

УДК 004.312.26:519.725

Я. М. Крайник, *к.т.н., докторант, ст. викл. кафедри комп'ютерної інженерії*,
e-mail: codebreaker7@ukr.net, yaroslav.krainyk@chmnu.edu.ua
В. О. Перов, *аспірант кафедри комп'ютерної інженерії*,
e-mail: perov.vlad92@gmail.com
М. П. Мусієнко, *д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії*
e-mail: musienko2001@ukr.net
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕКОДУВАННЯ TURBO-PRODUCT-КОДІВ ЗАСОБАМИ СЕРЕДОВИЩА MODELSIM

У статті представлено результати моделювання роботи розробленого декодера Turbo-Product-кодів (TP-кодів) у середовищі ModelSim. Описано методику проведення моделювання та особливості розробки тестових оточень для таких пристроїв. Декодер, для якого проводиться моделювання, характеризується тим, що він може змінювати налаштування відносно коду, яким закодоване повідомлення. Відповідно, він здатен працювати не з одним кодом, а з кількома та проводити їх декодування. Зміна налаштувань відносно оброблюваного коду може відбуватися після завершення обробки поточного повідомлення. Це дає значну перевагу, оскільки такий декодер може використовувати різні коди залежно від зміни умов передачі даних. Це дозволяє підвищити ефективність роботи системи передачі інформації та може мати суттєвий виграш відносно багатьох параметрів роботи декодера (коригуюча здатність, швидкодія, вартість розробки декодера для нових кодів та ін.). Розглянуто усі етапи роботи декодера з наведенням діаграм сигналів для кожного окремого етапу. Середовище ModelSim дає можливість наочно представити роботу кожного блока і, що важливо, взаємодію з іншими блоками, які входять до складу декодера. Це дало змогу оцінити як коректність роботи відносно стадій декодування, так і загальну картину роботи декодера. Тестове оточення, як і сам декодер, реалізоване мовою схемотехнічного опису VHDL. При роботі тестового оточення інтенсивно використовується робота з файлами (вхідні, вихідні та проміжні дані). Результат роботи тестового оточення порівнюється з результатом роботи моделі, реалізованої програмними засобами, для того щоб підтвердити правильність реалізації. Порівняння проводиться побайтово і показує однакові результати як для ModelSim, так і для програмної моделі. У подальшому реалізовані засоби можуть бути розширені для застосування при моделюванні декодерів для TP-кодів з іншою структурою або для інших завадостійких кодів.

***Ключові слова**: моделювання, тестове оточення, декодер, Turbo-Product-коди.*

Стадія моделювання роботи схемотехнічного опису пристрою є однією з найважливіших з точки зору перевірки коректності роботи схеми загалом. Незважаючи на те, що ця стадія проходить без безпосереднього застосування апаратних засобів, саме на основі її результатів приймається рішення про перехід до подальшої стадії тестування – лабораторного тестування. За умови коректної організації процесу моделювання у більшості випадків, апаратне тестування має підтверджувати результати, показані на стадії моделювання.

Відповідно, важливим є саме коректне налаштування тестового оточення (англ. testbench) [4] розробленого модуля. Тестове оточення зазвичай організовується за принципом, який характерний для організації модульних тестів, тобто:

1. Подача вхідних стимулів на вхід тестового модуля (англ. Design-Under-Test – DUT).
2. Запуск роботи модуля.
3. Перевірка збігу отриманих результатів з очікуваними.

Кількість операцій, які виконує обчислювальний модуль, також є важливою. Складні тестові модулі характеризуються великою кількістю операцій, які виконуються одночасно, а також великою кількістю проміжних етапів обчислень. Це, у свою чергу, означає підвищену складність тестового оточення для

такого модуля. Саме до модулів високого типу складності відноситься декодер Turbo-Product-кодів (ТР-кодів) [1] на базі програмовних логічних інтегральних схем (ПЛІС). Загалом, ці компоненти є складовими систем передачі даних, які розміщені на стороні отримувача. Проведення моделювання роботи таких компонентів вимагає подачі на вхід великої кількості даних, які фактично являють собою потік даних, що відповідає потоку даних у реальній системі передачі даних.

Загальна практика щодо побудови тестових оточень для таких модулів полягає в тому, що вхідні дані зберігаються у файлах, а результат обробки також записується у файл. Після цього проводиться перевірка на збіг отриманих результатів та результатів, які показала реалізована математична модель (зазвичай окремо реалізована програма, на вхід якої подаються дані з того самого файлу, що і для моделювання цифрового модуля). Для декодерів, які можуть оброблювати різні типи кодів, процедура доповнюється тим, що проводиться зміна налаштувань оброблюваних сигналів без перепрограмування пристрою. Саме таким є основний варіант використання цього декодера

У роботі представлено результати проведення моделювання роботи декодера ТР-кодів на базі ПЛІС. Описано методику організації тестового оточення для процесу моделювання, а також усі необхідні підготовчі кроки, які необхідні для повноцінного тестування системи. Також окремо виділено моменти, які характерні для моделювання декодера ТР-кодів з можливістю зміни оброблюваного коду без перепрограмування пристрою. Саме на зміні коду зі збереженням подальшої обробки даних робиться акцент при описі процесу загалом.

Огляд джерел. Середовище ModelSim [2] від компанії Mentor Graphics стало стандартом де-факто для процесу розробки цифрових схем на базі ПЛІС або спеціалізованих мікросхем. Однією з його переваг є те, що доступна безкоштовна версія програмного забезпечення, яке з певними обмеженнями можна використовувати для моделювання. Основні виробники ПЛІС (Xilinx та Altera) у власному програмному забезпеченні надають можливість обрати як середовище моделювання ModelSim, окрім власного програмного забезпечення, яке постачається з середовищами розробки. Моделювання саме у середовищі ModelSim дозволяє проводити тестування схемотехнічних описів, які мають бути незалежними від цільової мікросхеми, що також є великою перевагою. Однак підтримується також моделювання за наявності компонентів, які є специфічними для певної платформи. Поміж інших середовищ моделювання ModelSim виділяється підтримкою надзвичайно великої кількості функцій, пов’язаних з моделюванням (мови SystemC, SPL, SystemVerilog), підтримкою визначення покриття, а також перевірок різного типу. ModelSim широко використовується для моделювання систем різних типів [5, 6].

Методика створення тестових оточень передбачає активне використання операцій з файлами. У мові VHDL [3] наявні засоби для роботи з файлами, які покривають необхідний мінімум для запису та читання значень з відповідним форматуванням [7]. З цим пов’язані складнощі, які виникають при необхідності реалізувати складну послідовність запису/зчитування зі специфічним форматуванням. В основному використовується функціонал, який надається двома пакетами (std.textio та ieee.std_logic_textio). Основним моментом, який необхідно враховувати при реалізації запису/читання на базі файлів у тестових оточеннях, є те, що велика кількість процесів у схемотехнічному описі виконуються паралельно, тому необхідно коректно організувати виклик цих операцій для того, щоб отримати адекватні дані.

Ця робота є продовженням робіт [8-10] та базується на них. Метою роботи є опис методики проведення тестування, опис розробленого тестового оточення та представлення результатів моделювання, проведеного у середовищі ModelSim.

Основна частина. Процес зміни кодів, відповідно до яких проводиться обробка у декодері, характеризується зупинкою прийому нових вхідних даних та завантаженням у пам’ять нових параметрів налаштувань. Сигналом для цього може бути спеціальне повідомлення від передавача або припинення передачі зі зміною налаштувань оператором системи. У будь-якому випадку цей процес має бути узгоджений обома сторонами взаємодії. Для декодера це означає зміну налаштувань кодів рядків та стовпців. Цей параметр залежить від загальної кількості кодів, реалізованих у декодері. Шлях, який проходять дані між елементами комбінаційної логіки декодера, змінюється саме відповідно до даного налаштування. У більшості випадків

переключення означатиме подачу нового сигналу на вхід вибору мультиплексора з подальшою подачею даних на необхідний логічний компонент з набору. У такому наборі наявні декілька таких компонентів, які відповідають за обробку для кодів різної довжини. Подібні мультиплексори є на всьому шляху даних у схемотехнічній реалізації декодера.

Для запису даних та видачі результатів у декодер використовується шина даних, яка відповідає стандартній шині Avalon, зокрема, специфікація Avalon Memory-Mapped Interface. Таким чином, інтерфейс декодера є уніфікованим, і до нього можна проводити підключення зовнішніх пристроїв, які підтримують передачу даних за зазначеним стандартом. Для більшої універсальності опису мовою VHDL використовувались не готові Intellectual Property-ядра (IP-ядра), а інтерфейс був повністю описаний у вихідному коді проекту. Таким чином, реалізація цієї частини проекту не буде залежною від кінцевої мікросхеми. Моделювання запису даних зображено на діаграмі (рис. 1).

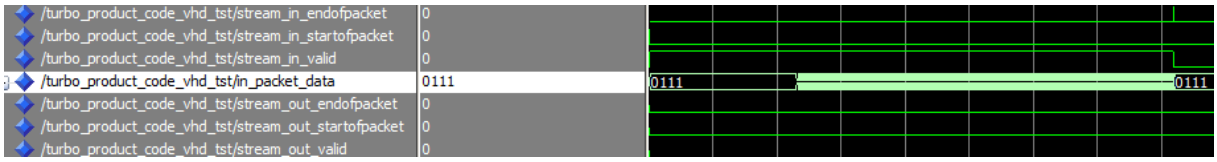


Рис. 1. Діаграма станів сигналів шини Avalon у процесі запису даних

На діаграмі видно, що певний проміжок часу шина даних є незмінною. Це відповідає запису даних у пам'ять для коду з довжинами складових, які не дорівнюють значенню степеня двійки, що обрані за базову довжину для груп кодів. У такому випадку необхідно заповнити пам'ять значеннями, які не впливатимуть на процес декодування. Після завершення декодування відбувається видача кінцевого масиву даних. Процес видачі декодованих даних у вигляді діаграми станів сигналів зображено на рис. 2.

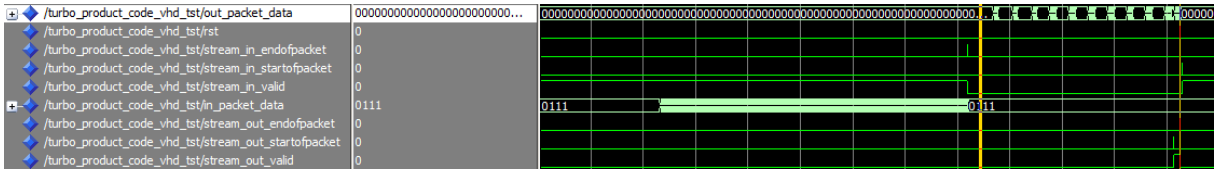


Рис. 2. Діаграма станів сигналів у процесі видачі даних

На діаграмі при порівнянні тривалості імпульсів видачі і запису видно, що видача відбувається набагато швидше, що пояснюється тим, що видача відбувається у паралельному форматі і для жорстких даних, тобто, для видачі повного пакета даних витрачається набагато менше часу, ніж на запис. Це, у свою чергу, гарантує те, що буфер буде звільнений до початку нової ітерації декодування з новим пакетом даних. Фактично видача даних при оцінюванні часових затрат у такому варіанті потребує навіть менше часу, ніж проведення однієї пів-ітерації, що однозначно дозволяє забезпечити вимогу щодо запису вхідних даних до закінчення видачі результату декодування. Варто також відзначити, що ширина шини даних при видачі відповідає довжині коду з максимальною довжиною кодового слова. Відповідно, на стороні, яка отримує оброблені дані, необхідно організувати відсічення частини даних, яка не відповідає довжинам складових кодів.

Основними моментами, які слід виділити у процесі безпосередньо декодування, є:

1. Пошук мінімальних позицій.
2. Генерація тестових векторів.
3. Отримання результатів жорсткого декодування.
4. Корекція м'яких значень.

Пошук мінімальних позицій у векторі є доволі складною операцією, яка потребує виконання великої кількості складних операцій. Логічні операції, які виконуються на цій стадії, також організовані у декілька стадій, через що наявна затримка між подачею вхідного вектора і отриманням результатів у вигляді трьох мінімальних позицій та значень у цих позиціях. Показовою є діаграма станів сигналів, представлена на рис. 3.

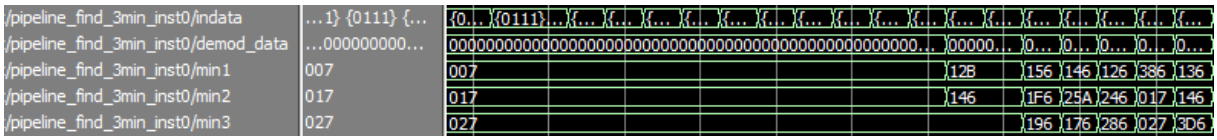


Рис. 3. Скріншот діаграми станів процесу пошуку позицій з мінімальними значеннями

З цієї діаграми добре видно, що проходження значень по внутрішній логічній мережі блока займає 12 тактів тактової частоти, на якій працює пристрій. Лише дані вказаної кількості тактів можуть бути передані до стадії генерації тестових векторів.

Процес генерації тестових векторів базується на зміні жорстких значень у знайдених позиціях у базовому векторі. Відбувається підстановка усіх можливих варіантів значень у ці позиції, тому один із векторів збігається з базовим вектором. На рис. 4 показано, як саме при моделюванні виглядають діаграми станів цих векторів.

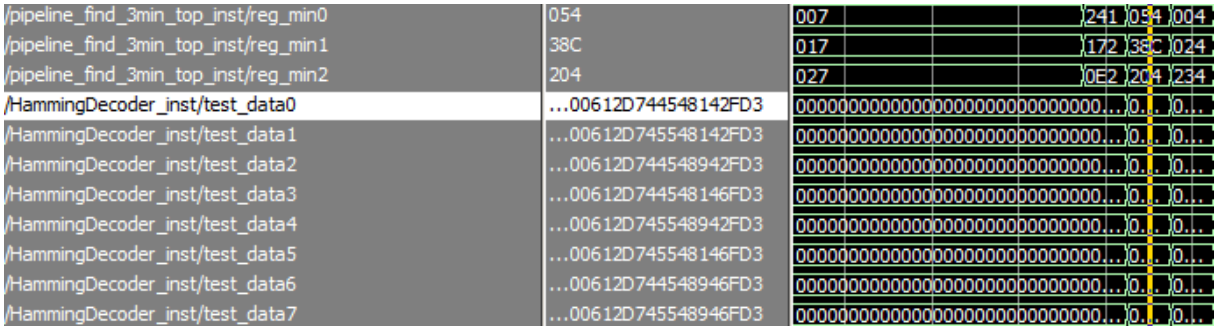


Рис. 4. Скріншот діаграми сигналів для генерації тестових векторів

Між подачею сигналів позицій та отриманням тестових векторів зі зміненими значеннями проходить лише один такт, тому ця стадія є більш швидкою порівняно з пошуком мінімумів. Як видно з рисунка, позиціями, в яких відбувається зміна для першого вектора, мають бути 0x24, 0x17, 0x0E (шістнадцяткове представлення). Курсор встановлений на наступному значенні виходу цього блока, тому легко переконатися, що відбулася зміна значень саме у необхідних позиціях (з метою зменшення місця, яке займає діаграма, тестові вектори так само наводяться у вигляді шістнадцяткових чисел).

Для кожного з тестових векторів обчислюється синдром. Ця операція обчислюється з використанням функціональності жорсткого декодера. Діаграму станів для цього процесу зображено на рис. 5.

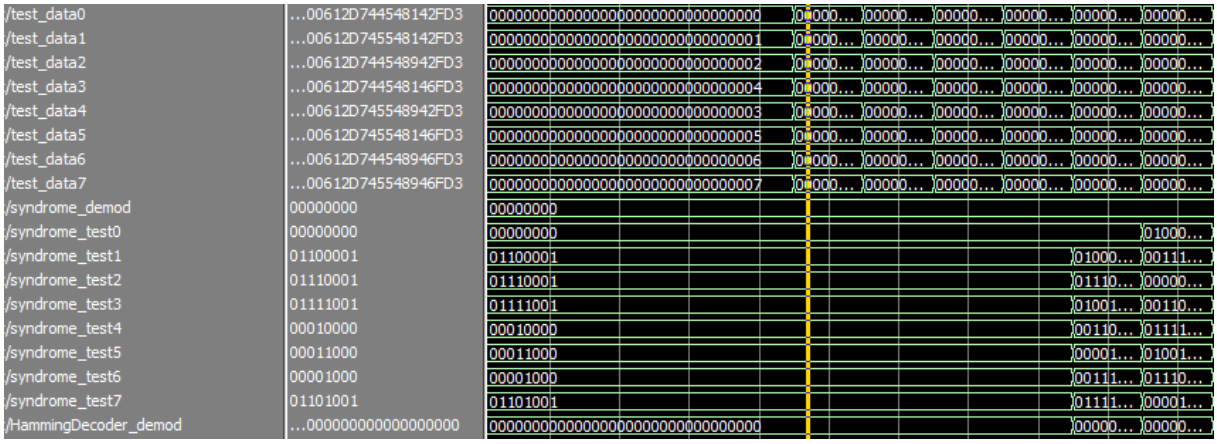


Рис. 5. Скріншот діаграми сигналів для стадії обчислення синдрому

Так само, як і попередньому випадку, затримка між видачею результату цього блока займає лише один такт. Це пояснюється тим, що на цій стадії використовуються прості бітові операції типу ВИКЛЮЧНЕ АБО, які застосовуються до всіх бітів вхідного повідомлення відповідно до обраного коду. Проте необхідною є організація затримки видачі для синхронізації цього блока з наступними та паралельними. Саме з цією метою кінцевий результат проходить через ланцюг регістрів. Вони забезпечують необхідну затримку у видачі результату.

Після цього етапу проходить корекція жорсткого вектора відповідно до значення синдрому. На цій стадії може бути інвертований один із бітів у тестових векторах або у вхідному векторі (рис. 6).

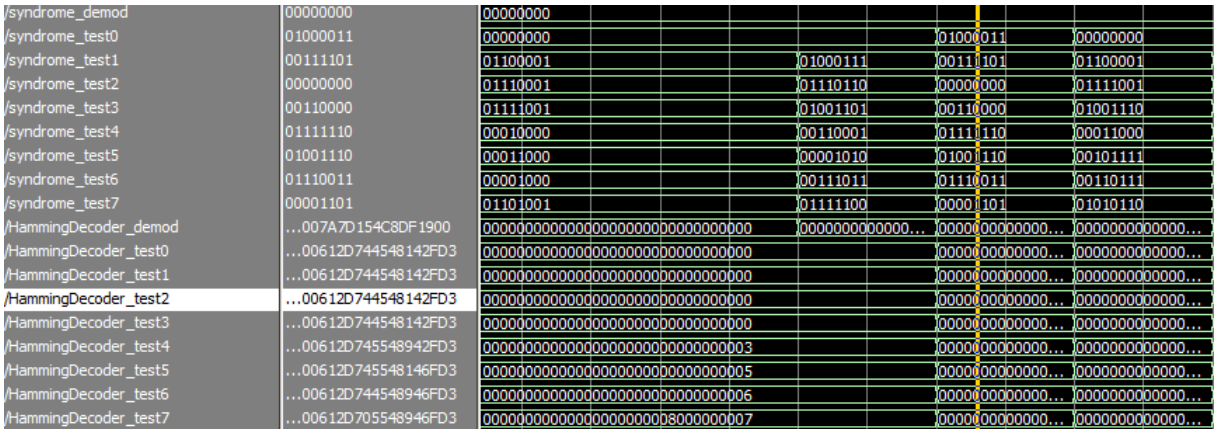


Рис. 6. Скріншот діаграми сигналів для процесу жорсткого декодування

Саме ці жорсткі вектори використовуються у подальшому для обчислення м'яких значень залежно від того, які значення синдромів були отримані.

На стадії корекції м'яких значень проводиться обробка відповідно до усіх даних, які може використовувати декодер (м'які вхідні значення, тестові вектори та їх синдроми та ін.). У результаті цієї стадії отримуються нові м'які значення, які є входом до наступної пів-ітерації декодера. Корекція відбувається шляхом:

1. Зміни знака м'якого значення.
2. Зміни амплітуди сигналу.

Саме ці дві операції характеризують цю стадію декодування у запропонованому декодері.

Діаграма станів основних сигналів при записі результуючих даних показана на рис. 7. За запис даних у пам'ять відповідальний окремий модуль, який, окрім безпосередньо самого запису, виконує також зсув даних з метою забезпечення подальшого коректного зчитування на наступній пів-ітерації.

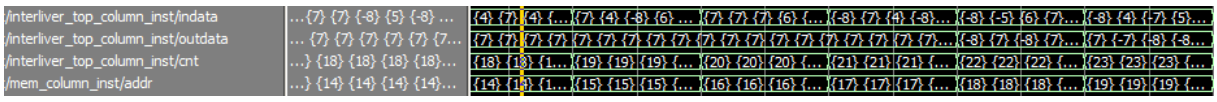


Рис. 7. Скріншот діаграми сигналів для процесу запису

У цьому випадку на діаграмі представлені масиви чисел, тому повністю продемонструвати значення сигналів не є можливим. Проте наявні сигнали cnt і addr, які вказують на те, як необхідно провести зсув даних і в які адреси пам'яті провести запис результуючих даних. Відповідно до наведеного рисунка затримка між отриманням даних на вході і записом їх у пам'ять становить 4 такти.

Також важливою характеристикою декодера є те, скільки тактів займає подача вхідних значень та початок видачі результату. Проходження даних через усі компоненти комбінаційної логіки займає суттєву кількість тактів. На рис. 8 зображено діаграму станів, яка демонструє вихід та вхід блока декодування.

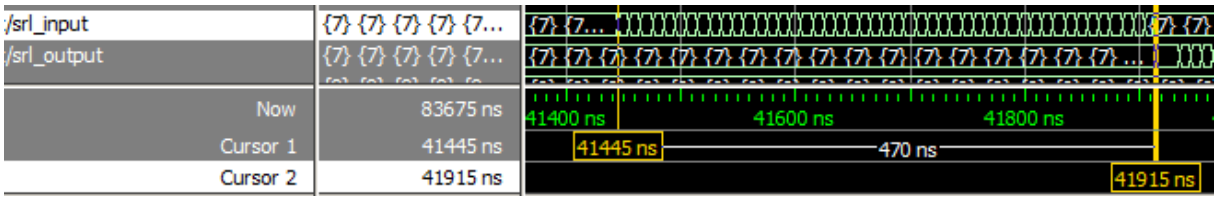


Рис. 8. Скріншот діаграми сигналів для входу і виходу даних

З цієї діаграми зрозуміло, що кількість тактів, які проходять після подачі першого вектора даних, становить 47 тактів (період роботи тактової частоти при моделюванні у цьому випадку заданий значенням 10 нс). Тобто, варто відзначити доволі суттєву затримку у видачі результату декодування вектора. З цим пов'язане і обмеження у максимальній швидкодії декодера, оскільки стадія проходження через конвеєр займає доволі велику кількість часу.

З приводу загальної перевірки роботи декодера і представлення його роботи під час моделювання декодування розділене на декілька стадій (обробка рядків і обробка стовпців), які чергуються між собою, таким чином формуючи ітерацію. На верхньому рівні керування декодером здійснюється скінченим автоматом, який подає необхідні керуючі імпульси на входи відповідних блоків та зупиняє операції відповідно до розмірності коду. Діаграму станів основних сигналів, якими керує автомат, наведено на рис. 9.

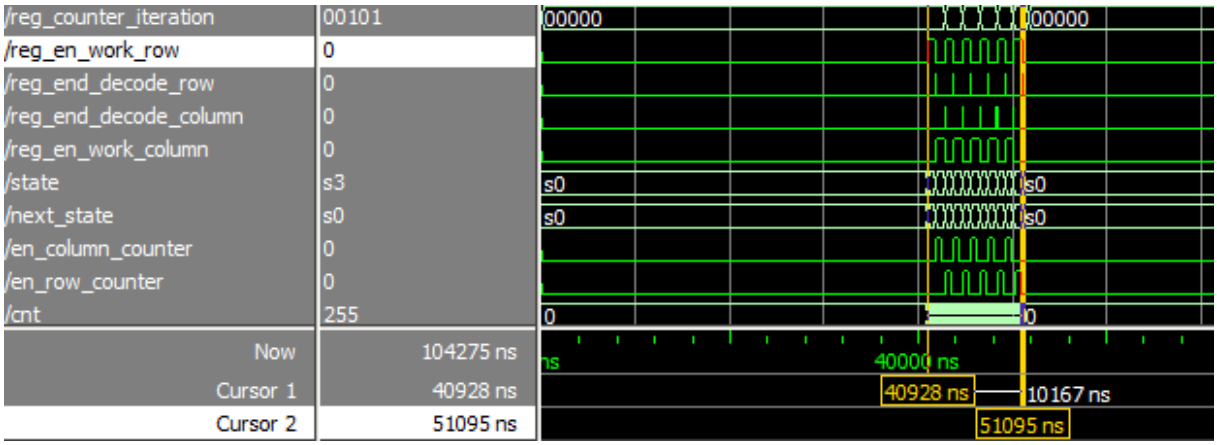


Рис. 9. Скріншот діаграми станів керуючих сигналів автомату

Як видно з рисунка, повний процес декодування займає значно більше часу, ніж очікування запису на попередньому. Це пов'язано з тим, що охоплюються всі операції декодування. Керуючий скінчений автомат працює на основі лічильника і відповідно до його значення визначається тривалість керуючих імпульсів. Лічильник постійно інкрементується з переведенням до нульового значення при досягненні кінцевого значення, яке залежить від довжини коду. Після обнулення лічильник рахує спочатку до заданого значення.

Висновки. У роботі представлено методику проведення моделювання розробленого схемотехнічного опису мовою VHDL декодера ТР-кодів. При моделюванні використовувались засоби середовища Mentor Graphics ModelSim. Розроблено спеціалізоване тестове оточення, яке дозволяє подавати дані на вхід декодера та отримувати результат з записом отриманих даних у файл. Особливістю розробленого тестового оточення є те, що воно дозволяє проводити декодування кількох кодів у рамках одного тестового запуску, забезпечуючи процес переключення між різними кодами, з якими може працювати декодер. Представлено діаграми сигналів основних процесів, які відбуваються під час декодування. Також проведено порівняння отриманих результуючих значень декодування з очікуваними, яке показало повний збіг розробленої математичної моделі та отриманих даних.

Список літератури

1. Berrou C., Glavieux A. Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. *IEEE ICC'93*. 1993. P. 1064–1071.
2. Model Sim Intel FPGA Edition Software. URL: https://www.intel.com/content/www/us/en/software/programmable/quartus-prime/model-sim.html (дата звернення: 20.10.2018). Назва з екрану.
3. Mealy B., Tappero F. Free range VHDL. Free range factory, 2011. 151 p.
4. VHDL testbench tutorual. URL: https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/1772382/mod_resource/content/3/vhdl_testbench_tutorial.pdf (дата звернення: 19.10.2018). Назва з екрану.
5. Li Y., Huo J., Li X., Wen J. et al. An open-loop Sin microstepping driver based on FPGA and the co-simulation of Modelsim and Simulink. *International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 24-26 Aug. 2010*. Changchun, China, 2010. P. 223–227. DOI: 10.1109/CMCE.2010.5609859
6. Kung Y.-S., Quynh N. V., Nguyen H. T. et al. Simulink/Modelsim co-simulation and FPGA realization of speed control IC for PMSM drive. *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 23. P. 718–727. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2571
7. Savas E. VHDL Basic I/O. URL: http://people.sabanciuniv.edu/erkays/el310/io_10.pdf (дата звернення: 20.10.2018). Назва з екрану.
8. Krainyk Y., Perov V., Musiyenko M. Low-complexity high-speed soft-hard decoding for turbo-product codes. *IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. Kyiv, 2017. P. 471–474.
9. Крайник Я. М., Перов В. О. Метод комбінованого декодування Turbo-Product-кодів для реалізації на базі FPGA. *Наукові праці:* наук. журн. Чорномор. нац. ун-ту ім. Петра Могили. Миколаїв, 2017. Т. 308. Вип. 296. С. 100–104.
10. Krainyk Y., Perov V., Musiyenko M., Davydenko Ye. Hardware-oriented Turbo-Product codes decoder architecture. *Conference Proceedings of IEEE Intelligent Data Acquisition and Advanced Computer Systems-2017*. Bucharest, 2017. P. 151–154.

References

1. Berrou, C., Glavieux, A., Thitimajshima, P. (1993) Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes. *IEEE ICC'93*, pp. 1064–1071.
2. Intel.com (2018) Model Sim Intel FPGA Edition Software. URL: https://www.intel.com/content/www/us/en/software/programmable/quartus-prime/model-sim.html [Accessed 20.10.2018].
3. Mealy, B., Tappero, F. (2011). Free range VHDL. Free range factory, 151 p.
4. Moodle.epfl.ch (2017) VHDL testbench tutorual. URL: https://moodle.epfl.ch/ pluginfile.php/1772382/mod_resource/ content/3/vhdl_testbench_tutorial.pdf [Accessed 19.10.2018].
5. Li, Y., Huo, J., Li, X., Wen, J. et al. (2010) An open-loop Sin microstepping driver based on FPGA and the co-simulation of Modelsim and Simulink. In the: *International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*, 24-26 Aug., Changchun, China, pp. 223–227.
6. Kung, Y.-S., Quynh, N. V., Nguyen, H. T et al. (2011) Simulink/Modelsim co-simulation and FPGA realization of speed control IC for PMSM drive. *Procedia Engineering*, Vol. 23, pp. 718–727. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.2571
7. Savas, E. VHDL Basic I/O URL: http://people.sabanciuniv.edu/erkays/el310/io_10.pdf [Accessed 20.10.2018].
8. Krainyk, Y., Perov, V., Musiyenko, M. (2017) Low-complexity high-speed soft-hard decoding for turbo-product codes. In the: *IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. Kyiv, pp. 471–474.
9. Krainyk, Ya. M., Perov, V. O. (2017) Method of combined decoding of Turbo-Product-codes for the implementation in FPGA. *Naukovi pratsi:* sci. journal of Petro Mohyla Black Sea national un-ty, Vol. 308, iss. 296, pp. 100–104 [in Ukrainian].
10. Krainyk, Y., Perov, V., Musiyenko, M., Davydenko, Ye. (2017) Hardware-oriented Turbo-Product codes decoder architecture. In the: *Conference Proceedings of IEEE Intelligent Data Acquisition and Advanced Computer Systems-2017*. Bucharest, pp. 151–154.

Ya. M. Krainyk, *Ph.D., doctoral student, senior lecturer,*
e-mail: codebreaker7@ukr.net, yaroslav.krainyk@chmnu.edu.ua
V. O. Perov, *post-graduate,*
e-mail: perov.vlad92@gmail.com
M. P. Musiyenko, *D.Tech.S., professor*
e-mail: musienko2001@ukr.net
Petro Mohyla Black Sea National University
68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, Ukraine

MODELING OF TURBO-PRODUCT-CODES DECODING PROCESS USING MODELSIM ENVIRONMENT

In the article the results of modeling of developed Turbo-Product-codes (TP-codes) decoder in ModelSim environment have been presented. The method of modeling and implementation of test-benches for this type of devices are described. The decoder under modeling has a feature of changing the code to process the message immediately during the work state. Correspondingly, it is able to work not just with one code but also with a set of codes. Configuration change can be performed after the end of decoding current encoded message. It provides a great advantage as such decoder can utilize different codes according to external conditions concerned with signal transmission. It allows to improve the efficiency of information transmission system and can eventually make a notable gain for many decoder's working parameters (correction ability, throughput, cost of development, etc.). All the stages of decoder work are thoroughly considered and presented with wave diagrams for every single stage. ModelSim environment ensures the possibility of demonstration of each separate block, as well as the whole system and intercommunication among blocks. It makes possible to assess the correctness of decoding stages and general decoding results. Testbench and decoder itself have been implemented in VHDL description language. During the work of testbench file operations are used intensively (input, output, and intermediate data). The result of testbench work is compared with the result of software model to prove the correctness of implementation. The comparison is performed byte-to-byte and demonstrates the same results both for ModelSim and software model. In future, implemented means can be extended for using in decoders modeling for TP-codes with different structure and for other types of error-correcting codes.

Keywords: *modeling, testbench, decoder, Turbo-Product-codes.*

УДК 004.41:004.056

О. В. Коваленко, *к.т.н., доцент*
e-mail: clashav@gmail.com
Центральноукраїнський національний технічний університет,
пр. Університетський, 8, м. Кропивницький, 25006, Україна

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕСТУВАННЯ DOM XSS ВРАЗЛИВОСТІ ТА ВРАЗЛИВОСТІ ДО SQL ІН'ЄКЦІЙ

В роботі розроблено математичні моделі технології тестування комплексу DOM XSS вразливостей і технології тестування вразливості до SQL ін'єкцій В основу математичного моделювання покладено підхід GERT-мережевого синтезу. Математична модель технології тестування комплексу DOM XSS вразливостей відрізняється від відомих урахуванням специфіки комплексного аналізу різних типів XSS вразливості («stored XSS», «reflected XSS» і DOM Based XSS), а також включенням в алгоритм процедур автоматичного аудиту DOM Based XSS окремо. Це дає можливість провести аналітичне оцінювання часових витрат тестування зазначених вразливостей в умовах реалізації стратегії розробки безпечного програмного забезпечення. Математична модель технології тестування вразливості до SQL ін'єкцій відрізняється від відомих вдосконаленим способом визначення відстані між результатами ін'єкції. Використання в запропонованому способі критерію Джаро–Вінклера для порівняння результатів ін'єкції SQL коду і введення граничного значення дозволить підвищити точність результатів тестування безпеки програмного забезпечення.

Ключові слова: *технології тестування комплексу DOM XSS, SQL ін'єкції, GERT-мережа, процес тестування безпеки Web-додатків.*

Збільшення кількості користувачів всесвітньої мережі Інтернет, постійне зростання інформаційного, фінансового і ділового контенту в кіберпросторі обумовлює підвищення попиту на Web-додатки. У той же час цей процес викликає зворотну негативну реакцію з боку зловмисників, що мають постійну можливість аналізу об'єктивно існуючих вразливостей Інтернет-додатків.

Аналіз різного роду статистичних матеріалів відомих організацій показав, що одним із найбільш небезпечних видів атак (вразливостей) є міжсайтовий скриптинг – XSS (Cross Site Scripting).

Аналіз літератури [1–4] показав, що міжсайтовий скриптинг – це помилка валідації призначених для користувача даних, яка дозволяє передати JavaScript код на виконання в браузер користувача. У широких колах фахівців такі атаки часто також називають HTML ін'єкціями, тому що механізм їх впровадження дуже схожий з SQL-ін'єкціями, але, на відміну від останніх, впроваджуваний код виповнюється в браузері користувача.

З робіт [3, 4] відомо, що під XSS зазвичай мається на увазі моментальний і відкладений міжсайтовий скриптинг. При моментальному XSS зі шкідливим кодом (Javascript) повертається атакується сервером негайно як відповідь на HTTP запит. Відкладений XSS означає, що ця шкідлива програма зберігається на атакованій системі і пізніше може бути впроваджена в HTML сторінку вразливої системи. Така класифікація передбачає, що фундаментальна властивість XSS полягає в тому, що ця шкідлива програма відсилається з браузера на сервер і повертається в цей же браузер (моментальний XSS) або будь-який інший браузер (відкладений XSS). Існують механізми виникнення подібного роду загроз, а також шляхи можливого їх блокування. Однак, щоб ідентифікувати ці загрози і можливі наслідки їх поширення в процесі безпечного управління IT-проектами, а також запропонувати оптимальні шляхи вирішення цієї проблеми, існує необхідність математичної формалізації процесу їх ініціалізації і поширення.

У ряді робіт здійснювалися спроби математичної формалізації процесу пошуку і усунення вразливостей подібного роду. Так, у роботах [1, 5, 6] представлені узагальнені матеріали механізмів і процедур безпечного програмування, які мають на меті зниження ризиків уразливості. У роботах [7–9] представлені математичні моделі, які описують алгоритми аналізу Web-додатків (у тому числі й алгоритм однієї з найбільш поширених уразливостей – DOM (Document Object Model) XSS уразливості). Однак представлені моделі не враховують останні тенденції XSS уразливості, а саме відмінність їх типів («stored XSS», «reflected XSS» і DOM Based XSS) і необхідність їх виявлення.

Саме тому особливо актуальним завданням у цьому напрямку є моделювання алгоритму виявлення DOM XSS уразливості з урахуванням комплексу трьох їх можливих типів. Також на основі аналізу методології тестування вразливості Web-додатків до DOM XSS можна розробити алгоритм аналізу вразливості Web-додатків до SQL ін'єкцій

Метою роботи є розробка математичних моделей технології тестування DOM XSS уразливості та вразливості до SQL ін'єкцій.

Проведені дослідження показали, що вразливість DOM XSS є підвидом XSS, в разі якої результат атаки знаходиться не у відповіді сервера і, відповідно, не в HTML коді, а в DOM структурі HTML сторінки. При цьому в режимі «stored XSS» здійснюється передача і зберігання XSS на сервері. Надалі на цю сторінку перенаправляються користувачі. У режимі «reflected» XSS повертається в тілі відповіді від сервера на конкретний запит із самої XSS. Результати атак за допомогою таких уразливостей можна виявити тільки в процесі виконання або аналізі DOM структури. Сам механізм атаки, а саме ін'єкція Javascript коду у вразливий сегмент, залишається незмінним.

Слід зауважити, що одним із найменш математично формалізованих і досліджуваних типів XSS є DOM Based XSS. Можливо, це пов'язано з тим, що навіть сучасними сканерами їх не часто можна виявити і відповідно представити чіткий алгоритм виконання операцій аналізу вразливості.

Для математичної формалізації алгоритму виявлення комплексу DOM XSS уразливостей різних типів скористаємося основними положеннями мережевого GERT-моделювання, докладно описаними в роботах [5, 7].

Основні етапи алгоритму виявлення комплексу DOM XSS уразливостей можна описати таким чином:

1) З коду аналізованої сторінки витягуються всі теги <script> і формується список тегів для аналізу.

2) Виконується аналіз вмісту тега. При цьому, якщо теги не містять код, а посилаються на віддалений файл, виконується звернення до файлу та отримання коду з нього. У вмісті файлу знаходяться потенційні небезпечні ділянки коду (sink), які використовують вхідні дані клієнта (source).

3) Якщо в коді тега використовується source, виконується атака з певним маркером, який можна відстежити в DOM структурі сторінки після виконання коду (наприклад ін'єкція певного текстового вмісту в DOM).

4) Виконується перевірка вмісту DOM. Якщо в результаті атаки маркер знаходиться в DOM, можна зробити висновок про наявність DOM уразливості.

5) Після впровадження даних вручну і аналізу результатів виконуваності на перших чотирьох етапах виконується аудит коду (може бути здійснений дистанційно).

6) Кроки 2–5 виконуються для кожного тега <script> на сторінці.

Для побудови формальної моделі алгоритму виявлення комплексу DOM XSS уразливостей обрано стохастичну GERT-мережу.

Мережі GERT складаються з вузлів типу AND, INCLUSIVE-OR і EXCLUSIVE-OR і гілок з двома й більше параметрами. Гілка має напрямок, вузол початку і вузол кінця. Параметри гілки містять:

1) ймовірність проходження гілки (P_a) за умови, що вузол, який є джерелом гілки, був реалізований;

2) час (t_a) проходження гілки, якщо вона буде реалізована.

Час t_a може бути випадковою величиною. Якщо гілка не є частиною реалізації мережі, тобто під час виконання процесу активність, пов'язана з гілкою, не відбувається, то $t_a = 0$.

Вузол у стохастичній мережі GERT складається з функції входу (контрибутивної

функції) і функції виходу (дистрибутивної функції). Кожна з функцій описується певним логічним відношенням щодо пов'язаних гілок.

В цілому, проведені дослідження показали, що GERT-моделювання є ефективним способом визначення заздалегідь невідомих законів і функцій розподілу випадкових величин при відомому алгоритмі функціонування (процесу). Саме тому як інструмент математичного моделювання нами було вибрано GERT-моделювання.

У розглянутій мережі вузли графа інтерпретуються станами комп'ютерної системи в процесі функціонування DOM структури, а гілки графа – ймовірнісно-часовими характеристиками переходів між станами. Характеристики гілок моделі представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики гілок моделі

№ п/п	Гілка	W-функція	Ймовірність	Твірна функція моментів
1	(1, 2)	W_{12}	p1	$\lambda_1/(\lambda_1-s)$
2	(2, 3)	W_{23}	p2	$\lambda_2/(\lambda_2-s)$
3	(2, 4)	W_{24}	p3	$\lambda_3/(\lambda_3-s)$
4	(3,5)	W_{35}	p2	$\lambda_2/(\lambda_2-s)$
5	(5,6)	W_{56}	p4	$\lambda_4/(\lambda_4-s)$
6	(6,1)	W_{51}	1 – p4	$\lambda_5/(\lambda_5-s)$
7	(4,2)	W_{42}	p3	$\lambda_3/(\lambda_3-s)$
8	(5,7)	W42	p4	$\lambda_4/(\lambda_4-s)$

Еквівалентна W-функція часу виконання алгоритму тестування комплексу DOM XSS різних типів (у тому числі DOM Based XSS) вразливостей дорівнює:

$$W_E(s)=\frac{W_{12}W_{23}W_{35}W_{56}+W_{12}W_{24}W_{42}W_{23}W_{35}W_{57}}{1-W_{12}W_{23}W_{35}W_{51}-W_{12}W_{24}W_{42}W_{23}W_{35}W_{56}W_{61}}=$$
$$=\frac{p_1p_2^2\lambda_1\lambda_2^2\left(p_4\lambda_4(\lambda_3-s)^2(\lambda_5-s)+p_3^2q_1\lambda_3^2\lambda_5(\lambda_4-s)\right)}{(\lambda_4-s)\left(\begin{array}{l}(\lambda_1-s)(\lambda_2-s)^2(\lambda_3-s)^2(\lambda_5-s)-\\-p_1\lambda_1p_2^2\lambda_2^2q_1\lambda_5(\lambda_3-s)^2-p_1p_2^2p_3^2p_4\lambda_1\lambda_2^2q_1\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5\end{array}\right)}, \quad (1)$$

де $1-p_4=q_1$.

Особливість цього процесу полягає в різнорідності аналізованих і оброблюваних даних. При цьому можливі різні випадки організації зворотного зв'язку.

Для GERT-мереж з циклами не існує простих методів знаходження особливих точок функції $\Phi_E(z)$ заміни дійсних змінних $(z=-i\varsigma)$, де ς – дійсна змінна. Це пояснюється тим, що для знаходження особливих точок необхідно вирішувати нелінійні рівняння, і чим складніша структура GERT-мережі, тим складніше і вихідне рівняння. Тому в ході моделювання пропонується вдатися до подібної заміни. Виконуючи комплексне перетворення $z=-s$, отримаємо:

$$\Phi(z)=\frac{uz^3+vz^2+bz+k}{(\lambda_4+z)\left(z^6+cz^5+dz^4+gz^3+hz^2+wz+m\right)}, \quad (2)$$

де $u=-p_1p_2^2p_4\lambda_1\lambda_2^2\lambda_4$,

$v=p_1p_2^2p_4\lambda_1\lambda_2^2\lambda_4(\lambda_5+2\lambda_3)$,

$b=-p_1p_2^2p_4\lambda_1\lambda_2^2\lambda_4\lambda_3(2\lambda_5-\lambda_3)$,

$k=-p_1p_2^2\lambda_1\lambda_2^2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5\left(p_4+p_3^2q_1\right)$,

$c=\lambda_1+2\lambda_2+2\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5$,

$$d=-\left(\begin{array}{l}2\lambda_3\lambda_5\lambda_4+\lambda_1\lambda_5\lambda_4+2\lambda_2\lambda_5\lambda_4+\\+\lambda_3^2+2\lambda_1\lambda_3+4\lambda_2\lambda_3+2\lambda_1\lambda_2+\lambda_2^2\end{array}\right),$$

$$g=\left(\begin{array}{l}\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+4\lambda_1\lambda_2\lambda_4\lambda_5+4\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5+\\\lambda_2^2+\lambda_3^2\lambda_1+2\lambda_3^2\lambda_2+4\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4+\\+2\lambda_2^2\lambda_3+\lambda_2^2\lambda_1+\lambda_3^2\lambda_4+\lambda_2^2\lambda_4\end{array}\right),$$

$$h=-\left(\begin{array}{l}\lambda_1\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+2\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+\\+4\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5+2\lambda_2^2\lambda_3\lambda_4\lambda_5+\\+\lambda_2^2\lambda_3^2\lambda_4+2\lambda_1\lambda_2^2\lambda_3\lambda_4-\\-p_1p_2^2p\ q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_4\lambda_5\end{array}\right),$$

$w=\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+\lambda_2^2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+$

$+2\lambda_1\lambda_2^2\lambda_3\lambda_4\lambda_5+\lambda_1\lambda_2^2\lambda_4\lambda_3-$,

$-2p_1p_2^2p_4q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5$

$m=p_1p_2^2p_4q_1\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5+$

$+p_1p_2^2p_3p_4q_1\lambda_1\lambda_2^2\lambda_3^2\lambda_4\lambda_5-\lambda_1\lambda_2^2\lambda_3\lambda_4\lambda_5$.

Щільність розподілу ймовірностей часу виконання алгоритму аналізу DOM XSS вразливості

$$\varphi(x)=\frac{1}{2\pi i}\int_{-i\infty}^{i\infty} e^{zx}\frac{uz^3+vz^2+bz+k}{\left(z^6+cz^5+dz^4+gz^3+hz^2+wz+m\right)}dz, \quad (3)$$

де операція інтегрування виконується за допомогою інтегралу Бромвича–Вагнера [5].

Спосіб інтегрування залежить від того, чи має функція $\Phi(z)$ лише прості си, чи полюси деякого порядку.

У тому випадку, коли функція $\Phi(z)$ має лише прості полюси, вираз $e^{zx}\Phi(z)$ можна представити у вигляді

$$e^{zx}\Phi(z)=\frac{e^{zx}\left(uz^3+vz^2+bz+k\right)}{z^7+\gamma_6 z^6+\gamma_5 z^5+\gamma_4 z^4+\gamma_3 z^3+\gamma_2 z^2+\gamma_1 z+\gamma_0}=\frac{\mu(z)}{\psi(z)}, \quad (4)$$

де $\gamma_6=c$, $\gamma_5=c+d$, $\gamma_4=d+g$, $\gamma_3=g+h$, $\gamma_2=h+w$, $\gamma_1=w+m$, $\gamma_0=m$.

Тоді щільність розподілу часу виконання алгоритму аналізу DOM XSS вразливості всіх типів дорівнює

$$\varphi(x)=\sum_{k=1}^{7}\operatorname{Res}\left[e^{zx}\Phi(z)\right]=\sum_{k=1}^{7}\frac{\mu(z_k)}{\psi(z_k)}=\sum_{k=1}^{7}\frac{e^{zx}\left(uz^3+vz^2+bz+k\right)}{7z_k^6+6\gamma_6 z_k^5+5\gamma_5 z_k^4+4\gamma_4 z_k^3+3\gamma_3 z_k^2+2\gamma_2 z_k+\gamma_1}. \quad (5)$$

Функція $\Phi(z)$, крім рішень, які визначаються корінням рівняння $z^6+cz^5+dz^4+gz^3+hz^2+wz+m=0$, може мати і полюс другого або третього порядку. Тоді щільність розподілу часу передачі повідомлення $\varphi(x)$ знаходиться за формулою знаходження відрахувань r_{-1} від полюсів z_k порядку n:

$$r_{-1}=\frac{1}{(n-1)!}\lim_{z\to z_k}\frac{d^{n-1}\left((z-z_k)^n e^{zx}\Phi(z)\right)}{dz^{n-1}}. \quad (6)$$

Вираз (6) являє собою дробово-раціональну функцію відносно z зі ступенем знаменника більшим, ніж ступінь чисельника. Тому для нього виконується умова леми Жордана [5].

Многочлен $z^6+cz^5+dz^4+gz^3+hz^2+wz+m$ породжує сім полюсів. Рішення рівняння $z^6+cz^5+dz^4+gz^3+hz^2+wz+m=0$ може бути знайдено будь-яким методом, наприклад, за формулами Вієта [5]. В результаті обчислюються особливі точки z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6.

Таким чином, на основі експоненційної GERT-мережі розроблено математичну модель технології тестування комплексу DOM XSS уразливостей усіх типів («stored XSS», «reflected XSS» і DOM Based XSS), яка відрізняється від відомих урахуванням їх специфіки та необхідності автоматичного аудиту DOM Based XSS окремо.

Розроблена модель може бути використана для дослідження Інтернет-Web-додатків у мережевих структурах, а також при розробці нових засобів і протоколів захисту даних у комп'ютерних системах і мережах.

Застосування експоненційних стохастичних моделей GERT дасть можливість використання результатів, отриманих в аналітичному вигляді (функції, щільності розподілу), для проведення порівняльного аналізу і досліджень більш складних комп'ютерних систем математичними методами.

Відмітною особливістю алгоритму аналізу вразливості Web-додатків до SQL ін'єкцій є облік тільки вразливості, яка є в GET параметрах URL і використовує тільки сліпий метод ін'єкції SQL коду, що використовує особливість використання булевих операторів у SQL запитах (Boolean blind SQL injection) [10].

Етапи алгоритму аналізу вразливості Web-додатка до SQL ін'єкцій можна описати таким чином:

1. З введеного URL посилання виходить список GET параметрів.

2. Виконується перевірка стабільності Web-сторінки. Для цього виконуються два послідовні запити в Web-сторінку і обчислюється відстань між вмістом HTML коду сторін-

ки за допомогою критерію Джаро–Вінклера [5]. Якщо значення критерію менше певного порогового значення, виконувати подальший аналіз неможливо.

3. У параметр GET запиту виконується ін'єкція SQL коду, який не змінює результат запиту до бази даних і зберігається результуючий HTML код.

4. У параметрі GET запиту виконується ін'єкція SQL коду, який змінює результат запиту до бази даних, що призводить або до отримання повного набору даних з таблиці, або до відсутності результату, після чого зберігається результуючий HTML код.

5. За допомогою критерію Джаро–Вінклера виконується порівняння результатів ін'єкції SQL коду. Якщо значення критерію менше певного порогового значення, то в даному GET параметрі є можлива вразливість до SQL ін'єкції.

6. Кроки 2–5 повторюються для всіх параметрів GET запиту наданого URL.

Побудуємо відповідно до представленого описом мережеву GERT-модель технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій. Графічне зображення GERT-моделі представлено на рис. 1.

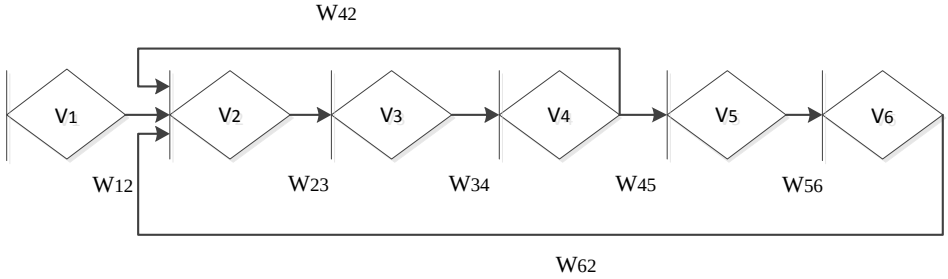


Рис. 1. GERT-модель технології тестування вразливостей до SQL ін’єкцій

У представленій мережі вузли графа інтерпретуються станами комп'ютерної системи в процесі тестування уразливості до SQL ін'єкцій, а гілки графа – ймовірнісно-часовими характеристиками переходів між станами. Зокрема, гілка (1, 2) характеризує час отримання і аналізу GET-параметрів з введеного URL посилання. Гілка (2, 3) відображає час відправлення первинних і вторинних запитів у Web-сторінки. Гілка (3, 4) задає випадковий час порівняння сторінок (час обчислення відстані між вмістом HTML коду сторінки за допомогою критерію Джаро–Вінклера). Гілка (4, 5) характеризує час, за який виконується ін'єкція SQL коду, який не змінює результат запиту до бази даних, а також який змінює результат запиту до бази даних відповідно. Далі гілка (5, 6) характеризує час порівняння результатів ін'єкції SQL коду. Гілка (4, 2) характеризує часові характеристики повернення системи в початковий стан, коли значення критерію Джаро–Вінклера менше певного порогового значення, в той же час гілка (6, 2) відображає часові характеристики переходу до нової перевірки в разі, якщо значення критерію Джаро–Вінклера більше певного порогового значення.

Еквівалентна W-функція часу виконання технології тестування вразливостей до SQL ін’єкцій дорівнює

$$W_E(s)=\frac{W_{12}W_{23}W_{34}W_{45}W_{56}}{1-W_{12}W_{23}W_{34}W_{42}-W_{12}W_{23}W_{34}W_{45}W_{56}W_{62}}=$$

$$=\frac{p_1p_2p_3p_4p_5\lambda_1\lambda_2\lambda_3^2\lambda_4(\lambda_3-s)(\lambda_5-s)(\lambda_6-s)}{\left[\begin{array}{l}(\lambda_1-s)(\lambda_2-s)(\lambda_3-s)^2(\lambda_4-s)(\lambda_5-s)(\lambda_6-s)-\\ -\left(\begin{array}{l}p_1p_2p_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3\times\\ \times\left(q_1\lambda_5\left(\lambda_3\lambda_4-\lambda_4s-\lambda_3s-s^2\right)(\lambda_6-s)-p_4p_5p_6\lambda_3\lambda_4\lambda_6(\lambda_5-s)\right)\end{array}\right)\end{array}\right]}, \quad (8)$$

де $1-p_4=q_1$.

Аналогічно алгоритму тестування комплексу DOM XSS різних типів виконується комплексне перетворення $z = -s$.

Щільність розподілу ймовірностей часу виконання технології тестування вразливостей до SQL ін'єкцій дорівнює

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\pi i}\int_{-i\infty}^{i\infty} e^{zx}\frac{vz^2 + bz + k}{\left(z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m\right)}dz, \qquad (9)$$

де операція інтегрування виконується за допомогою інтегралу Бромвича–Вагнера [5].

Тоді вираз $e^{zx}\Phi(z)$ можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} &e^{zx}\Phi(z) = \\ &= \frac{e^{zx}\left(vz^2 + bz + k\right)}{z^7 + rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m} = \\ &= \frac{\mu(z)}{\psi(z)} \end{aligned} \qquad (10)$$

Тоді щільність розподілу часу виконання алгоритму тестування вразливості до SQL ін'єкцій дорівнює

$$\varphi(x) = \sum_{k=1}^{7} \operatorname{Res}\left[e^{zx}\Phi(z)\right] = \sum_{k=1}^{7}\frac{\mu(z_k)}{\psi(z_k)} = \sum_{k=1}^{7}\frac{e^{zx}\left(vz^2 + bz + k\right)}{7z_k^6 + 6rz_k^5 + 5cz_k^4 + 4dz_k^3 + 3gz_k^2 + 2hz_k + w}. \qquad (11)$$

Сім полюсів породжує многочлен $rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m$. Рішення рівняння $rz^6 + cz^5 + dz^4 + gz^3 + hz^2 + wz + m = 0$ може бути знайдено будь-яким методом, наприклад, за формулою Вієта [5]. В результаті обчислюються особливі точки z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7.

Таким чином, на основі експоненційної GERT-мережі розроблено математичну модель технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій, яка відрізняється від відомих вдосконаленим способом визначення відстані між результатами ін'єкції. Використання в запропонованому способі критерію Джаро–Вінклера для порівняння результатів ін'єкції SQL коду і введення порогового значення дозволить підвищити точність результатів тестування уразливості до SQL ін'єкцій.

Висновки. У роботі розроблено математичні моделі технології тестування DOM XSS уразливості і технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій. В основу математичного моделювання покладено підхід GERT-мережевого синтезу. В результаті розроблено математичну модель процесу тестування Web-додатків.

Математична модель технології тестування комплексу DOM XSS уразливостей відрізняється від відомих урахуванням специфіки комплексного аналізу різних типів XSS уразливості («stored XSS», «reflected XSS» і DOM Based XSS), а також включенням в алгоритм процедур автоматичного аудиту DOM Based XSS окремо. Це дає можливість провести аналітичне оцінювання часових витрат тестування зазначених уразливостей в умовах реалізації стратегії розробки безпечного програмного забезпечення.

Математична модель технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій відрізняється від відомих вдосконаленим способом визначення відстані між результатами ін'єкції. Використання в запропонованому способі критерію Джаро–Вінклера для порівняння результатів ін'єкції SQL коду і введення порогового значення дозволить підвищити точність результатів тестування безпеки програмного забезпечення.

Подальші дослідження спрямовані на можливість застосування GERT-моделей технології тестування комплексу DOM XSS уразливостей і технології тестування вразливості до SQL ін'єкцій на реальних прикладах, а також на розробку імітаційної моделі технології тестування безпеки на основі положень теорії масштабування імітаційних моделей.

Список літератури

1. Семенов С. Г., Швачич Г. Г., Карпова Т. П., Волнянський В. В. Застосування багатопроцесорних систем для удосконалення технологічних процесів. *Системи обробки інформації.* 2016. № 3 (140). С. 221–226.
2. Коваленко А. В., Смирнов А. А., Якименко Н. Н., Доренский А. П. Проблемы анализа и оценки рисков информационной деятельности. *Системи обробки інформації*. 2016. № 3 (140). С. 40–42.
3. Spring Framework. URL: http://projects.spring.io/spring-framework/
4. Fowler M. Inversion of control containers and the dependency injection pattern. URL: https://martinfowler.com/articles/injection.html
5. Липаев В. В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени. Москва, 2013. 176 с.
6. Коваленко А. В., Смирнов А. А. Использование псевдобулевых методов бивалентного программирования для управления рисками разработки программного обеспечения. *Системи управління, навігації та зв'язку.* 2016. № 1 (37). С. 98–103.
7. Ковалев В. П. ГЕРТ-сетевой анализ мультиверсионных архитектур программного обеспечения. *Успехи современного естествознания.* 2011. № 9. С. 161–164.
8. Kovalenko O., Smirnov O., Kovalenko A., Smirnov S., Vialkova V. The mathematical model of the testing technology for DOM XSS vulnerabilities. *Scientific & practical cyber security journal (SPCSJ)*. 2018. Vol. 2. Iss. 1. P. 22–28. URL: https://journal.scsa.ge/issues/2018/03/997
9. Коваленко А. В., Смирнов А. А. Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения. *Системи обробки інформації.* 2016. № 5 (142). С. 153–157.
10. Коваленко А. В. Технология тестирования уязвимости к SQL инъекциям. *Системи управління, навігації та зв'язку.* 2017. № 5 (45). С. 66–71.

References

1. Semenov, S. G., Shvachich, G. G., Karpova, T. P., Volnyanskiy, V. V. (2016) Application of multiprocessor systems for the improvement of technological processes. *Systemy obrobky informatsii*, No. 3 (140), pp. 221–226 [in Ukrainian].
2. Kovalenko, O. V., Smirnov, O. A., Yakimenko, N. N., Dorenskyi, O. P. (2016) The problems of risk analysis and assessment in information activities. *Systemy obrobky informatsii*, No. 3 (140), pp. 40–42 [in Russian].
3. Spring Framework. URL: http://projects.spring.io/spring-framework/
4. Fowler, M. Inversion of control containers and the dependency injection pattern. URL: https://martinfowler.com/articles/injection.html
5. Lipaev, V. V. (2013) Reliability and functional safety of real-time program complexes. Moscow, 176 p. [in Russian].
6. Kovalenko, O. V., Smirnov, O. A. (2016) Application of pseudo-Boolean methods of bivalent programming for software development risk management. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, No. 1 (37), pp. 98–103 [in Russian].
7. Kovalev, V. P. (2011) GERT-network analysis of multi-version software architectures. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya,* No. 9, pp. 161–164 [in Russian].
8. Kovalenko, O., Smirnov, O., Kovalenko, A., Smirnov, S., Vialkova, V. (2018) The mathematical model of the testing technology for DOM XSS vulnerabilities. *Scientific & practical cyber security journal (SPCSJ).* Vol. 2, iss. 1, pp. 22–28. URL: https://journal.scsa.ge/issues/2018/03/997
9. Kovalenko, O. V., Smirnov, O. A. (2016) Methods of qualitative analysis and quantification of software development risks. *Systemy obrobky informatsii*, No. 5 (142), pp. 153–157 [in Russian].
10. Kovalenko, O. V. (2017) Technology for testing vulnerability to SQL injections. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, No. 5 (45), pp. 66–71 [in Russian].

O. V. Kovalenko, *Ph.D., associate professor*
Central Ukrainian National Technical University
Universytetskyi ave., 8, Kropyvnytskyi, 25006, Ukraine
e-mail: clashav@gmail.com

MATHEMATICAL MODELS OF THE TECHNOLOGY FOR TESTING DOM XSS VULNERABILITY AND SQL INJECTIONS VULNERABILITY

The analysis of various types of statistical materials from known organizations has shown that cross-site scripting – XSS (Cross Site Scripting) is one of the most dangerous types of attacks (vulnerabilities). However, in order to identify these threats and the possible consequences of their spread in the process of safe management of IT projects and to propose the best ways to solve this problem, there is a need for mathematical formalization of the process of their initialization and dissemination. In a number of papers, attempts have been made to mathematically formalize the process of finding and eliminating vulnerabilities of this kind. However, the presented models do not take into account the latest trends in XSS vulnerability, namely the difference between their types ("stored XSS", "reflected XSS" and DOM Based XSS) and the need for their detection. The aim of the work is to develop mathematical models of the technology for testing DOM XSS vulnerability and SQL injections vulnerability.

Mathematical models for testing DOM XSS complex of vulnerabilities and the technology for testing to SQL injections vulnerability have been developed. GERT-network synthesis approach is the basis of mathematical modeling. Mathematical model for testing DOM XSS complex of vulnerabilities differs from the known ones by taking into account the specifics of complex analysis of various types of XSS vulnerabilities (stored XSS, reflected XSS and DOM Based XSS) and separate inclusion of DOM Based XSS automatic audit procedures in the algorithm. This makes possible to conduct an analytical assessment of the time spent while testing these vulnerabilities in the context of implementing a strategy for developing safe software. Mathematical model for testing the technology of SQL injections vulnerability differs from the known ones by an improved method for determining the distance between injection results. The use of Jaro–Winkler criterion in the proposed method to compare the results of injecting SQL code and the introduction of a threshold value will increase the accuracy of the results of software security testing.

Keywords: *testing technology DOM XSS, SQL injections, GERT-network, Web security testing, mathematical models.*

УДК 691.32-047.38

Н. М. Битько, *к.т.н., доцент,*
e-mail: bitkonm@ukr.net
О. В. Кузнецова, *старший преподаватель,*
e-mail: kuznes-68@ ukr.net
В. В. Бойко, *старший преподаватель*
e-mail: boykin.valentina@gmail.com
Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОНОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ

Изложены результаты теоретических исследований напряженно-деформированного состояния бетонов при длительном центральном сжатии на основе его структурной теории. Проведен анализ определения напряженно-деформированного состояния, исходя из двух наиболее приемлемых структурных схем бетона. Приводятся положительные и отрицательные моменты использования этих схем. На основе анализа выбраны две схемы для определения упругопластических характеристик бетона при длительном воздействии нагрузки, исходя из реологических свойств составляющих. Для схемы шахматного расположения заполнителя в цементной матрице, исходя из решений равновесия и совместности деформаций, получены их теоретические значения. Проведено сравнение полученных теоретических значений характеристик бетона и раствора при длительном действии нагрузки с данными, полученными экспериментально. Результаты сравнения опытных и теоретических значений свидетельствуют о возможности применения этих зависимостей для определения упругопластических характеристик бетона при длительном действии нагрузки, исходя из состава его компонентов.

Ключевые слова: *модуль упругости, бетон, раствор, структурная схема, составляющие бетона, заполнитель, цементный камень.*

Введение. В настоящее время бетон является основным строительным материалом. Однако его прочностные и деформативные характеристики как при кратковременном, так и длительном приложении нагрузки, которые базируются на прочностных и деформативных характеристиках его составляющих, изучены недостаточно. По этой причине при решении многих задач теории бетона и железобетона исходят из феноменологических зависимостей, взятых непосредственно с результатов испытаний.

Однако уже имеется некоторая тенденция к использованию не феноменологии, а сущности явления и разработке структурной теории бетона. Расчётные формулы при этом основываются на прочностных и упругопластических характеристиках составляющих бетона, их количественном соотношении и взаиморасположении в единице объема.

Постановка проблемы. Бетон является конгломератом и имеет твердые, жидкие и газообразные включения. Взаиморасположение составляющих в единице бетонного элемента осуществляется при помощи идеализированных структурных схем бетона. Действительная структурная схема бетона сложная и не поддаётся статистической оценке. Цементный камень при этом рассматривается как матрица, а заполнители – как включения. Но цементный камень и заполнитель имеют различные физико-механические свойства, поэтому упругопластические характеристики бетона должны определяться через реологические свойства составляющих, их количественное соотношение и взаиморасположение. Решение этой задачи является весьма актуальным.

Анализ результатов исследований. По этому вопросу имеется незначительное количество исследований. Так, авторы [1–2] дают определение модуля упругости бетона по двум идеализированным структурным схемам (рис. 1, схемы 1, 2).

Несколько иные, при кратковременном центральном сжатии, зависимости для опре-

деления модуля упругости бетона рассмотрены в [3–12]. Все они касаются определения модуля упругости и упругопластических характеристик бетона при кратковременном центральном сжатии. Что же касается оценки его деформативности по идеализированным схемам при длительном сжатии нагрузкой различной интенсивности, то ни один из вышеуказанных авторов таковой не дает.

Цель работы – разработка на основе идеализированных структурных схем бетона аналитических зависимостей для определения его напряженно-деформированного состояния при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности, исходя из реологических свойств составляющих.

Изложение основного материала. Оценка напряженно-деформированного состояния бетонов при кратковременном сжатии по их составу и реологическим свойствам составляющих приведена на идеализированных структурных схемах 1, 2 (рис. 1)[2].

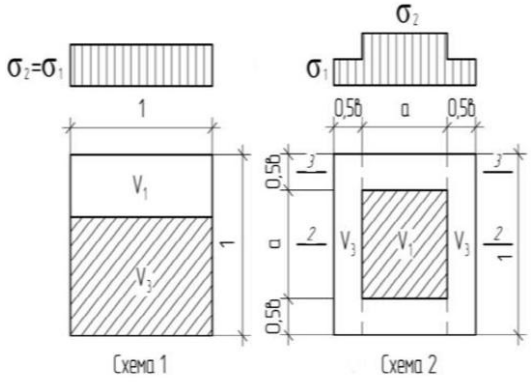


Рис. 1. Идеализированные структурные схемы

Источник: [2].

Оценку напряженно-деформированного состояния бетонов при длительном центральном сжатии производим по схемам 1 и 2 [2] как наиболее точно отражающим работу бетона при кратковременном загружении.

Дополнительные предпосылки:

1. Нелинейная зависимость между напряжениями и характеристикой ползучести бетонов.
2. Линейная зависимость между секущим модулем полных деформаций (с учетом деформаций ползучести) $E_{1,\eta,t,\tau}$ и начальным уровнем длительных напряжений η_τ в фиксированный момент времени t-τ для цементного камня (раствора). Экспериментально-статистическое обоснование этих предпосылок приведено в [2].

В процессе длительных испытаний по схеме 1 (рис. 1) напряжения в цементном камне $\sigma_{1,\eta,t,\tau}$ и заполнителе $\sigma_{3,\eta,t,\tau}$ в момент времени $(t\text{-}\tau)$ одинаковы и равняются напряжениям в бетоне:

$$\sigma_{1,\eta,t,\tau} = \sigma_{3,\eta,t,\tau} = \sigma_{c,\eta,t,\tau}.$$

В цементном камне с течением времени нарастают деформации ползучести. Заполнитель работает упруго. Секущий модуль полных деформаций бетона $E_{1c,\eta,t,\tau}$ в любой момент времени $(t\text{-}\tau)$ определяется по зависимости

$$E'_{c,\eta,t,\tau} = \frac{I}{\dfrac{V_1}{E'_{1,\eta,t,\tau}} + \dfrac{V_3}{E_3}}, \qquad (1)$$

где

$$E'_{1,\eta,t,\tau} = \frac{E'_{1,\eta,\tau}}{1+\varphi_{1,\eta,t,\tau}}. \qquad (2).$$

В формулах (1)–(2):

V_1 – объем цементного камня;

V_3 – объем заполнителя;

E_3 – модуль упругости заполнителя;

$E'_{1,\eta,t,\tau}$ – секущий модуль деформаций цементного камня при кратковременном загружении при уровне напряжений η_τ;

$\sigma_{1,\eta,t,\tau}$ – характеристика ползучести цементного камня в момент времени $(t\text{-}\tau)$ при начальном уровне длительного обжатия η_τ.

В работе [13] получены формулы для теоретического определения внутреннего напряженно-деформированного состояния бетона по схеме 2 (рис. 1). В этой работе не учтены нелинейная зависимость характеристики ползучести бетонов от уровня действовавших напряжений и линейная зависимость «секущего модуля полных деформаций – напряжения». Сравнение полученных автором [13] формул производилось только для одного уровня обжатия σ_η = 8 МПа и одной продолжительности действия сжимающей загрузки $(t\text{-}\tau)$ = 80 с. В работе принято допущение независимости характеристики ползучести от уровня сжимающих напряжений, что не подтвердилось в опытах авторов настоящей работы.

В процессе длительных испытаний по схеме 2 напряжения в цементном камне в го-

ризонтальной прослойке элемента II увеличиваются, а в вертикальном элементе I – уменьшаются. Как в одном, так и в другом случаях зависимость «секущий модуль полных деформаций – напряжение» $(E'_{1,\eta,t,\tau} - \sigma_{1,\tau})$ является линейной корреляционной. Внутреннее напряженное состояние $\sigma_{1,\tau}$ и $\sigma_{2,\tau} = \sigma_3$ определяется сечением 2-2 по схеме с вертикальными прослойками элемента I.

Задача определения внутреннего напряженно-деформированного состояния решается двумя путями.

Предполагается полная обратимость деформаций ползучести цементного камня в процессе его разгрузки за счет перераспределения усилий между цементным камнем и заполнителем при постоянном сжимающем напряжении в бетоне $\sigma_{c,\tau} = \sigma_{c,t}$ в процессе длительной выдержки под нагрузкой. При этом суммарная деформация цементного камня при напряжении $\sigma_{1,\eta,t,\tau} < \sigma_{1,\eta,\tau}$ равна суммарной деформации этого же элемента при постоянном напряжении $\sigma_{1,\eta,t,\tau} = const$. Иными словами, кривая разгрузки $\bar{\sigma}_{1,\eta,t,\tau} - \bar{\varepsilon}_{1,\eta,t,\tau}$ в процессе перераспределения усилий совпадает с кривой загрузки.

При такой предпосылке уравнение равновесия имеет вид:

$$\sigma_{1,\eta,t,\tau}A_1 + \sigma_{3,\eta,t,\tau}A_3 = \sigma_{c,\eta,t,\tau}A_3 \qquad (3)$$

а уравнения совместности деформаций составляющих бетона:

$$\varepsilon_{c,\eta,t,\tau} = \varepsilon_{1,\eta,t,\tau} = \varepsilon_{3,\eta,t,\tau} = \frac{\sigma_{c,\eta,\tau}}{E'_{c,\eta,2,t,\tau}} = \frac{\sigma_{1,\eta,t,\tau}}{E'_{1,\eta,2,t,\tau}} = \frac{\sigma_{3,\eta,t,\tau}}{E_3}. \qquad (4)$$

При этом используем опытно-корреляционную зависимость $E'_{1,\eta,t,\tau} - \eta_{1,\tau}$ при длительном центральном сжатии постоянной нагрузкой различной интенсивности в сечении 2-2:

$$E'_{1,\eta,2,t,\tau} = E_{1,0,t,\tau}\left(1 - \lambda_{fcd1,e,\tau}\frac{\sigma_{1,\eta,t,\tau}}{fcd_{1,\tau}}\right). \qquad (5)$$

Секущий модуль деформаций бетона с учетом ползучести в этом случае имеет вид

$$E'_{c,\eta,2,t,\tau} = A_1E'_{1\eta,2,t,\tau} + F_3E_3. \qquad (6)$$

Подставив значение секущего модуля деформаций цементного камня с учетом ползучести в сечении 2-2 $E'_{1,\eta,2,t,\tau}$ в (6) и решив квадратное уравнение, определяем значение секущего модуля деформаций бетона с учетом ползучести для сечения 2-2:

$$E'_{c,\eta,2,t,\tau} = 0{,}5B + \sqrt{(0{,}5B)^2 - C}, \qquad (7)$$

где $B = -\left[E_{0,c,2,t,\tau} - \lambda_{fcd}E_{0,1,t,\tau}\frac{\sigma_{c,\tau}}{f_{cd,1,\tau}}\right]$; (8)

$$C = A_3E_3\lambda_{f\,cd,1,t.\tau}E_{0,1,t,\tau}. \qquad (9)$$

Значение секущего модуля деформаций цементного камня с учетом ползучести в сечении 2-2 определяется из (6):

$$E'_{1,\eta,2,t,\tau} = \frac{E'_{c,\eta,2,t,\tau} - E_3A_3}{A_1}. \qquad (10)$$

В формулах (3)–(10):

$$E'_{1,1,\tau} = E_{0,1,\tau}(1 - \lambda_{fcd,1,\tau}\frac{\sigma_{1,\eta,\tau}}{f_{cd,1,\tau}}); \qquad (11)$$

$$E_{0,1,t,\tau} = \frac{E_{0,1,\tau}}{1 + \varphi_{0,1,t,\tau}}; \qquad (12)$$

$$E'_{R1,t,\tau} = \frac{E'_{R,1,\tau}}{1 + \varphi_{R,1,t,\tau}}; \qquad (13)$$

$$\lambda_{fcd_1,t,\tau} = 1 - \frac{E'_{R,1,t,\tau}}{E_{0,1,t,\tau}}; \qquad (14)$$

$$E_{0,c,\eta,2,t,\tau} = \frac{A_1E_{0,1,\tau}}{1 + \varphi_{0,1,t,\tau}} + A_3E_3. \qquad (15)$$

В формулах (11)–(15) значения $E_{1,0,\tau}$ и $E'_{R,1,\tau}$ определяются по (11) при напряжении $\sigma_{1,\eta,\tau}$, равном соответственно 0 и $f_{cd,1,\tau}$. Значения A_1 и A_3 определяются по зависимостям, данным в [2]. Внутреннее напряженное состояние бетона по схеме 2 определяется сечением 2-2:

$$\sigma_{1,\eta,t,\tau} = \sigma_{c,\eta,\tau}\frac{E'_{1,\eta,2,t,\tau}}{E'_{c,\eta,2,t,\tau}}, \qquad (16)$$

$$\sigma_{3,\eta,t,\tau} = \sigma_{2,\eta,t,\tau} = \frac{\sigma_{c,\eta,\tau} - A_1\sigma_{1,\eta,t,\tau}}{A_3}. \qquad (17)$$

Модуль полных деформаций идеализированной структурной схемы 2 оценивается по формуле

$$E'_{c,\eta,t,\tau} = A'E'_{I,1,\eta,t,\tau} + \frac{A_3}{\frac{a}{E_3} + \frac{b}{E'_{II,1,\eta,t,\tau}}}, \quad (18)$$

где $E'_{1,1,\eta,t,\tau}$ – модуль полных деформаций цементного камня (раствора) в элементе I схемы 2:

$$E_{1,1,\eta,t,\tau} = E_{1,0,\tau}\left[\frac{1-\eta_{,1,1,t,\tau}}{1+\varphi_{0,1,t,\tau}} + \frac{\nu_{fcd,1,\tau}\eta_{II,1,t,\tau}}{1+\varphi_{R,1,t,\tau}}\right]. \quad (19)$$

$E'_{II,1,\eta,t,\tau}$ – модуль полных деформаций горизонтальной прослойки цементного камня (раствора) в комбинированном элементе II:

$$E'_{II,1,\eta,t,\tau} = E_{1,0,\tau}\left[\frac{1-\eta_{,II,1,t,\tau}}{1+\varphi_{0,1,t,\tau}} + \frac{\nu_{fcd,1,\tau}\eta_{II,1,t,\tau}}{1+\varphi_{R,1,t,\tau}}\right]. \quad (20)$$

В формулах (19)–(22):

$$\eta_{1,1,t,\tau} = \frac{\sigma_{1,\eta,t,\tau}}{fcd_{1,\tau}}; \quad (21)$$

$$\eta_{II,1,t,\tau} = \frac{\sigma_{3,\eta,t,\tau}}{fcd_{1,\tau}}; \quad (22)$$

$$\nu_{fcd,1,\tau} = \frac{E'_{R,1,\tau}}{E_{0,1,\tau}}; \quad (23)$$

$\varphi_{0,1,t,\tau}$ и $\varphi_{R,1,t,\tau}$ – начальное (при $\eta_\tau = 0$) и предельное (при $\eta_\tau = 1$) значения характеристик ползучести цементного камня (раствора) для любого фиксированного времени *(t-τ)*.

Полные относительные деформации бетона (упругопластические и деформации ползучести) к фиксированному моменту времени *t-τ* при любом начальном уровне длительного обжатия $\eta_\tau = \sigma_\tau / fcd,\tau$ определяются по формуле

$$\varepsilon_{c\eta,t,\tau} = \frac{\sigma_{c,\eta,\tau}}{E'_{c\eta,t,\tau}} = \frac{\sigma_{c,\eta,t,\tau}}{E'_{c,\eta,t,\tau}}. \quad (24)$$

Во втором случае предполагается, что кривая $(\bar{\sigma} - \bar{\varepsilon})$ длительной разгрузки цементного камня принимается тождественной кривой загрузки этого же элемента в фиксированный отрезок времени (*t-τ)*. Эта предпосылка тождественности кривой $(\sigma - \varepsilon)$ при длительной загрузке и разгрузке учитывает неполную обратимость нелинейных деформаций ползучести, в зависимости от начального уровня длительного обжатия η_τ.

Расчетные формулы для этого случая не приводятся.

Как показало сравнение теоретических значений $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$, полученных для идеализированной структурной схемы, то до начального уровня длительного обжатия η_τ = 0,5 различие между ними практически отсутствует, а после уровня η_τ = 0,5 различие достигает 4,8 %.

В табл. 1 и 3 приведены опытные и теоретические значения полных относительных деформаций по схеме 2 для первого случая и по схеме 1 для различных моментов времени *t-τ* и при различных начальных уровнях длительного обжатия $\eta\tau$ в системе «раствор-бетон» по результатам серии испытаний образцов тяжелых бетонов (ТБ-3).

В обоих случаях получены вполне приемлемые результаты теоретической оценки полных относительных деформаций. Схема 1 дает хорошее совпадение с опытом при продолжительности испытаний *t-τ* = 112 суток, схема 2 дает лучшее совпадение при *t-τ* > 112 суток.

Внутреннее напряженное состояние бетона по схеме 1 будет постоянным и определяется длительно приложенной сжимающей нагрузкой различной интенсивности.

При схеме 2 внутреннее напряженное состояние бетона – не постоянное, вследствие перераспределения усилий с цементного камня (раствора) на заполнитель. Численные значения напряжений в составляющих бетона для схемы 2, с учетом перераспределения усилий между ними для различных моментов времени *t-τ* и уровней обжатия *ητ,* приведены в табл. 2.

Таблица 1

Опытные и теоретические относительные деформации $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ 10^{-5} системы «раствор–бетон», полученные по идеализированной структурной схеме 2 для серии ТБ-3 в процессе длительного сжатия различной интенсивности

Сутки	Способ определения	$\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ 10^{-5}						
(t-τ)	σ МПа	5	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
	η_τ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	опытный	18,3	29,8	42,1	55,6	75,6	107,0	151,4
	теорет.	15,3	24,4	34,9	47,4	63,3	84,7	116,6
	Δ %	-16,3	-18,1	-17,3	-14,7	-16,3	-20,8	-23,1
3	опытный	19,3	31,2	44,6	58,7	79,5	110,4	157,6
	теорет.	16,2	26,0	37,4	51,5	69,7	95,3	136,0
	Δ %	-16,7	-16,7	-16,1	-14,0	-12,3	-13,7	-13,7
7	опытный	20,2	32,7	46,9	62,0	83,8	114,0	163,6
	теорет.	17,3	27,8	40,1	55,2	74,8	102,3	145,7
	Δ %	-14,3	-15,0	-14,5	-11,0	-10,7	-10,2	-11,0
14	опытный	21,2	35,1	49,2	64,7	86,8	119,4	168,0
	теорет.	18,1	29,2	42,5	59,2	81,5	114,4	170,7
	Δ %	-14,6	-16,8	-13,6	-8,5	-6,1	-4,2	+1,6
28	опытный	22,4	36,4	52,9	69,4	90,8	123,3	173,0
	теорет.	19,1	30,8	44,8	62,4	85,9	120,1	177,4
	Δ %	-14,7	-15,3	-15,3	-10,1	-5,4	-2,6	+2,5
57	опытный	24,4	39,0	57,4	75,2	95,7	127,8	180,8
	теорет.	21,2	34,2	49,6	68,8	93,7	128,5	182,7
	Δ %	-13,1	-12,3	-13,6	-8,5	-2,1	+0,5	+1,0
112	опытный	27,2	42,3	62,5	81,2	101,3	133,6	200,0
	теорет.	22,9	37,4	55,4	78,9	111,8	163,3	260,3
	Δ %	-15,8	-11,6	-11,3	-2,8	+10,3	+22,2	+30,1
178	опытный	28,9	44,7	66,6	85,5	104,9	138,8	206,6
	теорет.	25,1	41,0	60,7	86,3	121,8	176,3	274,3
	Δ %	-13,1	-8,3	-8,9	+0,9	+14,8	+26,0	+32,4
∞	опытный	31,9	52,1	73,4	105,0	135,2	170,5	212,8
	теорет.	29,9	48,9	72,2	102,1	142,6	202,1	300,2
	Δ %	-0,3	-6,1	-1,6	-2,8	+5,4	+18,5	+40,7

Таблица 2

Внутреннее напряженное состояние бетона в процессе длительного сжатия различной интенсивности в системе «раствор–бетон», полученное по идеализированной структурной схеме 2, МПа

t-τ суток	Напряжение	$\eta_\tau=\sigma_\tau/fcd,\tau$						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	$\sigma_{1,\eta,t,\tau}$	2,1	3,1	4,1	5,0	5,8	6,7	7,5
	$\sigma_{3,\eta,t,\tau}$	7,0	10,6	14,2	17,8	21,4	25,1	28,8
28	$\sigma_{1,\eta,t,\tau}$	1,7	2,4	3,2	3,9	4,7	5,4	6,1
	$\sigma_{3,\eta,t,\tau}$	7,4	11,1	14,8	10,5	22,3	26,0	29,8
178	$\sigma_{1,\eta,t,\tau}$	1,2	1,8	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7
	$\sigma_{3,\eta,t,\tau}$	7,7	11,5	15,4	19,2	23,1	26,9	30,8
∞	$\sigma_{1,\eta,t,\tau}$	1,0	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,7
	$\sigma_{3,\eta,t,\tau}$	7,8	11,7	15,7	19,6	23,5	27,4	31,5

Таблица 3

Опытные и теоретические относительные деформации $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ 10^{-5} системы «раствор–бетон», полученные по идеализированной структурной схеме 1 для серии ТБ-3 в процессе длительного сжатия различной интенсивности

Сутки	Способ определения	$\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ 10^{-5}						
(t-τ)	σ МПа	5	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
	η_τ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	опытный	18,3	29,8	42,1	55,6	75,6	107,0	151,4
	теорет.	17,8	28,5	41,0	55,6	73,2	95,0	122,7
	Δ %	-3,3	-4,7	-2,6	0	-3,2	-11,2	-19,0
3	опытный	19,3	31,2	44,6	58,7	79,5	110,4	157,6
	теорет.	19,1	30,8	44,4	60,7	80,3	105,0	137,1
	Δ %	-1,0	-1,3	-0,5	+3,4	+1,0	-4,9	-13,0
7	опытный	20,2	32,7	46,9	62,0	83,8	114,0	163,6
	теорет.	20,7	33,2	48,0	65,4	86,6	113,0	147,0
	Δ %	+2,5	+1,5	+2,4	+5,5	+3,3	-0,9	-10,2
14	опытный	21,2	35,1	49,2	64,7	86,8	119,4	168,0
	теорет.	21,8	35,2	51,0	70,0	93,4	123,2	162,4
	Δ %	+2,8	+0,3	+1,6	+8,2	+7,6	+3,2	-3,3
28	опытный	22,4	36,4	52,9	69,4	90,8	123,3	173,0
	теорет.	23,2	37,4	54,2	74,3	98,9	129,8	170,4
	Δ %	+3,6	+2,7	+2,5	+7,0	+8,9	+5,3	-1,5
57	опытный	24,4	39,0	57,4	75,2	95,7	127,8	180,8
	теорет.	26,3	42,4	61,0	83,0	109,5	142,2	183,7
	Δ %	+7,8	+8,7	+4,5	+10,3	+14,4	+11,2	+1,6
112	опытный	27,2	42,3	62,5	81,2	101,3	133,6	200,0
	теорет.	28,8	46,7	68,1	94,0	126,3	167,8	223,4
	Δ %	+5,9	+10,4	+8,9	+13,6	+24,8	+25,6	+11,7
178	опытный	28,9	44,7	66,6	85,5	104,9	138,8	206,6
	теорет.	32,0	51,8	75,4	103,7	138,7	183,2	241,9
	Δ %	+10,7	+15,8	+15,0	+21,3	+32,0	+31,8	+17,0
∞	опытный	31,9	52,1	73,4	105,0	135,2	170,5	212,8
	теорет.	39,1	63,2	91,4	124,9	165,6	216,1	280,8
	Δ %	+26,2	+21,2	+24,6	+19,0	+29,7	+26,6	+32,0

Выводы. Структурная теория сопротивления бетонов силовым воздействием базируется на идеализации их структурных схем. Наиболее полно отражает работу бетона при сжатии и растяжении идеализированная структурная схема в виде шахматного расположения кубических зерен заполнителя в растворной части бетона.

Принятая идеализированная структурная схема бетонов позволила оценить по заданному их составу и реологическим свойствам составляющих напряженно-деформированное состояние бетонов при длительном центральном сжатии (модуль упругости, секущий модуль деформаций и деформации ползучести).

Полученные и предлагаемые к практическому применению теоретические зависимости оценки напряженно-деформированного состояния бетонов при длительном приложении нагрузки с переменой знака усилий получили вполне удовлетворительное экспериментальное подтверждение.

Эти зависимости могут быть использованы при уточнении положений ДБН В.2.6.-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» при определении деформативных характеристик бетонов.

Список литературы

1. Ахвердов М. Н. Механизм усадки и ползучести бетона в свете современных представлений реологии и физики твердого тела. *Бетон и железобетон*. 1970. № 10. С. 21–23.

2. Битько Н. М., Кузнецова О. В., Бойко В. В. Напряженно-деформированное состояние бетонов при кратковременном центральном сжатии, исходя из его идеализированных структурных схем. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2016. № 3. С. 84–89.
3. Битько Н. М., Архангельская Н. А., Кузнецова О. В., Бойко В. В. Напряженно-деформированное состояние цементного камня при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2009. № 2. С. 7–13.
4. Гансен Т. Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне / пер. с англ. Москва: Госстройиздат, 1963. С. 124.
5. Гегасян С. Г. Собственные колебания вязкоупружной модели наследственного старения. *Бетон и железобетон*, 2001. № 5. С. 6–8.
6. Учет явления систематической неоднородности свойств тяжелого бетона. *Безопасность эксплуатации зданий и сооружений:* монография / Горохов Е. В., Югов А. М., Веретенников В. Н. и др. Москва, 2011. С. 146–167.
7. Дмитриев А. С. Влияние крупного заполнителя на прочность и деформативность высокопрочного бетона. *Вопросы общей технологии и ускорение твердение бетона*: сб. НИИЖБ / под ред. С. А. Миронова. Москва: Стройиздат, 1970. С. 58–63.
8. Зайцев Ю. В. Современное состояние механики бетона в России и за рубежом. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.* 2003. № 1. С. 18–19.
9. Крылов С. Б., Гончаров Е. Е. Использование реологических моделей при моделировании ползучести бетона. *Промышленное и гражданское строительство*, 2013. № 2. С. 32–33.
10. Макаренко Л. П., Битько Н. М. Экспериментально-статистические исследования напряженно-деформированного состояния цементного камня и бетона при двух режимах центрального сжатия с постоянной скоростью роста загрузки и продольных деформаций. *Вопросы надежности железобетонных конструкций:* сб. / под ред. А. С. Лычева. Куйбышев, 1977. С. 89–92.
11. Макаренко Л. П., Битько Н. М. Экспериментально-статистические исследования зависимости напряжения деформаций в цементном камне и бетонах, при длительном центральном сжатии постоянной нагрузкой различной интенсивности. *Вопросы надежности железобетонных конструкций:* сб. / под. ред. А. С. Лычова. Куйбышев, 1976. С. 106–109.
12. Макаренко Л. П., Фенко Г. А. Влияние ползучести и усадки при длительном обжатии бетонов на их трещиностойкость и прочность при последующем растяжении. *Ползучесть и усадка бетона:* сб., подготовл. НИИСК Госстрой СССР (материалы совещания союзной комиссии РИЛЕМ). Киев: Будивельник, 1969.
13. Фенко Г. А. Влияние собственных напряжений на свойства бетона: дис. … к.т.н. Полтава: Полтавский ИСИ, 1972.

References

1. Akhverdov, M. N. (1970) The mechanism of concrete shrinkage and creep in the light of current ideas on rheology and solid-state physics. *Beton i zhelezobeton*, (10), pp. 21–23 [in Russian].
2. Bitko, N. M., Kuznetsova, O. V., Boyko, V. V. (2016) Stress-strain state of concrete under short-term central compression, based on its idealized structural schemes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 84–89 [in Russian].
3. Bitko, N. M., Arkhangelskaya, N. A., Kuznetsova, O. V., Boyko, V. V. (2009) Stress-strain state of cement stone with long-term central compression load of varying intensity. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 7–13 [in Russian].
4. Gansen, T. (1963) Creep and stress relaxation in concrete. Moscow: Gosstroyizdat, p. 124 [in Russian].
5. Gegasyan, S. G. (2001) Characteristic oscillations of viscous-elastic model of hereditary aging. *Beton i zhelezobeton*, (5), pp. 6–8 [in Russian].
6. Gorokhov, Ye. V., Yugov, A. M., Veretennikov, V. N. et al. (2011) Accounting of the phenomenon of systematic heterogeneity of heavy concrete features. In: *Bezopasnost ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy*. Moscow, pp. 146–167 [in Russian].
7. Dmitriyev, A. S. (1970) Coarse aggregate impact on the strength and stress-strain behavior of high-precision concrete. *Voprosy obshchey*

tekhnologiyi i uskoreniye tverdeniya betona: coll. NIIZhB, pod red. S. A. Mironova. Moscow: Stroyizdat, pp. 58–63 [in Russian].
8. Zaytsev, Yu. V. (2003) Current state of concrete mechanics in Russia and abroad. *Stroyitel'nye materialy, oborudovaniye, tekh-nologiyi XXI veka*, (1), pp. 18–19 [in Russian].
9. Krylov, S. B., Goncharov, Ye. Ye. (2013) The use of rheological models at concrete creep simulation. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroyitel'stvo*, (2), pp. 32–33 [in Russian].
10. Makarenko, L. P., Bitko, N. M. (1977) Experimental and statistic studies of deflected mode of cement stone and concrete at two modes of axial compression with constant speed of loading and longitudinal strain growth. *Voprosy nadyezhnosti zhelezobeton-nykh konstruktsiy*, pod. red. A. S. Lycheva. Kuybyshev, pp. 89–92 [in Russian].
11. Makarenko, L. P., Bitko, N. M. (1976) Experimental and statistic studies of the dependence of deformation strain in cement stone and concrete at sustained axial compression by constant loading of various intensity. *Voprosy nadyezhnosti zhelezobe-tonnykh konstruktsiy*, pod. red. A. S. Lycheva. Kuybyshev, pp. 106–109 [in Russian].
12. Makarenko, L. P., Fenko, G. A. (1969) The effect of creep and shrinkage during prolonged compression of concrete on their crack resistance and strength during subsequent stretching. *Polzuchest i usadka betona*: coll., prepared by NIISK Gosstroy of the USSR (materials of the meeting of the Allied Commission of RILEM), Kiev, Budivelnik [in Russian].
13. Fenko, G. A. (1972) Effect of intrinsic stresses on concrete properties: PhD thesis. Poltava: Poltava ISI [in Russian].

N. M. Bitko, *Ph.D., associate professor,*
e-mail: bitkonm@ukr.net
O. V. Kuznetsova, *senior lecturer,*
e-mail: kuznes-68@ ukr.net
V. V. Boiko, *senior lecturer*
e-mail: boykin.valentina@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THEORETICAL STUDIES OF STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE UNDER LONG-TERM CENTRAL COMPRESSION

The results of theoretical studies of stress-strain state of concrete under long-term central compression based on its structural theory are presented. The analysis of determining the stress-strain state on the basis of two most acceptable structural diagrams of concrete is conducted. Positive and negative aspects of the use of these diagrams are given. Based on the analysis, two diagrams have been selected to determine elastoplastic characteristics of concrete under long-term loading based on rheological properties of components. For the diagram of chess spacing of the aggregate in cement matrix, based on equilibrium solutions and the compatibility of deformations, their theoretical values are obtained. Comparisons of the obtained theoretical values of the characteristics of concrete and mortar under a long-term load with the data obtained experimentally are conducted. The results of comparison of experimental and theoretical values indicate the possibility of applying these dependencies to determine elastoplastic characteristics of concrete under a long-term load based on the composition of its components.

Keywords: *modulus of elasticity, concrete, mortar, structural diagram, components of concrete, aggregate, cement stone.*

М. М. Битько, *к.т.н., доцент*,
e-mail: bitkonm@ukr.net
О. В. Кузнецова, *старший викладач*,
e-mail: kuznes-68@ ukr.net
В. В. Бойко, *старший викладач*
e-mail: boykin.valentina@gmail.com
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БЕТОНІВ ПРИ ДОВГОТРИВАЛОМУ ЦЕНТРАЛЬНОМУ СТИСНЕННІ

Бетон є основним будівельним матеріалом. Міцнісні й деформативні характеристики бетону залежать від його складових та їх взаєморозташування в одиниці елемента, яке здійснюється за допомогою ідеалізованих структурних схем бетону. Дійсна структурна схема бетону є складною і не піддається статистичному оцінюванню. Цементний камінь при цьому розглядається як матриця, а заповнювачі – як включення. Однак цементний камінь і заповнювач мають різні фізико-механічні властивості. Тому пружно-пластичні і міцнісні характеристики бетону повинні визначатися через аналітичні характеристики складових, їх кількісне співвідношення і взаєморозташування. Рішення такої задачі є досить актуальним.

Нині є незначна кількість робіт з цієї проблеми, що дають аналітичні залежності для визначення пружнопластичних характеристик бетону за ідеалізованими структурними схемами при короткочасному завантаженні. Щодо його оцінки при довготривалому стисненні навантаженням різної інтенсивності, то такі дані відсутні. Тому основна мета роботи полягає в розробці аналітичних залежностей, на основі ідеалізованих структурних схем, для визначення його напружено-деформованого стану при довготривалому стисненні різної інтенсивності, виходячи з реологічних властивостей складових бетону.

Для вирішення поставленої задачі використано дві ідеалізовані структурні схеми, які найбільш точно відображають роботу бетону при стисненні.

Крім того, використано нелінійну залежність між напруженням і характеристикою повзучості $\varphi_{\eta,t,\tau}$, а також лінійну залежність між січним модулем повних деформацій (з урахуванням деформацій повзучості) $E'_{\eta,t,\tau}$ і початковим рівнем довготривалих напружень η_τ у фіксований момент часу (t-τ) для цементного каменю (розчину).

Експериментально статистичне обґрунтування вищезазначеного отримано авторами раніше.

Використано повну зворотність деформацій повзучості $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ цементного каменю в процесі його розвантаження за рахунок перерозподілу зусиль між цементним каменем і заповнювачем.

На основі вищезазначеного із рівнянь рівноваги і сумісності деформацій отримано аналітичні залежності для визначення пружнопластичних характеристик бетону за ідеалізованими структурними схемами, виходячи з його складу і властивостей компонентів.

Наведено дослідні й теоретичні значення відносних деформацій, отриманих за однією з ідеалізованих структурних схем важкого бетону в процесі довготривалою стиснення різної інтенсивності.

Отримані й запропоновані до практичного застосування теоретичні залежності оцінювання напружено-деформованого стану бетону при довготривалому стисненні різної інтенсивності за ідеалізованими структурними схемами, виходячи з їх складу та реологічних властивостей компонентів, мають задовільне експериментальне підтвердження.

Ці залежності можуть бути використані при уточненні положень ДБН В.2.6. – 98-2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» при визначенні деформативних характеристик бетонів.

Ключові слова: *модуль пружності, бетон, розчин, структурна схема, складові бетону, заповнювач, цементний камінь.*

УДК 629.5.064.5

В. А. Шевченко, *к.т.н., доцент,*
зав. кафедрой технической эксплуатации судов
e-mail: vash4891@gmail.com
Национальный университет «Одесская морская академия»
ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, 65000, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ ИЗ УСЛОВИЯ МИНИМУМА РАСХОДА ТОПЛИВА И С УЧЕТОМ МЕТЕОУСЛОВИЙ

В работе рассмотрено решение задачи повышения эффективности управления электростанцией по критерию минимального расхода топлива с учетом метеоусловий. Проанализированы режимы работы электростанций современных судов и их средняя загрузка. Предложены выражения для определения суммарного коэффициента избытка воздуха двигателей в судовой электростанции с учетом расхода влажного и сухого воздуха, определяемого по номограммам, приведенным в работе. Получены выражения, позволяющие определить оптимальный коэффициент избытка воздуха двигателя внутреннего сгорания, соответствующий максимальному КПД. Разработаны алгоритмы управления электростанцией с учетом минимума расхода топлива путем варьирования коэффициентом избытка воздуха и топливоподачей. Выполненные исследования позволяют установить правила функционирования системы оптимального управления электростанцией при изменении нагрузки, технического состояния ГА и условий окружающей среды.

Ключевые слова: *управление электростанцией, коэффициент избытка воздуха, синтез алгоритмов, расход топлива, оптимизация.*

Введение. Эксплуатируемые на современных судах автоматизированные электроэнергетические системы характеризуются низким коэффициентом загрузки установленной мощности и, как следствие, невысокой экономичностью, что объясняется не только комплектацией электростанции, но и несовершенной организацией режимов работы. До сих пор решение рассматриваемых задач производят, как правило, с помощью приближенных, а зачастую достаточно грубых способов [1], стремясь в большей мере к увеличению только одного критерия – резервирование ЭЭС в основных режимах работы судна.

Анализ последних источников исследований и публикаций. При расчете мощности и допустимых значений загрузки электростанции по режимам исходят обычно из усредненных либо предельных значений неуправляемых переменных (запроса загрузки, температуры, давления, влажности среды и т. д.), не учитывая возможный диапазон их изменения, что приводит к снижению технико-экономических показателей, о чем свидетельствует целый ряд публикаций [2–5].

Рассмотренные в [6] задачи управления электростанцией по принципу гибких порогов загрузки вызывают необходимость более детальной проработки вопросов оптимизации, связанных с ресурсосбережением и минимизацией расхода топлива. Особое внимание при этом обращается на необходимость учета метеоусловий в расчете верхних уровней загрузки дизелей во избежание их термических перегрузок. Отмечается [1, 7] сложный характер воздействия метеоусловий на рабочие параметры дизелей, отличающихся многообразием конструкций. Предельная нагрузка дизелей начинает снижаться при повышении температуры окружающего воздуха более 32°С, влажности более 60% и снижениях барометрического давления ниже 101,3 кПа [4]. Воздействие этих факторов в современных системах учитывается выборочно, в то время как они действуют взаимосвязано.

Например, завод-изготовитель "Wartsila-Sulzer" [8] указывает в паспорте дизеля, что нормальными параметрами среды являются: атмосферное давление 960 мбар (720 мм рт. ст.), температура воздуха 20°С, влажность 70%, и предупреждает о том, что всякое отклонение этих величин, особенно температуры всасывающего воздуха и давления, может существенно изменить характеристики дизеля.

Наиболее характерными изменениями при плавании судна в тропических условиях являются: уменьшение мощности, увеличение удельного расхода топлива и температуры выпускных газов, вызванные уменьшением весового заряда воздуха и повышением его начальной температуры [3].

Вызвано это тем, что при уменьшении весового заряда воздуха ρ_k уменьшается коэффициент избытка воздуха $\alpha = k\eta_v\rho_k / g_ц$, где η_v – коэффициент наполнения цилиндра, а $g_ц$ – цикловая подача топлива. В свою очередь, снижение α вызовет уменьшение индикаторного η_i и, как следствие, эффективного η_e КПД двигателя $\eta_e = f(\alpha)$. В результате вращающий момент дизеля $M = kg_ц\eta_e$ начнет снижаться, а регулятор частоты с целью стабилизации частоты тока начнет увеличивать подачу топлива $g_ц$, чем вызовет перегрузку по среднему индикаторному давлению. При этом температура выпускных газов начнет возрастать. Чрезмерное повышение температуры выпускных газов вынуждает судовых специалистов уменьшать цикловую подачу топлива, что приводит к суммарному уменьшению мощности ГА.

Проведенные исследования режимов работы шестиагрегатной электростанции судов типа "HAI YANG SHI YOU 702" показали, что при плавании судна в различных широтах, в том числе и тропической зоне, наблюдаются колебания метеоэлементов в широком диапазоне $(t^\circ = 20 \div 45^\circ C; \varphi = 60 \div 85\%; P_a = 750 \div 780$ мм рт.ст.), что приводит к изменению предельно допустимой, по условиям термической нагрузки, мощности от 735 до 604 кВт (на 18%). Частые колебания нагрузки и параметров среды в течение суток делают для обслуживающего персонала трудноосуществимым решение задачи по оптимизации управления составом ГА. Поэтому, во избежание риска, в отношении термической перегрузки приходится держать включенным достаточно большой запас генерируемой мощности. Например, в ходовом режиме вместо возможных четырех задействуют, как правило, пять ГА, длительно работающих при малых и средних нагрузках, что приводит к снижению механического КПД и, как следствие, уменьшению эффективного $\eta_e = \eta_i\eta_m$ КПД.

Анализ условий эксплуатации двигателей электрогенераторов по транспортному флоту [9] показывает, что средняя загрузка судовых электростанций составляет $30 \div 35\%$ общей номинальной мощности генераторов. На судах отдельных типов дизель-генераторы в течение почти всего рабочего времени (90%) загружены менее, чем на половину. Длительная работа двигателей с пониженной нагрузкой приводит к отложениям на продувочных и выхлопных окнах, клапанах, газотурбонагнетателях, выхлопных коллекторах и трубопроводах, что снижает экономичность двигателя. Известны случаи выхода из строя мотылевых и рамовых подшипников двигателей из-за продолжительной работы на малых нагрузках. На судах типа DSV "Bar Protector" при работе одного ДГ с нагрузкой 270 кВт вместо двух ДГ, работающих параллельно с нагрузкой менее 50% $N_{e_{ном}}$, суточная экономия дизельного топлива достигнет 0,8 т, а циркуляционного масла – 8-10 л при сохранении ресурса ДГ.

Таким образом, устранение этих недостатков позволило бы в целом по флоту получить существенный технико-экономический эффект.

Цель работы – решение задачи управления электростанцией из условия минимума расхода топлива, разработка алгоритмов расчета и непрерывного контроля допустимых нагрузок дизелей, а также алгоритмов автоматического регулирования параметров работы двигателя в соответствии с изменениями параметров среды.

Изложение основного материала. Международным конгрессом двигателестроения и специальным комитетом СЭВ рекомендована методика, в основу которой положены формулы К. Циннера [10] при определении зависимости изменения индикаторной мощности, где индикаторная мощность:

$$k = \frac{N_{i\,т}}{N_{i\,н}} = \left(\frac{D - P_П}{99}\right)^m \left(\frac{293}{T}\right)^n \left(\frac{293}{T_w}\right)^q,$$

где $N_{iз}$, $N_{iо}$ – индикаторные мощности в текущих и нормальных условиях соответственно; D – барометрическое давление, кПа; $P_П$ – парциальное давление водяных паров, кПа; T – температура воздуха на всасывании, °К; T_w – температура охлаждающей воды, °К.

Парциальное давление определяется по *i–d* диаграмме влажного воздуха (рис. 1), в

функции температуры и влажности среды; показатели степени m, n, q принимаются в зависимости от нормальных значений суммарного коэффициента α_c избытка воздуха

$$m = \begin{cases} 0{,}1, \textit{ если } 1{,}7 < \alpha < 2{,}1 \\ 0{,}3, \textit{ если } \alpha < 1{,}7 \end{cases},$$

$$n = \begin{cases} 0{,}2\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } \alpha > 2{,}1 \\ 0{,}35\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } 1{,}7 < \alpha < 2{,}1 \\ 0{,}55\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } \alpha < 1{,}7 \end{cases},$$

$$q = \begin{cases} 0{,}2\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } \alpha > 2{,}1 \\ 0{,}3\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } 1{,}7 < \alpha < 2{,}1 \\ 0{,}6\,\eta_{\text{M}}, \textit{ если } \alpha < 1{,}7 \end{cases}.$$

С учетом механического КПД η_{M} коэффициент пересчета k_{RCL} мощности будет определяться формулой

$$k_{RCL} = (k - 0{,}7(1-k)/\eta_{\text{M}} - 1,$$

а допустимая $P_{\text{д}i}$ мощность i-го ДГ – выражением $P_{\text{д}i} = k_{RCL} \cdot P_{\text{H}}$, где P_{H} – номинальная мощность двигателя.

Расчеты показывают, что при изменении температуры воздуха от 27 до 62°С значения k_{RCL} изменялись от 0,96 до 0,88, а при изменениях трех параметров (T, D, j) – от 0,93 до 0,85. При этом температура охлаждающей воды изменялась в пределах 25–35°С.

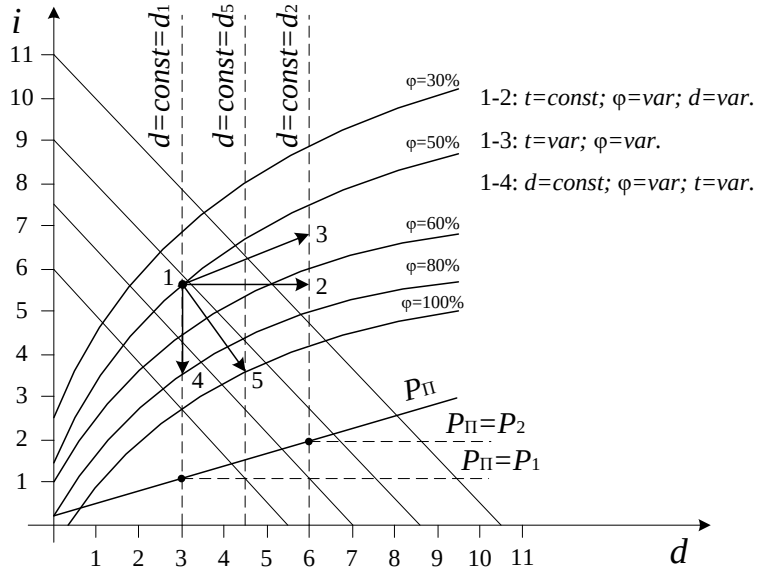


Рис. 1. Влияние изменения относительной влажности на парциальное давление

Таким образом, нами установлен закон определения k_{RCL}, использование которого в алгоритмах работы [6] придает гибкость в порождении предикатов $PH(l)$, $PD(l)$, что, в свою очередь, позволит эксплуатировать ГА в зонах, близких к заградительным характеристикам, и тем самым повысить коэффициент загрузки судовых электростанций.

Тем не менее, можно предложить еще один из способов дальнейшего совершенствования алгоритмов управления электростанцией путем поддержания оптимального режима работы двигателя, если в качестве критерия оценки режима принять [4] постоянство значения суммарного коэффициента избытка воздуха

$$\alpha_c - \alpha_{opt} \Rightarrow \min,$$

где α_c – текущее, α_{opt} – оптимальное для установившегося режима работы дизеля значение коэффициента, при котором достигается максимально возможная мощность при минимальном расходе топлива и допустимой температуре выпускных газов. В судовых условиях суммарный коэффициент избытка воздуха можно определить [4] по показаниям приборов, пользуясь выражением

$$\alpha_c = A_1 \frac{P_S}{T_S G_T}\left(\frac{1}{1+1{,}61d(i)}\right),$$

где A_1 – константа, учитывающая конструктивные особенности дизеля, а также то, что

произведение коэффициентов наполнения и продувки можно считать практически постоянным; P_S и T_S – давление и температура воздуха в турбонагнетателе; G_T – расход топлива в единицу времени; $d(i)$ – влагосодержание воздуха в *i*-том установившемся режиме.

Эту взаимосвязь можно представить в виде номограммы (рис. 2), где расходы влажного и сухого воздуха связаны отношением

$$\frac{G_{\text{ВС}}}{G_{\text{ВВ}}} = \frac{1}{1+1{,}61d_i}.$$

Значение d_i находят при помощи таблиц влажного воздуха или *i-d* диаграммы (рис. 1).

Из номограммы следует, что, если при нагрузке ДГ $P(i)$ и расходе топлива G_T^A остальные рабочие параметры будут характеризоваться набором $\{P_S(i), T_S(i), d_i\}$, то суммарный коэффициент избытка воздуха $\alpha_c(i) < \alpha_{opt}$ будет меньше оптимального значения, а расход сухого воздуха – на $\Delta G_{\text{ВС}}$ меньше нормы, что ухудшит процесс сгорания и приведет к росту температуры выпускных газов.

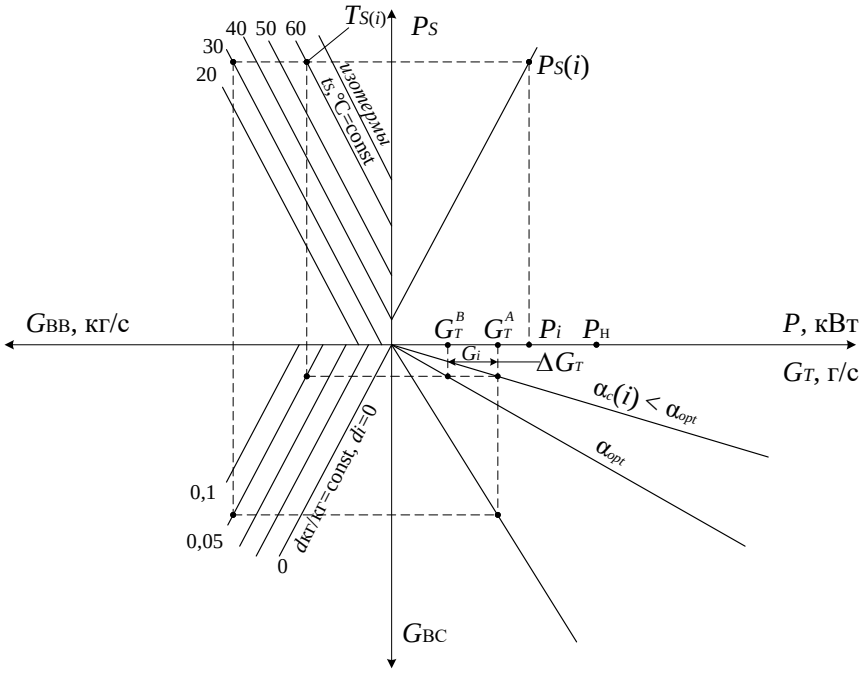


Рис. 2. Номограмма взаимосвязи расходов влажного и сухого воздуха

В этом случае регулировать режим работы дизеля можно двумя способами: уменьшением расхода топлива на величину ΔG_T путем перераспределения нагрузок между параллельно работающими ГА *PRSH* или подключением накопителей *ONACC* или отключением второстепенных *OFCNS* для данного режима потребителя; снижением температуры наддувочного воздуха T_S за счет увеличения потока охлаждающей воды в системе охлаждения наддувочного воздуха.

Следует отметить, что зона $\alpha_c > \alpha_{opt}$ является также нежелательной, поскольку увеличение α_c относительно оптимального приводит к ухудшению процесса сгорания, увеличению потерь тепла с уходящими газами и уменьшению индикаторного КПД.

Выполненные исследования позволяют синтезировать структуру алгоритма оптимизации *PROPT* режимов работы дизелей, если в качестве условия принять, что система содержит все необходимые датчики $\{P_S, P_i, T_S, G_T, \varphi, t^{\Gamma}\}$, где j – влажность воздуха, t^{Γ} – температура выхлопных газов, $\{SMW, SMF\}$ – исполнительные органы (сервомоторы), с помощью которых можно управлять подачей воды *SMW* для охлаждения наддувочного воздуха и подачей топлива *SMF*.

В качестве способа организации работы программы *PROPT* выберем способ прерывания с периодом дискретности $T_{ЦО}$, определяемым динамическими свойствами системы охлаждения наддувочного воздуха и дизеля как двигателя внутреннего сгорания.

Для облегчения процедуры логического программирования представим программу *PROPT* в виде совокупности *PROPT* = {*SBHTP*,*SBALF*,*SBSM*,*SBCNT*} подпрограмм, а именно подпрограммы *SB* контроля высокой температуры *SBHTP*, расчета отклонений коэффициента избытка воздуха *SBALF*, управления сервомоторами *SBSM* и расчета длительности включения сервомотора *CNT*.

С учетом изложенного, запишем правила функционирования системы в виде следующих инструкций с использованием подхода, принятого нами в [11–13]:

while $T_{ТЦ}$ *do*
PROPT,*SBALF*,*SBHTP*,*SBSM*,*SBCNT od*
while SBALF do: $(t_i^{\Gamma} - t_{доп}^{\Gamma} = \Delta t^{\Gamma})$ *if*
$\Delta t^{\Gamma} > 0$ *then HTP*
go to SBHTP else do:
$(\alpha_c(i) = f(P_S, P_i, T_S, G, \varphi, \Delta\alpha_c(i) - \alpha_{opt})$
if $|\Delta\alpha_c(i)| > \Delta\alpha_{доп}$
then go to SBSM else fi od,

т. е. выполнение подпрограммы *SBALF* всегда начинается с контроля температуры выпускных газов t^{Γ} и, если она выше нормы (*HTP* = И), то осуществляется переход к *SBHTP*, иначе производится расчет $\alpha_c(i)$ и сравнение его с оптимальным значением α_{opt}, если при этом отклонение выше допустимого, то переход к *SBSM*, иначе конец программы.

Подпрограмма *BHTP* выполняется по правилу:

while SBHTP do if HTP & $\overline{WVOPN}$ *then*
ONSMW(*INC*) *do* $B_W = f(\Delta t^{\Gamma})$ *go to SBCNT*
else if HTP&*WVOPN*&*DCF*
then ONSMF(*DEC*) *do*
$B_F = f(\Delta t^{\Gamma})$ *go to SCBNT*(B_F) *else fi od,*

т. е., если температура выпускных газов выше нормы (*HTP* = И) и клапан системы охлаждения наддувочного воздуха полностью не открыт $\overline{WVOPN}$, то: включается *ON* сервомотор *SM* в направлении увеличения *INC* подачи охлаждающей воды *ONSMW*(*INC*); рассчитывается время его работы B_W в зависимости от превышения температуры и осуществляется переход к подпрограмме отсчета *SBCNT* времени работы сервомотора. Если же при повышенной температуре газов клапан воды окажется полностью открытым *WVOPN* и на верхнем уровне (уровне координатора) принято решение *DCF* снизить температуру газов уменьшением подачи топлива, то включается *ON* серводвигатель *SMF* регулятора в направлении уменьшения подачи топлива *ON-SMF*(*DEC*), рассчитывается время его работы B_F и осуществляется переход к подпрограмме отсчета временного интервала *SBCNT*(B_F), иначе конец подпрограммы.

Остальные $\{SBSM, SBCNT\}$ подпрограммы должны выполняться по следующим инструкциям:

while SBSM do if $(\Delta\alpha_c(i) < 0)$ & $\overline{WVOPN}$
then ONSMW(*INC*) *do* $B_W = f(\Delta\alpha)$
go to SBCNT(B_W) *else if* $(\Delta\alpha_c(i) > 0)$ &
$\overline{WVCLS}$ & $\overline{HTP}$)
then *ONSMW*(*DEC*) *do* $B_W = f(\Delta\alpha)$ *go to SBCNT*(B_W) *else if* $(\Delta\alpha_c(i) < 0)$ &
WVOPN&*DCF then ONSMF*(*DEC*) *do* $B_F = f(\Delta\alpha)$ *go to SBHTP else fi od*
while SBCNT(B_W) *do:*
if $(\Delta B_W(t+1) - 1(CNT) = 0)$ *then OFSMW*
else fi od;
while SBCNT(B_F)
do: *if* $(\Delta B_F(t+1) - 1(CNT) = 0)$
then OFSMF else fi od,

т. е. при отклонениях суммарного коэффициента избытка воздуха в ту или другую сторону от оптимального включаются в соответствующем направлении сервомоторы, если есть возможность регулировки, в противном случае, когда клапан уже полностью открыт, регулировка осуществляется воздействием на подачу топлива, если есть на это разрешение координатора (*DCP*=И). При превышении температуры выпускных газов процесс отправляется к подпрограмме *SBHTP*.

Выполнение подпрограмм *SBCNT* осуществляется путем сравнения результата вычитания из остатка числа, отображающего величину временного интервала $\Delta B(t+1)$, единицы 1(*CNT*) счета, которая, как правило, эквивалентна длительности основного такта $T_{ТЦ}$.

Поддержание оптимального режима работы каждого ДГ путем регулирования α_c в какой-то мере способствует решению задачи минимизации расхода топлива, так как для текущего значения нагрузки система обеспечивает не только нормальный тепловой режим дизеля, но и максимальный КПД (рис. 3).

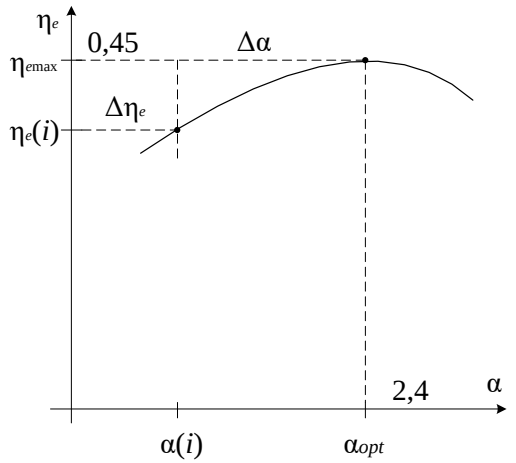


Рис. 3. Зависимость КПД от коэффициента избытка воздуха при 65% нагрузке

Однако, в целом по электростанции целевая функция суммарного расхода топлива может не иметь глобального минимума:

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^{l} F(i) \to \min,\ F(i) = g_e(i) P_Д(i),$$

$$F_\Sigma = g_{e\Sigma} P_{Д\Sigma};\ g_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^{l} \lambda(i) g_e(i),$$

где F_Σ, $F(i)$ – расходы топлива электростанции за час и i-го ГА; $g_{e\Sigma}$, $g_e(i)$ – удельные расходы топлива электростанции и i-го ГА; P_Σ и $P_Д(i)$ – нагрузка электростанции и i-го ГА; $\lambda(i) = P_Д(i)/P_\Sigma$ – доля нагрузки i-го ГА.

Необходимым условием существования минимума F_Σ является равенство нулю полного дифференциала $dg_{e\Sigma}$:

$$dg_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^{l} \frac{\partial g_{e\Sigma}}{\partial P_Д(i)} dP_Д(i) = 0.$$

Для получения экстремума функции $g_{e\Sigma}$ необходимо так распределить нагрузки, чтобы величины $\theta(i)$ каждого ГА в точках режима имели равные значения, т. е. $\theta(1) = \theta(2) = ... = \theta(i) = ... = \theta(l)$, где

$$\theta(i) = \frac{\partial(P_Д(i) g_e(i))}{\partial P_Д(i)} = g_e(i) + P_Д(i) \frac{\partial g_e(i)}{\partial P_Д(i)}.$$

Достаточным условием оптимального распределения нагрузки является требование минимума $g_{e\Sigma} \to \min$. Это достаточное условие выполняется при $d^2 g_{e\Sigma} > 0$.

Если ГА имеют одинаковые нагрузочные характеристики, то для выполнения необходимого условия требуется в точках режимов работы электростанции распределить нагрузки равномерно. Для выполнения достаточности требуется выполнение набора условий:

$$\{2\frac{\partial\theta}{\partial P_Д(i)} > 0; 3\left(\frac{\partial\theta}{\partial P_Д(i)}\right)^2 >$$

$$0; ...; l\left(\frac{\partial\theta}{\partial P_Д(i)}\right)^{l-1} > 0\},$$

что возможно только в том случае, если все производные окажутся $\frac{\partial\theta}{\partial P_Д(i)}$ положительными.

Этот вывод является очень важным, поскольку дает возможность рассчитать по условиям оптимальности нижние пороги загрузки электростанции (рис. 4). В этом случае область работы генераторов (рис. 5), ограниченная допустимыми пределами, может возрасти, и ее выражение будет иметь вид

$$P_{PD} \le P_Г(i) \le (1 - \frac{\nu_1}{l}) P_Д.$$

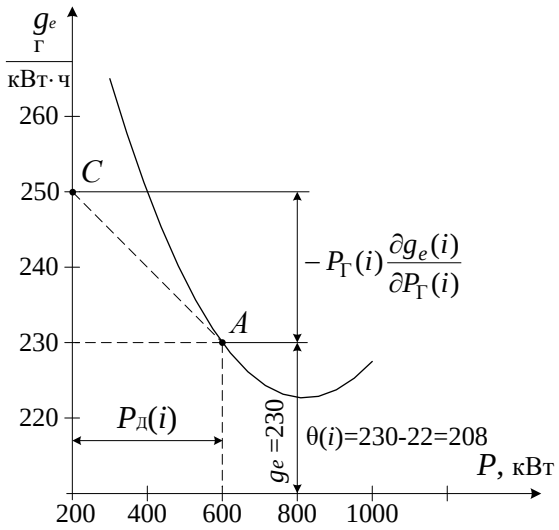


Рис. 4. К определению параметра g_e

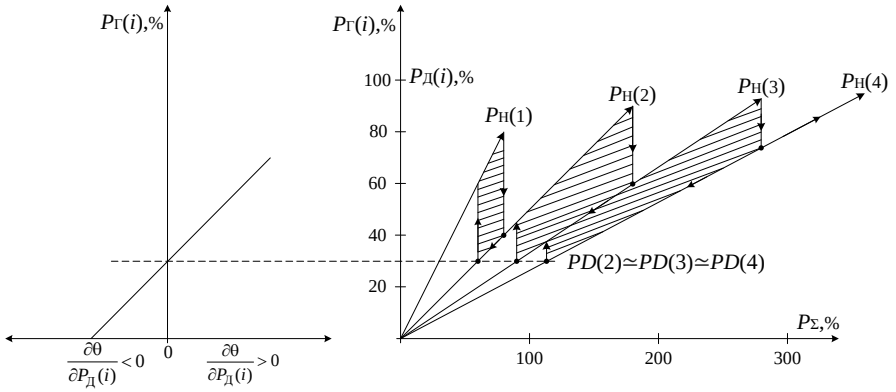


Рис. 5. Определение допустимого нижнего предела загрузки электростанции из условия оптимального распределения нагрузки

Однако в процессе эксплуатации нагрузочные характеристики первичных двигателей, как правило, изменяются, что может привести к существенному их разбросу и постановке задачи оптимизации режимов работы электростанции с учетом реальных нагрузочных характеристик.

Для решения задачи в такой постановке целесообразно использовать метод динамического программирования, обеспечивающий выбор наиболее вероятного (квазиоптимального), для определенного участка режима работы, состава ГА с соблюдением всех ограничений.

Для выполнения алгоритма динамического программирования должны быть построены эквивалентные характеристики $F_{\Sigma}^{Э}(P_{\Sigma})$, которые представляют собой зависимости минимального расхода топлива агрегатов от их суммарной мощности, т. е.:

$$F_{\Sigma}^{Э}(P_{\Sigma}) = \min\{F_i(P(i)) + F_{\Sigma-i}(P_{\Sigma} - Pi)\}.$$

Таким образом, для каждого дополнительного $P(i)$ нахождение $\min F_{\Sigma}^{Э}(P_{\Sigma})$ сводится к нахождению глобального минимума функции $F_i(P(i)) + F_{\Sigma-i}(P_{\Sigma} - Pi)$, который может быть определен простым перебором. Одновременно с выбором состава ГА решается задача оптимального распределения нагрузок.

Выводы. Выполненные исследования позволяют установить следующие правила функционирования к алгоритму оптимального управления электростанцией при изменении нагрузки, технического состояния ГА и условий окружающей среды:

1. Формирование базы данных, определяющих количество работающих ГА, их техническое состояние, нагрузку, расход топлива и параметры окружающей среды.

2. Анализ нагрузочных характеристик агрегатов и формирование базы данных для расчетов по оптимизации режима.

3. Определение коэффициента пересчета мощности k_{RCL} и корректировка верхних порогов загрузки из условий технического состояния и метеоэлементов.

4. Корректировка допустимых, по условиям оптимального распределения нагрузок, нижних порогов загрузки.

5. Определение суммарной нагрузки электростанции, анализ эквивалентных характеристик расхода топлива и выбор оптимального состава ГА по критерию минимума расхода топлива, а также с учетом ограничений по верхним и нижним порогам загрузки.

6. Выполнение операций пуска, синхронизации, перевода нагрузки и остановки ГА, связанных с формированием оптимального состава ГА.

7. Распределение нагрузок между параллельно работающими ГА по условиям оптимальности $F_{\Sigma} \min(P_{\Sigma})$.

8. Выполнение программы *PROPT* оптимизации первичного двигателя электростанции по реализации критерия

$$(\alpha_c - \alpha_{opt}) \to \min.$$

В процессе работы электростанции в установившемся режиме или в период смены состава по условиям оптимального управления могут возникать аварийные и предаварийные ситуации, вызванные выбегом контролируемых параметров за предельный уровень.

Для этих случаев должны быть предусмотрены алгоритмы формирования команд на ввод резервного и вывод аварийного ГА с учетом заданной очередности, разработке которых будут посвящены дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Mukund R. Patel. Shipboard electrical power systems. CRC Press, 2012. 370 p.
2. Kithsiri U. G., Senanayake1 N. S., Abeyweera Ruchira, Jayasuriya Jeevan. A model for estimation of de-rating in diesel engines used for power generation. *International Journal of Energy Engineering*. 2016. No. 6 (2). P. 36–42. DOI: 10.5923/j.ijee.20160602.03.
3. Saber Hindren A., Al-Barwari Ramzi R. Ibraheem, Talabany Ziyad J. Effect of ambient air temperature on specific fuel consumption of naturally aspirated diesel engine. *Journal of Science and Engineering*. 2013. Vol. 1 (1). P. 1–7.
4. Mollenhauer Klaus, Tschoeke Helmut (eds). Diesel engine engineering hand book. Springer, 2010. ISBN-10: 3540890823.
5. McCrone A. K. L. Diesel plant operator's hand book. Pitman. ISBN-10: 0273409603.
6. Захарченко В. Н., Шевченко В. А. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки. *Судовые энергетические установки:* науч.-техн. сб. 2015. Вып. 36. С. 74–82.
7. Rai G. D. An introduction to power plant technology. 3rd ed. Delhi Khanna publishers, 1997.
8. Пипченко А. Н., Пономаренко В. В., Шевченко В. А., Табулинский И. Н. Эксплуатация и ремонт одно- и двухтопливных двигателей производства Wartsila в энергетических установках морских транспортных средств: монография. Одесса: ТЭС, 2018. 361 с.
9. El-Gohary M. Morsy. Overview of past, present and future marine power plants. *Journal of Marine Science and Application*. 2013. No. 12 (2). P. 219–227.
10. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / пер. с нем. В. И. Федышина; под ред. Н. Н. Иванченко. Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд., 1978.
11. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией. *Автоматизация судовых технических средств:* науч.-техн. сб. 2015. Вып. 21. С. 70–76.
12. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії:* науч.-техн. сб. 2015, Вып. 1. С. 296–301.

References

1. Mukund R. Patel (2012) Shipboard electrical power systems. CRC Press. 370 p.
2. Kithsiri, U. G., Senanayake1, N. S., Abeyweera, Ruchira, Jayasuriya, Jeevan (2016) A model for estimation of de-rating in diesel engines used for power generation. *International Journal of Energy Engineering*, 6 (2), pp. 36–42. DOI: 10.5923/j.ijee.20160602.03.
3. Saber, Hindren A., Al-Barwari, Ramzi R. Ibraheem, Talabany, Ziyad J. (2013) Effect of ambient air temperature on specific fuel consumption of naturally aspirated diesel engine. *Journal of Science and Engineering*, Vol. 1 (1), pp. 1–7.
4. Mollenhauer, Klaus, Tschoeke, Helmut (eds) (2010) Diesel engine engineering hand book. Springer, ISBN-10: 3540890823.
5. McCrone, A. K. L. Diesel plant operator's hand book. Pitman, ISBN-10: 0273409603.
6. Zakharchenko, V. N. Shevchenko, V. A. (2015) Solving of tasks for control by ship's electrical power plant in power changing conditions. *Sudovyie energeticheskie ustanovki:* sci.-tech. coll. Iss. 36, pp. 74–82 [in Russian].
7. Rai, G. D. (1997) An introduction to power plant technology, 3rd ed. Delhi Khanna publishers.
8. Pipchenko, A. N., Ponomarenko, V. V., Shevchenko, V. A., Tabulinsky, I. N. (2018) One- and dual-fuel Wartsila engines maintenance and repair in marine power plants: monograph. Odessa: TES. 361 p. [in Russian].
9. El-Gohary M. Morsy (2013) Overview of past, present and future marine power plants. *Journal of Marine Science and Application*. 12 (2), pp. 219–227.
10. Zinner, K. (1978) Internal combustion engines turbocharging. In: N. N. Ivanchenko (ed.). Leningrad: Mashynostroyeniye [in Russian].
11. Shevchenko, V.A. (2015) Verification of functional algorithms of control system of multiunit ship's electrical power plant. *Avtomatizatsiya sudovyih tehnicheskih sredstv:* sci.-tech. coll. Iss. 21, pp. 70–76 [in Russian].
12. Shevchenko, V. A. (2015) The method of verification of functional algorithms of control system of multiunit ship's electrical power plant. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii:* sci.-tech. coll. Iss. 1, pp. 296–301 [in Russian].

V. A. Shevchenko, *Ph.D., associate professor*
the head of the ships' technical maintenance department
e-mail: vash4891@gmail.com
National University "Odesa maritime academy"
Didrikhson str., 8, Odesa, 65000, Ukraine

OPTIMIZATION OF POWER PLANT CONTROL ON MINIMUM FUEL CONSUMPTION TAKING INTO ACCOUNT WEATHER CONDITIONS

Modern automated marine electrical power systems have low generated power load factor and, as the result, low efficiency. It can be explained not only by power plant configuration but also imperfect setup of power plant control modes. So far such tasks are being solved using approximate and in some cases rough methods tending to increase power redundancy in main ship operation modes.

During the calculation of power and load limits of power plant usually mean or critical values of uncontrollable variables (power demand, pressure, temperature and ambient humidity) are used without taking into account the changes in such parameters. The most specific changes in parameters when ship sails in tropics are the following: reduction of engine power, increase of specific fuel consumption and exhaust gas temperature caused by decrease of air weight charge and increase of its temperature.

The goal of this research is to work out the algorithms of calculation and continuous control of permissible power plant engine loads as well as the algorithms of automatic control of engine operating parameters in accordance with changes of ambient parameters.

Power plant internal combustion engines air to fuel ratio calculation method is proposed in the paper taking into account wet and dry air consumption which can be defined using given nomograms. Fuel-air ratio optimization algorithms are developed. Power plant control optimization algorithms on minimum fuel consumption taking into account weather conditions are synthesized.

The fulfilled research allows to develop marine power plant control systems, optimal during changes in load, generator engines technical condition and weather condition.

Keywords: *electrical power plant control, air-fuel ratio, algorithms synthesis, fuel consumption, optimization.*

В. А. Шевченко, *к.т.н., доцент,*
зав. кафедри технічної експлуатації суден
e-mail: vash4891@gmail.com
Національний університет «Одеська морська академія»
вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65000, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ З УМОВИ МІНІМУМУ ВИТРАТ ПАЛИВА І З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОУМОВ

Сучасні суднові електроенергетичні системи мають низький коефіцієнт завантаження і, як наслідок, низький коефіцієнт корисної дії. Це може бути наслідком не тільки невдалої конфігурації електроенергетичної установки, але й недовершеної організації її режимів роботи. Досі вирішення завдань, що розглядаються, виконують за допомогою приблизних, а частіше достатньо грубих способів, прагнучі підвищити резервування електричної потужності у головних режимах роботи судна. При розрахунку потужності та припустимих значень завантаження електростанції за режимами зазвичай відштовхуються від усереднених або граничних значень змінних, що не керуються (запит завантаження, температура, тиск, вологість навколишнього середовища та ін.). Найбільш характерними змінами параметрів при плаванні судна у тропічних широтах є зменшення потужності двигунів, підвищення витрати пального

та температури вихлопних газів, викликані зменшенням заряду повітря та зростанням його температури. Метою цього дослідження є вирішення завдання управління електростанцією з умов мінімуму витрати пального, розробка алгоритмів розрахунку та безперервного контролю припустимих навантажень дизелів, а також алгоритмів автоматичного регулювання параметрів роботи двигуна з урахуванням змін навколишнього середовища. У роботі проаналізовано режими роботи електростанцій сучасних суден та їх середнє завантаження. Запропоновані вирази для визначення сумарного коефіцієнта надлишку повітря двигунів у судновій електростанції з урахуванням витрати вологого та сухого повітря, що визначається за номограмами, наданими у роботі. Отримано вирази, які дозволяють визначити оптимальний коефіцієнт надлишку повітря двигуна внутрішнього згоряння, що відповідає максимальному ККД. Розроблено алгоритми управління електростанцією із урахуванням мінімуму витрати палива шляхом варіювання коефіцієнта надлишку повітря та подачі палива. Виконані дослідження дозволяють встановити правила функціонування системи оптимального управління електростанцією при зміні завантаження, технічного стану генераторних агрегатів та умов навколишнього середовища.

Ключові слова: *управління електростанцією, коефіцієнт надлишку повітря, синтез алгоритмів, витрата палива, оптимізація.*

УДК 621.38

А. О. Куцевол, *магістр,*
Ю. Г. Лега, *д.т.н., професор,*
О. С. Гавриш, *к.ф.-м.н., доцент,*
М. О. Багрій, *магістр*
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СОРТУВАННЯ ОВОЧІВ/ФРУКТІВ ЗА РОЗМІРОМ

Розроблено установку для сортування овочів/фруктів за розміром на базі системи технічного зору. Розробка дозволяє прискорити робочий процес по сортуванню овочів/фруктів і точніше відбирати їх за розміром, базуючись на визначенні таких параметрів: висота, ширина, периметр та площа зображення вимірюваного об'єкта; коефіцієнт форми.

Ключові слова: *автоматизована установка, технічний зір, цифрова обробка зображень, середовище LabVIEW, модуль Vision Assistant.*

Вступ. Традиційно рослинництво є однією з основних галузей народного господарства України. Ефективність вирощування продуктів рослинництва залежить від багатьох чинників, серед яких одне з основних місць посідає якість насіння. При великих об'ємах обробки посівного матеріалу виникає необхідність використання автоматизованих систем сортування (калібрування). Також актуальне сортування продуктів рослинництва, яке може передувати етапу збуту вирощеної продукції.

В останні роки цифрова обробка і цифровий аналіз зображень знаходять все ширше застосування в різних галузях науки і техніки, таких як: інтелектуальні робототехнічні комплекси, системи промислового контролю, системи управління рухомими апаратами, обробка даних дистанційного зондування, біомедичні дослідження, нові технології обробки документів і багато інших [1].

Проблематика технічного зору полягає в тому, що нині технічні можливості досягли такого рівня, що майже зрівнялися з можливостями людського ока, розширення багатьох сенсорів для отримання відеоінформації майже відповідає кількості елементів рогівки людського ока, а можливості ЕОМ і спеціальних процесорів близькі до характеристик «обчислювальних потужностей», використовуваних для обробки зображень у мозку. Тому цю систему все частіше починають використовувати для різного роду вимірювальної техніки [2].

Популярним середовищем, що ґрунтується на концепції віртуальних інструментів та системі віртуального зору, є NI LabVIEW (National Instruments Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [3–6]. У фундаментальній науці LabVIEW використовують такі передові центри, як CERN, Lawrence Livermore, Batelle, Oak Ridge, в інженерній практиці – об'єкти космічного, повітряного, надводного та підводного флотів, промислові підприємства.

Найбільш близькою за функціональними можливостями є установка, описана в роботах [7; 8], призначена для оцінювання якості інкубаційних яєць шляхом вимірювання їх геометричних розмірів і форми на базі системи технічного зору. В роботі [9] синтезовано автоматизовану установку в середовищі LabVIEW [10–13] для визначення геометричних розмірів бульб картоплі. Установки, описані в роботах [7–9], мають майже однакову будову, проте більша різноманітність форм і більший розкид геометричних розмірів бульб картоплі змушують проводити додаткові дослідження, спрямовані на отримання оптимального зображення за рахунок правильного вибору положення камери відносно вимірюваного об'єкта.

Постановка задачі. В роботі розробляється установка для обробки отриманого зображення, визначення параметрів виділеного об'єкта, аналізу та порівняння отриманих даних з допустимими граничними значеннями і подальшим виведенням інформації на екран.

Отримання зображення відбувається за допомогою веб-камери, далі за допомогою модуля Vision Assistant [4] відбувається обробка зображення та визначення геометричних параметрів основного об'єкта зображення. Для цього було розроблено відповідний алгоритм обробки та аналізу зображення.

Отримані вихідні дані обробляються і аналізуються розробленою блок-схемою, яка порівнює отримані параметри з нормованими та виводить всю інформацію на екран. Вся інформація в ході досліду заноситься до таблиці та автоматично виводиться в файл MS Excel.

Мета роботи полягає в розробці функціональної схеми установки, яка в автоматизованому режимі, з мінімальними затратами часу, визначає геометричні параметри зображення об'єкта та відбирає об'єкти за певними критеріями.

Результати роботи. Розроблено алгоритм обробки зображення (рис. 1), в модулі Vision Assistant він називається скриптом, скрипт містить десять блоків:

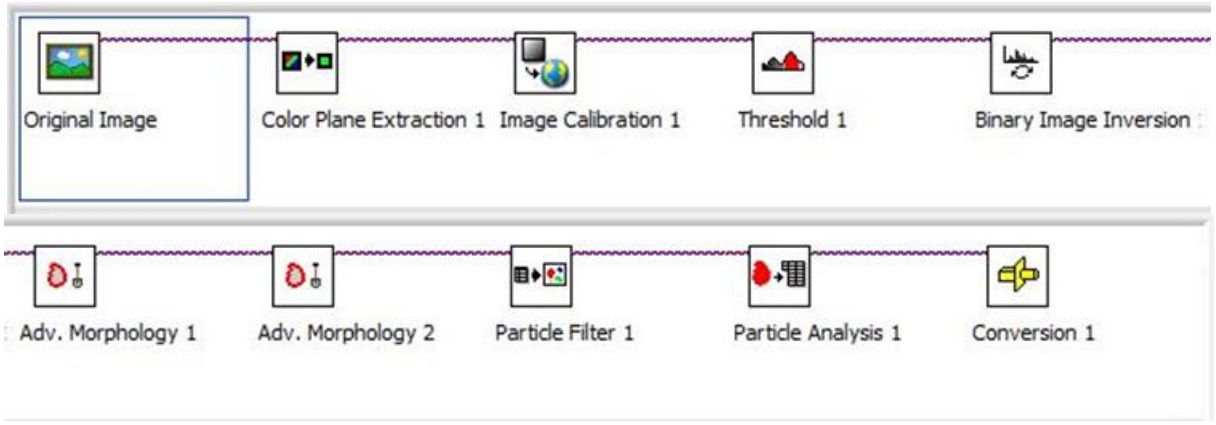


Рис. 1. Алгоритм обробки зображення модуля Vision Assistant

1) Original Image – оригінал зображення;
2) Color Plane Extraction – конвертація зображення в чорно-білу гамму;
3) Image Calibration – калібрування зображення;
4) Threshold – розділення зображення за градаціями сірого на підложку та власне зображення;
5) Binary Image Inversion – інвертування бінарного зображення;
6) Два блоки Advanced Morphology: перший блок відсікає частинки, що дотикаються до границі зображення, а другий – заповнює отвори у вже виділених об'єктах;
7, 8) Particle Filter – відбір частинок за певним принципом (наприклад видалення усіх частинок, що мають відношення поперечного розміру до поздовжнього, більше від заданого);
9) Particle Analysis – визначення геометричних параметрів виділеного об'єкта;
10) Conversion – конвертує зображення у вказаний тип зображення.

Кожен з цих блоків має свої налаштування та функції.

Блок Original Image відображає оригінальне зображення, яке було завантажене в модуль Vision Assistant. Цей блок відображається одразу після запуску модуля, тому він не потребує ніякого налаштування.

Блок Color Plane Extraction потрібен для того, щоб була можливою подальша обробка зображення. Оскільки не всі блоки в змозі працювати з кольоровими зображеннями, тому потрібно перетворити зображення з кольорового в чорно біле.

Блок Image Calibration [5] потрібен для того, щоб відкалібрувати зображення. Калібрування зображення необхідне для того, щоб знати, якою є реальна відстань між двома точками зображення. Для цього була використана звичайна лінійка, яку було сфотографовано і завантажено в модуль Vision Assistant. Таким чином було отримано дані, які визначали, що кількість пікселів n дорівнює певній відстані. Важливо, щоб розширення зображення досліджуваного об'єкта і розширення зображення лінійки були однаковими, інакше проводити подальші вимірювання буде неможливо.

Блок Threshold [2, с. 140] виконує бінаризацію зображення. Після цього значення кожного пікселя зображення стає рівним 0 (фон) або 1 (об'єкт) (рис. 2).

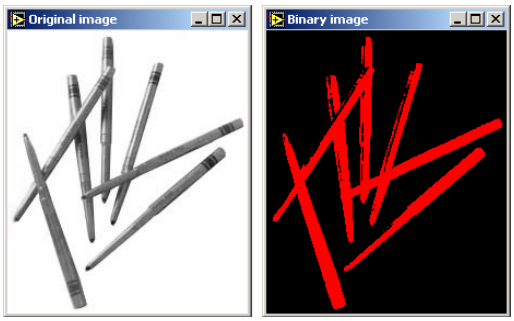


Рис. 2. Результат операції Threshold

Блок Binary Image Inversion інвертує результат бінаризації.

Блок Advanced Morphology відсікає зайві об'єкти, що дотикаються до границі об'єкта. Це потрібно, щоб вони не сприймалися як частина основного об'єкта і в подальшому не обчислювались їхні параметри. Також цей блок заповнює отвори в об'єкті, щоб таким чином запобігти збою в розрахунку параметрів.

Блок Particle Filter виконує відсікання частинок, які не видалились після відсікання зайвих частинок у блоці Advanced Morphology, оскільки ті були завеликими чи знаходились далеко від границі об'єкта і розпізналися як основний об'єкт. Видалення зайвих частинок відбувається за певним принципом, наприклад, якщо дано об'єкт, що має певну висоту і ширину, то всі інші об'єкти, які менші за розмірами, будуть видалятись. Блок Particle Analysis виконує аналіз об'єкта, визначає його геометричні параметри та виводить у табличний ряд. Цей блок налаштовується залежно від того, які параметри потрібно визначити і в яких одиницях виміру.

Блок Conversion перетворює зображення у вказаний тип. Це необхідно для того, щоб після всіх маніпуляцій із зображенням воно відображалось на виході в блоці Image Out. Якщо не поставити цей блок, то на виведеному зображенні буде видно тільки чорний екран.

Протестувавши алгоритм обробки зображення, також було розроблено блок-схему обробки та аналізу отриманих даних (рис. 3). Найважливішими блоками схеми є блоки Vision Acquisition і Vision Assistant (табл. 1). Блок Vision Acquisition виконує захоплення зображення, його можна налаштувати на різні режими отримання зображення.

За допомогою певних налаштувань можна зробити одиничний знімок, безперервно виконувати збір даних з камери чи задати визначену кількість знімків, що виконує камера.

Блок Vision Assistant є простим і зручним засобом, за допомогою якого можна швидко здійснити будь-які необхідні дії над вихідним зображенням.

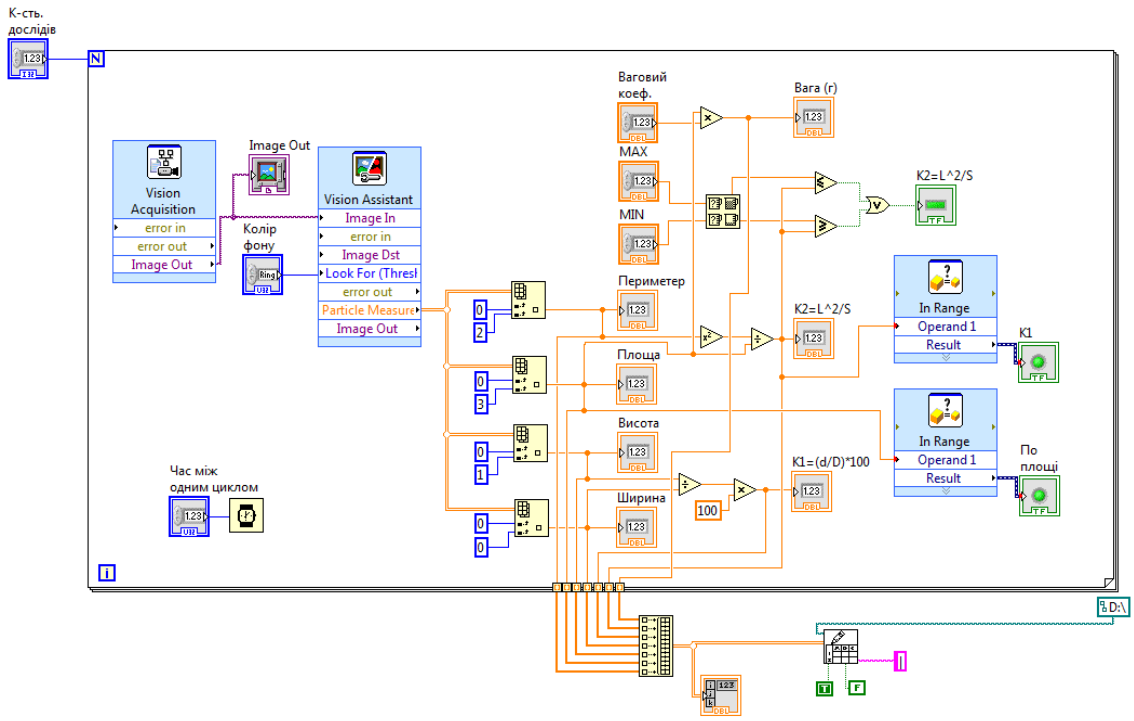


Рис. 3. Функціональна блок-схема установки

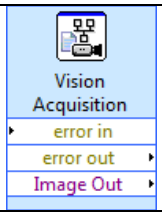
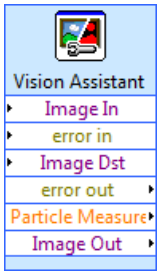
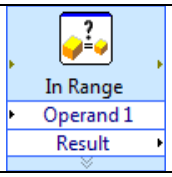
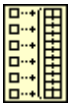
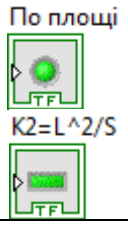
Для виведення отриманих даних з модуля Vision Assistant було підключено блоки Index Array, які виділяють певні значення з таблиці отриманих геометричних параметрів. Ці параметри в подальшому використовуються для розрахунку коефіцієнта форми об'єкта. Для розрахунку коефіцієнта форми [8] також використовувались відповідні блоки математичних операцій.

Далі ці значення потрапляють до компаратора, який відбирає дані в заданому діапазоні і виводить на індикатор інформацію про відповідність певному критерію. Наприклад, якщо коефіцієнт форми дорівнює певній константі, то всі значення, що більші або менші за задане, будуть відкидатись, а індикатор буде загорятись, якщо отримані дані не будуть відповідати нормі.

Проведені вимірювання та розрахунки будуть виводитись на екран у вигляді таблиці завдяки блоку Array, а також переводитись у табличний файл MS Excel завдяки блоку Write To Spreadsheet File.vi.

Таблиця 1

Опис елементів блок-діаграми

№	Елемент	Опис
1		Захоплення зображення, налаштування контрастності, час захоплення, розширення зображення
2		Модуль Vision Assistant для виділення зображення від фону, переведення в монохромний вид зображення, калібрування та вимірювання розмірів об'єкта в метричній системі
3		Індикатор для виведення захопленого зображення
4		Бібліотека для виділення з таблиці отриманих геометричних параметрів для подальших розрахунків
5		Математичний елемент піднесення до степеня
6		Математичний елемент відношення
7		Математичний елемент множення
8		Бібліотека порівнювання за мінімальним і максимальним значеннями
9		Компаратор для отримання коефіцієнта форми в заданому діапазоні
10		Бібліотека об'єднання одиничних параметрів у табличний ряд
11		Бібліотека передачі табличних даних в Excel
12		Таблиця для виведення на екран отриманих результатів
13		Індикатор отриманих результатів
14		Індикатор браку

Для цієї установки також був розроблений інтерфейс програми (рис. 4). На рис. 4 позначено:

1) кількість дослідів;
2) час між одним циклом;
3) вибір кольору фону, на якому знаходиться об'єкт;
4) індикатор площі та коефіцієнта форми;
5) індикатор браку за коефіцієнтом форми;
6) діапазон коефіцієнта форми;
7) ваговий коефіцієнт;
8) індикатор отриманих даних;
9) візуальне зображення об'єкта;
10) таблиця з загальними даними по кожному досліду.

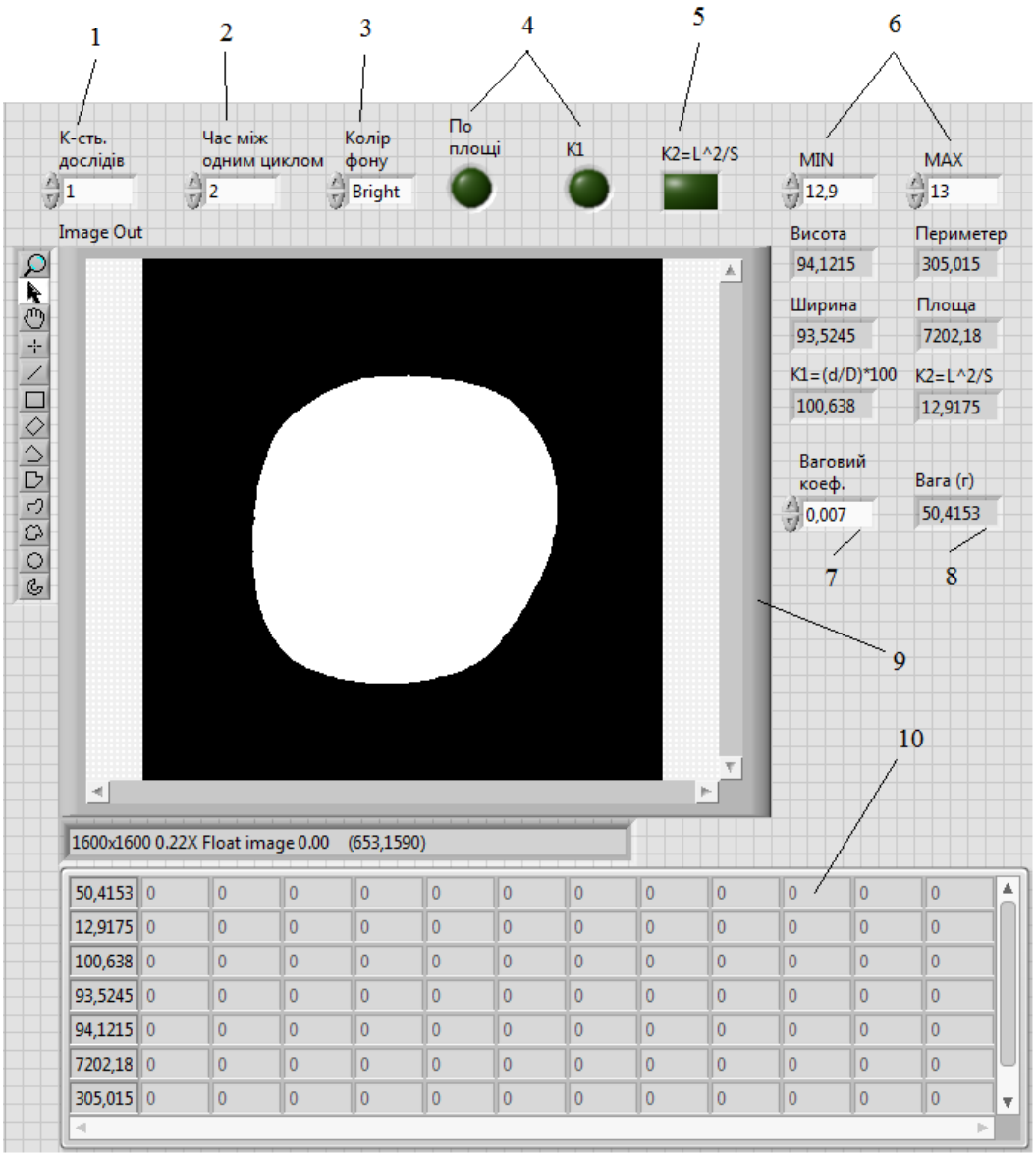


Рис. 4. Інтерфейс програми

Висновки. Використовуючи програмне забезпечення NI LabVIEW та додаткові бібліотеки і модулі, розроблено функціональну схему установки, яка дозволяє сортувати овочі/фрукти за розміром і формою. При використанні системи технічного зору для сортування продукції, крім геометричних розмірів, використовується коефіцієнт складності форми, який являє собою відношення квадрата периметра до площі і, очевидно, для різних овочів/фруктів має різні значення. Для овочів/фруктів «правильної» форми можна визначати їх вагу, оскільки вона корелює з їх площею, але для різних овочів/фруктів потрібно задавати свій ваговий коефіцієнт, який найпростіше визначати експериментально перед сортуванням партій продукції заданого виду. Використання автоматизованої установки дозволить підвищити продуктивність сортування у декілька разів порівняно з ручним методом і забезпечує більш високі точність і якість сортування, оскільки при комп'ютерній обробці зображень висуваються чіткі математичні критерії відбору.

Список літератури

1. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій; Харків. нац. ун-т

міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 75 с.
2. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Князь В. А., Ходарев А. Н., Моржин А. В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. Москва: ДМК Пресс, 2007. 464 с.
3. Офіційний сайт National Instruments. URL: www.ni.com
4. NI Vision Development Module. URL: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/2881.
5. NI Vision: Step 3: Develop Vision Script. URL: https://www.youtube.com/wat ch?v= LR33-W4Thww&list= PLgd8MjgDMLtdcnvdHOl4pt6v1OYAASuOd
6. NI Vision Builder Automated Inspection Dominos (Machine Vision Demo). URL: https://www.youtube.com/watch?v=e7QJLM vHE1Y&list=PLgd8MjgDMLtdcnvdHOl4pt 6v1OYAASuOd&index=2
7. Алиханов Дж., Молдажанов А., Шыныбай Ж., Цонев Р., Даскалов П. Метод оценки качеств инкубационных яиц путем определения их геометрических параметров. *Научни трудове на русенския университет.* 2012. Т. 51, серия 3.1. С. 182–187.
8. Алиханов Д. М., Молдажанов А. К. Установка для автоматизированного определения геометрических параметров яиц на базе системы технического зрения. *Machines, technologies, materials: sci. proceedings of the XI international congress.* 2014. С. 37–40.
9. Алиханов Д., Шыныбай Ж., Молдажанов А., Даскалов П. Результаты исследований автоматизированной установки для измерения геометрических параметров клубней картофеля на базе системы технического зрения. *Agricultural machinery: sci. proceedings of the III international sci. and tech. conf.* 2015. С. 41–44.
10. Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: справочник по функциям. Москва: ДМК Пресс, 2007. 536 с.
11. Тревис Джеффри. LabVIEW для всех / пер. с англ. Клушин Н. А. Москва: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2005. 544 с.
12. Луценко Г. В. Методика створення модулів обробки експериментальних даних у середовищі LABVIEW. *Вісник Черкаського національного університету*. 2012. Вип. 12 (225). С. 61–67.
13. Воєводін С. Імітаційне моделювання й віртуальні вимірювання в лабораторному практикумі. *Інформатика*. 2010. № 41–43 (569–571). С. 3–17.

References

1. Tvoroshenko, I. S. (2017) Abstract of the lectures on discipline "Digital Image Processing" for students of the 4-year course of full-time study, direction 6.080101 – Geodesy, cartography and land management.; Kharkiv Nat. Un-ty of city households named by O. M. Beketov. Kharkiv: KhNUMG im. O. M. Beketov, 75 p. [in Ukrainian].
2. Vizilter, Yu. V., Zheltov, S. Yu., Knyaz, V. A., Khodarev, A. N., Morzhin, A. V. (2007) Processing and analysis of digital images with examples on LabVIEW IMAQ Vision. Moscow: DMK Press. 464 p. [in Russian].
3. National Instruments official website. URL: www.ni.com
4. NI Vision Development Module. URL: http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/2881.
5. NI Vision: Step 3: Develop Vision Script [Electronic resource]. - Access mode https://www.youtube.com/watch?v=LR33-W4Thww&list=PLgd8MjgDMLtdcnvdHOl4pt6v1OYAASuOd.
6. NI Vision Builder Automated Inspection Dominos (Machine Vision Demo). URL: https://www.youtube.com/watch?v=e7QJLM vHE1Y&list=PLgd8MjgDMLtdcnvdHOl4pt 6v1OYAASuOd&index=2
7. Alikhanov, J., Moldazhanov, A., Shynybye, J., Tsonev, R., Daskalov, P. (2012) The method for assessment of incubation eggs quality by determining their geometrical parameters. *Nauchni trudove na rusenskiya universitet.* Vol. 51, series 3.1, pp.182–187 [in Russian].
8. Alikhanov, J., Moldazhanov, A. (2014) Installation for automated determination of geometric parameters of egg-based machine vision system. *Machines, technologies, materials: sci. proceedings of the XI international congress*, pp. 37–40 [in Russian].
9. Alikhanov, J., Moldazhanov, A., Shynybye, J., Daskalov, P. (2015) Results of the research of automated installation for definition of geometrical parameters of potato tubers based on vision systems. *Agricultural machi-*

nery: sci. proceedings of the III international sci. and tech. conf., pp. 41–44 [in Russian].
10. Suranov, A. Ya. (2007) LabVIEW 8.20: functional reference. Moscow: DMK Press, 536 p. [in Russian].
11. Travis, Jeffrey (2005) LabVIEW for everyone. Moscow: DMC Press; Pribor Komplekt, 544 p. [in Russian].
12. Lutsenko, G. V. (2012) Technique for creating modules for experimental data processing in LabVIEW environment. *Visnyk Cherkaskoho natsionalnoho universytetu,* iss. 12 (225), pp. 61–67 [in Ukrainian].
13. Voyevodin, S. (2010) Imitation modeling and virtual measurements in laboratory practice. *Informatyka,* No. 41–43 (569–571), pp. 3–17 [in Ukrainian].

A. O. Kutsevol, *master*
Yu. G. Lega, *Dr.Tech.Sc., professor,*
O. S. Havrysh, *Ph.D., associate professor,*
M. O. Bagrii, *master*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE USE OF A SYSTEM OF TECHNICAL VISION FOR AUTOMATION OF VEGETABLES/FRUITS SORTING BY SIZING

In this work, a functional diagram for sizing of vegetables/fruits based on technical vision system using LabView and Vision Assistant environment has been developed. The developed installation allows to speed up the working process on vegetables/fruits sizing and to more accurately select them by size. This installation is intended to determine such parameters: height, width, perimeter and area of the image of the measured object; coefficient of form. All parameters are measured by contactless method, with further elaboration of the results of measurements in LabView environment, which allows to improve the quality of product sizing.

Keywords: *automated installation, technical vision, digital image processing, LabVIEW environment, Vision Assistant module.*

УДК 616-72

К. В. Базіло, *к.т.н., доцент,*
В. М. Заїка, *к.т.н.,*
Ю. Ю. Бондаренко, *к.т.н., доцент*
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ХІРУРГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Пошук і розробка методів зниження крововтрати, прискорення загоєння післяопераційних ран і розсмоктування рубців є важливими завданнями сучасної хірургії, перспективним розв'язанням яких є застосування ультразвукової хірургії з використанням п'єзоелектричних елементів, котрі відіграють роль джерел ультразвуку. Під час використання ультразвукового хірургічного інструменту актуальною задачею є його дезінфекція до та після проведення операцій.

Метою роботи є розробка методу дезінфекції для знищення збудника інфекції на ріжучій частині ультразвукового хірургічного інструменту.

В роботі розроблено схему та проведено моделювання перетворювача напруги для ультрафіолетових випромінювачів, сконструйовано док-станцію для мобільного ультразвукового хірургічного інструменту для його заряджання та процесу дезінфекції. Розроблено модель ультразвукового хірургічного інструменту та методику дезінфекції для знищення збудника інфекції на ріжучій частині ультразвукового хірургічного інструменту.

Розроблений хірургічний інструмент є мобільним та автономним, що забезпечується шляхом використання Li-іоп акумуляторів, надійним та має значний строк служби активних елементів з п'єзокераміки, зручним в експлуатації та простим у керуванні за рахунок використання ергономічної рукоятки.

Ключові слова: *ультразвук, хірургічний інструмент, ультрафіолетове випромінювання.*

Вступ. Поширеність вогнепальних поранень пов'язана з криміналізацією суспільства, терористичними загрозами, збільшенням кількості локальних військових конфліктів і громадських заворушень [1]. Основним методом попередження розвитку важких інфекційних ускладнень вогнепальних поранень є операція – первинна хірургічна обробка ран [2]. Перспективним є застосування ультразвукової хірургії з використанням п'єзоелектричних елементів, котрі відіграють роль джерел ультразвуку [3, 4].

Питання забезпечення населення України якісним хірургічним обладнанням є важливою складовою забезпечення конституційного права громадян на охорону здоров'я (стаття 49 Конституції України).

Під час використання ультразвукового хірургічного інструменту актуальною задачею є його дезінфекція до та після проведення операцій.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом № GP/Ф75/201/2018 Державного фонду фундаментальних досліджень.

Метою роботи є розробка методу дезінфекції для знищення збудника інфекції на ріжучій частині ультразвукового хірургічного інструменту.

На рис. 1 зображено модель мобільного ультразвукового хірургічного інструменту.

Основними перевагами запропонованого хірургічного інструменту є його мобільність та автономність, що забезпечується шляхом використання Li-ion акумуляторів, надійність і значний строк служби активних елементів з п'єзокераміки, зручність в експлуатації та простота в керуванні за рахунок використання ергономічної рукоятки.

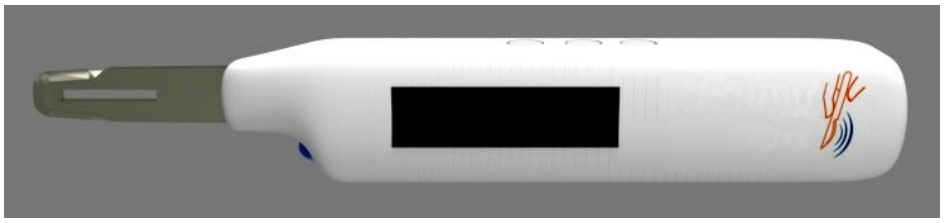


Рис. 1. Модель мобільного ультразвукового хірургічного інструменту

Бактерицидний ефект дозволяє використовувати просту і оригінальну методику самостерилізації хірургічного інструменту. При зануренні в розчин дезінфектанту ультразвукові коливання викликають інтенсивні мікротечії рідини поблизу інструменту, очищаючи його поверхню. Крім того, збільшуючи проникність мембран клітин хвороботворних бактерій відносно дезінфікуючої речовини, ультразвук підвищує ефективність її дії, що дозволяє на порядок знизити концентрацію цієї речовини в розчині.

Амплітуда коливань хвиль ріжучої частини інструменту може становити від 1 до 365 мкм (залежно від призначення інструменту і потреб операції), частота – від 20 до 100 кГц. Ультразвукові коливання зменшують тертя між тканинами і лезом. Як відомо, тертя спокою більше, ніж тертя ковзання, тому тертя між двома поверхнями зменшується, якщо одна з них здійснює коливальні рухи. Саме тому робота з ультразвуковими інструментами вимагає від хірурга менших зусиль.

При розсіченні м’яких тканин ультразвуковим інструментом, лезо якого здійснює поздовжні ультразвукові коливання, з тканиною взаємодіє лише кромка леза, забезпечуючи процес мікрорізання, що суттєво підсилює ріжучі властивості інструменту. Крім того, біля кромки леза інструменту, який коливається, виділяється теплота, яка локально підвищує температуру тканини і обумовлює гемостатичний ефект в результаті термокоагуляції крові [5].

Під час проведення дезінфекції знищуються в основному патогенні мікроорганізми, що відрізняється від стерилізації, при якій знищуються всі види мікроорганізмів і їх спори.

Променеві засоби знезараження – це застосування сонячного світла, ультрафіолетових променів, радіоактивного випромінювання. Ультрафіолетові промені згубно діють на багатьох збудників інфекційних захворювань. Особливо чутливі до них збудники дизентерії, черевного тифу. Тому цей вид дезінфекції ріжучої частини хірургічного інструменту є найбільш раціональним, тому що може застосовуватися поза межами стаціонарних медичних пунктів, а особливо в екстремальних умовах. На рис. 2 зображено схему перетворювача напруги, який живить два послідовно з’єднані ультрафіолетові світлодіоди.

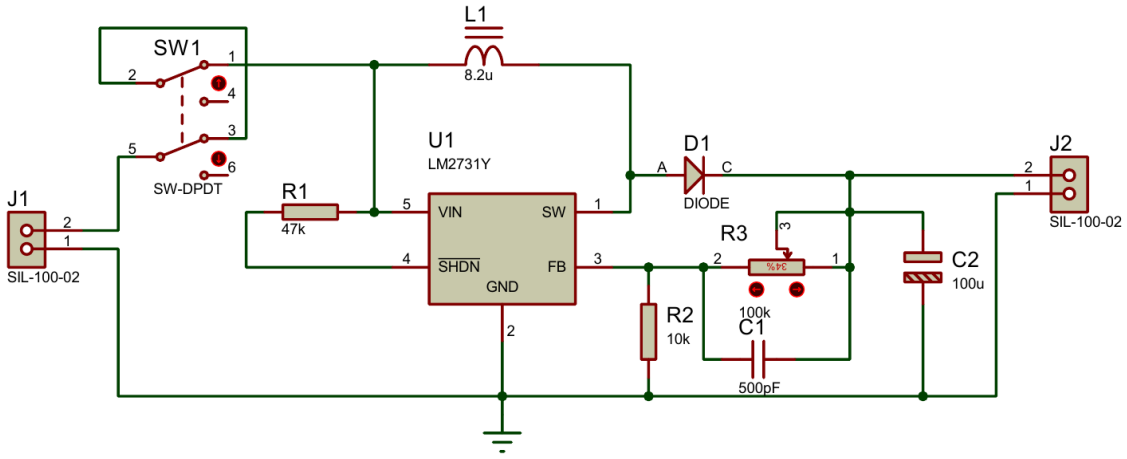


Рис. 2. Схема електрична принципова перетворювача напруги

Зовнішній вигляд портативного перетворювача напруги DC-DC Step-up ($U_{жив}$ = 4,2 В, UDC-DC = 7,2 В) зображено на рис. 3.

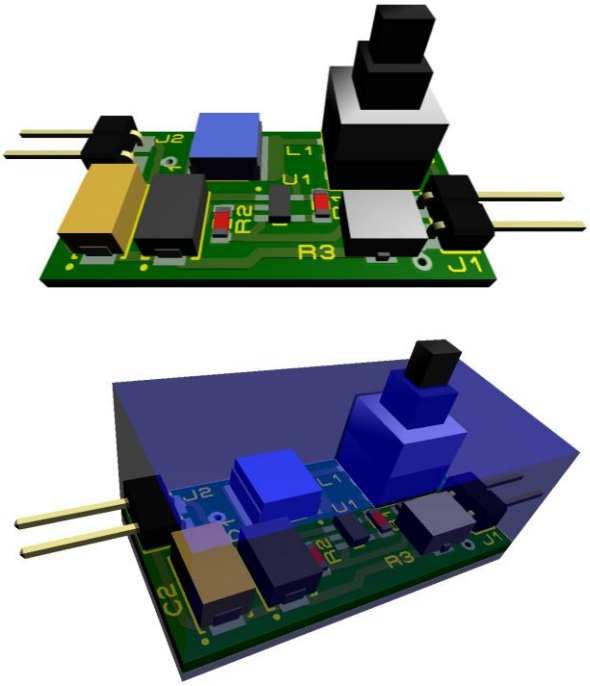


Рис. 3. Зовнішній вигляд портативного перетворювача напруги DC-DC Step-up

Перетворювач напруги, який зображено на рис. 2, побудований на мікросхемі LM2731Y, що працює на частоті 600 кГц і має значний запас потужності та здатна підтримувати силу струму на рівні 4 А.

Основні характеристики ультрафіолетового світлодіода UV-LED-365nm:

- максимальний струм – 0,7 А;
- максимальна потужність – 3 Вт;
- номінальна пряма напруга – 3,7 В;
- кут поширення променів – 120°;
- довжина хвилі – 365 нм.

Для зменшення кута освітлення необхідна фокусуюча лінза, котра збирає весь потік світла в пучок і направляє в потрібному напрямку. Необхідне рівномірне освітлення ріжучої частини хірургічного інструменту досягається застосуванням спеціальних матеріалів, розсіюючих поверхонь і коригуванням форм елементів фокусуючої лінзи та їх розташування.

Параметри відбивачів обчислюються з урахуванням кута огляду і діаграми спрямованості світлодіода, розміру об’єкта і відстані до нього, а також необхідного розподілу освітленості об’єкта.

На рис. 4 зображено док-станцію для мобільного ультразвукового хірургічного інструменту. На внутрішній панелі док-станції розміщені ультрафіолетові випромінювачі для знезараження інструменту під час зарядки.

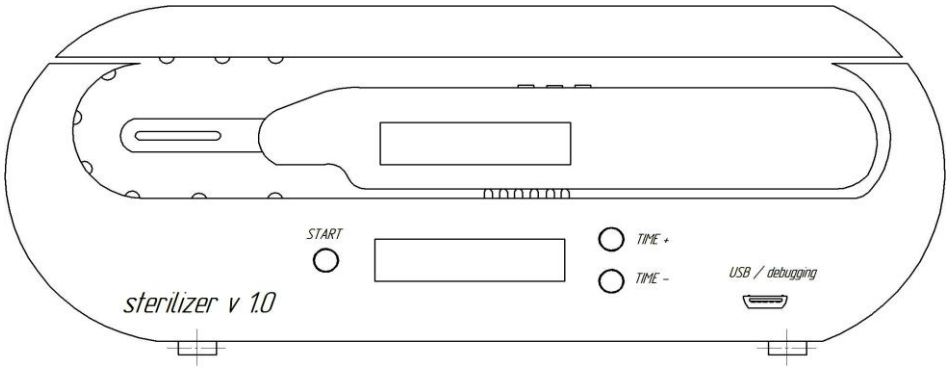


Рис. 4. Док-станція мобільного ультразвукового хірургічного інструменту

«Docking station» в перекладі з англійської означає «станція для стикування». Док-станція – це особлива конструкція, яка приєднується до мобільного ультразвукового хірур-

гічного інструменту за допомогою групи роз'ємів для розширення функціональних можливостей. Після того, як ультразвуковий хірургічний інструмент є підключеним до док-станції, разом вони складають єдин готовий пристрій.

Док-станція, як підставка для ультразвукового хірургічного інструменту, дозволяє синхронізувати дані з підключеним до нього пристроєм, наприклад з настільним комп'ютером і одночасно заряджати акумулятор та виконувати стерилізацію.

Для синхронізації пристрою потрібна встановлена спеціалізована програма та необхідний драйвер.

Висновки. Потужні світлодіоди УФ спектра дозволять доступним способом проводити дезінфекцію на ріжучій частині ультразвукового хірургічного інструменту. В роботі розроблено модель ультразвукового хірургічного інструменту та методику дезінфекції для знищення збудника інфекції на ріжучій частині ультразвукового хірургічного інструменту.

Список літератури

1. Копчак А. В., Рибак В. А., Марухно Ю. І. Патогенез і принципи лікування вогнепальних поранень щелепно-лицевої ділянки в умовах багатопрофільного закладу. *Медицина неотложных состояний*. 2015. № 7. С. 94–105.
2. Хірургія військова та надзвичайних ситуацій: метод. вказівки. Тема 1: Вогнепальні поранення та їх лікування. Харків: ХНМУ, 2013. 25 с.
3. Гринюк С. В., Лебединська Н. Ю. Особливості проведення бактеріального контролю за післяопераційними ускладненнями ран у хірургічних хворих. *Медичні перспективи*. 2011. Т. XVI, № 1. С. 65–67.
4. Вільцанюк О. А., Лутковський Р. А., Хуторянський М. О. Нові підходи до профілактики нагноєння післяопераційної рани. *Харківська хірургічна школа*. 2011. № 4. С. 22–25.
5. Семенов Г. М. Современные хирургические инструменты. Санкт-Петербург: Питер, 2013. 352 с.
6. Спосіб створення ультразвукових коливань в хірургічному інструменті: пат. України на корисну модель № 116996. / К. В. Базіло, Ю. Ю. Бондаренко, В. М. Заїка, Ю. А. Петрушко, Л. О. Федорук; № 201613588 від 29.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.
7. Застосування п’єзоелектричних елементів в ультразвуковій хірургії / К. В. Базіло, Ю. Ю. Бондаренко, В. М. Заїка, Ю. А. Петрушко, Л. О. Федорук. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 4. С. 53–56.

References

1. Kopchak, A. V., Rybak, V. A., Marukhno, Yu. I. (2015) Pathogenesis and treatment approaches in gunshot wounds of the maxillofacial area in specialized multidisciplinary hospital. *Meditsina neotlozhnyih sostoyaniy*, No. 7, pp. 94–105. [in Ukrainian].
2. Military and emergency surgery: guidelines. Issue 1: Gunshot wounds and their treatment (2013). Kharkiv: KhNMU, 25 p. [in Ukrainian].
3. Hrynyuk, S. V., Lebedyns’ka, N. Yu. (2011) Peculiarities of bacterial control over postoperative complications of wounds in surgical patients. *Medychni perspectyvy*, vol. XVI, No. 1, pp. 65–67 [in Ukrainian].
4. Viltsanyuk, A. A., Lutkovskiy, R. A., Khutoryanskyi, M. A. (2011) New approaches to the prevention of postoperative wound suppuration. *Kharkivska khirurhichna shkola*, No. 4, pp. 22–25 [in Ukrainian].
5. Semenov, G. M. (2013) Modern surgical instruments. St. Petersburg: Piter, 352 p. [in Russian].
6. Bazilo, C. V., Bondarenko Yu.Yu., Zaika V.M., Petrushko Yu.A., Fedoruk L.O. (2017). Method of formation of ultrasonic oscillations in a surgical instrument. Patent of Ukraine No. 116996. [in Ukrainian]
7. Bazilo C. V., Bondarenko, Yu. Yu., Zaika, V. M., Petrushko, Yu. A., Fedoruk, L. O. (2016) Application of piezoelectric elements in ultrasonic surgery. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 53–56 [in Ukrainian].

C. V. Bazilo, *Ph.D. (Eng.), associate professor,*
V. M. Zaika, *Ph.D. (Eng.),*
Yu. Yu. Bondarenko, *Ph.D. (Eng.), associate professor*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DEVELOPMENT OF DISINFECTION SYSTEM OF ULTRASONIC SURGICAL INSTRUMENT

Prevalence of gunshot wounds in modern world is associated with criminalization of society, terrorist threats, increase of a number of local military conflicts and civil unrest. Search and development of methods for reducing blood loss, accelerating the healing of postoperative wounds and scars resorption is an important goal of modern surgery, the solution of which is facilitated by the use of ultrasound. The use of ultrasonic surgery in military medicine and the use of piezoelectric elements as the source of ultrasound are perspective.

Primary surgical treatment of wounds is the main method of preventing the development of severe infectious complications of gunshot wounds. When using an ultrasonic surgical instrument, an urgent task is to disinfect it before and after the operation.

The purpose of this work consists in the development of disinfection method for destruction of pathogen of infection on the cutting part of ultrasonic surgical instrument.

In the paper a diagram is worked out and the design of tension transformer is conducted for ultraviolet emitters, the dock-station is constructed for a mobile ultrasonic surgical instrument for its loading and the process of desinfection. The model of ultrasonic surgical instrument and disinfection method for destruction of pathogen of infection on the cutting part of ultrasonic surgical instruments are developed.

The worked out surgical instrument is mobile and autonomous, that is provided by the use of Li-ion accumulators, reliable and has considerable tenure of employment of active elements from piezoceramics, comfortable in exploitation and simple in a management due to the use of ergonomic handle.

Keywords: *ultrasound, surgical instrument, ultraviolet radiation.*

УДК 681.586.4

М. Г. Томенко, *к.пед.н., доцент,*
e-mail: marina_tomenko@ukr.net
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна
О. О. Корецька, *асистент*
e-mail: alex.koretska@chmnu.edu.ua
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003, Україна

ВИКОРИСТАННЯ КОНСОЛЬНИХ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ІДЕНТИФІКАТОРІВ У ВІБРОДІАГНОСТИЦІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті розглядається можливість ідентифікації технологічного обладнання, що може бути використане в системі визначення аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв. Для цього в роботі запропоновано використовувати консольні п'єзоперетворювачі на базі асиметричних біморфних п'єзоелементів. Зміною розмірів та форм електродів на протилежних сторонах тонкого п'єзоелемента досягається зміна характеристик п'єзоперетворювача, що слугує ідентифікатором перетворювача, а отже, і обладнання, на якому він закріплений. Причому, площі електродів на протилежних сторонах не перетинаються, що забезпечує умови виникнення доменно-дисипативних властивостей п'єзоелемента.

Ключові слова: *аварійні ситуації, консольні доменно-дисипативні п'єзоперетворювачі, ідентифікація обладнання*

Вступ. Визначення аварійних ситуацій та аварій на ранніх стадіях у типових технологічних процесах, пов'язаних з хімічною, радіаційною та пожежовибухонебезпекою, є важливим питанням в запобіганні виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

У більшості випадків аварії на потенційно-небезпечних об'єктах (ПНО) або об'єктах підвищеної небезпеки (ОПН) відбуваються не через форс-мажорні обставини, такі як цунамі, землетрус, військова агресія тощо, а внаслідок порушення (зміни) технологічного процесу через поломку обладнання або недбале управління (людський фактор). В таких випадках аварія, як правило, не відбувається миттєво – їй передують деякі зміни в роботі обладнання, які можуть бути визначені на ранніх стадіях. Зміна в роботі обладнання призводить до змін струмів, механічних обертів тощо, що супроводжується зміною теплової картини нагріву окремих елементів, а також зміною механічних коливань агрегатів. Зміну теплової картини фіксують за допомогою тепловізорів. Такий спосіб добре зарекомендував себе у визначенні бракованих електричних плат, де легко фіксується зміна нагріву радіоелементів при зміні проходження через них струмів. Метод термофіксації на ПНО та ОПН у більшості випадках не є дієвим, оскільки робочі агрегати більшості небезпечних об'єктів вкриті корпусами, що ускладнює процес отримання термокартини. Крім того, у випадку пожежі наявний дим повністю заблокує отримання будь-якої візуальної картини.

Іншим методом фіксації відхилень у роботі ПНО та ОПН є зміна вібраційної картини. На рис. 1 наведено приклад використання віброгенератора Volture на промисловій установці [1].

Рис. 1. Установка віброгенератора Volture на промисловому двигуні [1]

Наявність відхилень у вихідному струмі віброгенератора слугує показником характеру функціонування і стану контрольованого обладнання.

Як такі датчики вібрацій найчастіше використовують п'єзокерамічні перетворювачі [1, 2]. Проте при такому методі фіксацій у відхиленні роботи обладнання ПНО та ОПН виникає декілька технічних питань:

- спосіб передачі інформації від датчиків вібрацій;
- можливість ідентифікації пошкодженого обладнання при їх великій чисельності;
- чутливість датчиків для фіксації малих відхилень вібрацій.

Перша задача легко розв'язується за допомогою використання бездротового зв'язку, хоча це і призводить до подорожчання загальної системи контролю.

Для ідентифікації об'єктів (друга задача), які можна зчитувати дистанційним способом, у логістиці та на виробництві найчастіше використовують RFID (Radio Frequency Identification). Проте наявні в RFID-передавачах мікроконтролери чутливі до сильних радіовипромінювань, що обмежує їх застосування в зонах дії великих небажаних радіочастотних випромінювань, якими як раз і характеризуються промислові ПНО та ОПН. В цьому випадку рішенням є застосування радіочастотної ідентифікації на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), що так само здійснюється на п'єзокерамічних елементах [3]. Конструкцію такого ідентифікатора зображено на рис. 2.

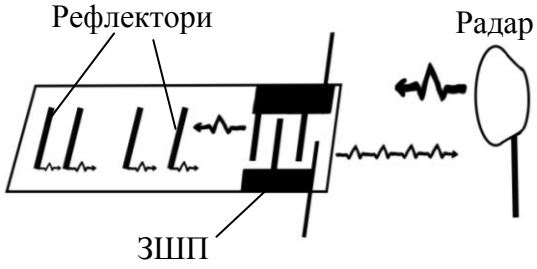


Рис. 2. Радіочастотний п'єзоідентифікатор на ПАХ

Радар випромінює радіочастотний сигнал. На поверхні п'єзопластини нанесений зустрічно-штировий перетворювач (ЗШП), за допомогою якого, через прямий п'єзоефект, електромагнітні коливання сигналу перетворюються на механічні коливання п'єзопластини. На поверхні пластини нанесені металеві смуги, що слугують рефлекторами і відбивають сигнал. Відбитий сигнал, завдяки зворотному п'єзоефекту та ЗШП, перетворюється на радіочастотний сигнал, який фіксується радаром. Завдяки різним відстаням між металевими смугами (рефлекторами) формується різний радіочастотний сигнал, що слугує ідентифікатором перетворювача.

Для вирішення третьої задачі – підвищення чутливості датчиків – одним із авторів було запропоновано виконання п'єзодатчиків вібрації у вигляді консольних доменно-дисипативних п'єзокерамічних перетворювачів [4, 5]. Проте такі перетворювачі побудовані на основі круглих біморфних п'єзоперетворювачів, у той час як ідентифікатори на основі ПАХ виконані на мономорфній тонкій подовжній п'єзопластині.

Таким чином, **метою роботи** є розробка методу ідентифікації на основі консольних п'єзокерамічних перетворювачів, що може бути використаний у системі визначення аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв.

Основна частина. Відомо, що, порівняно з мономорфними п'єзоперетворювачами, набагато більшу чутливість (у 10-20 разів) мають асиметричні біморфні перетворювачі. Вони відрізняються простішою технологією виготовлення, більшою механічною міцністю і складаються з металевої пластини з приклеєним до неї плоским п'єзоелементом [2].

Крім того, збільшення чутливості можна досягти при використанні доменно-дисипативних властивостей п'єзоелемента, коли вектор напруженості поля вихідного сигналу практично перпендикулярний вектору поляризації кераміки [2, 5]. Цього ефекту можна досягти зміною форм електродів на сторонах п'єзоелемента. Крім того, для ідентифікації п'єзоперетворювачів у роботі запропоновано змінювати форми та площі електродів при виконанні головної вимоги: вектор напруженості поля вихідного сигналу повинен наближатися до нормалі до вектора поляризації кераміки. Цього можна досягти, якщо елек-

троди на протилежних гранях не будуть перетинатися (рис. 3).

На рис. 3 показано два варіанти доменно-дисипативних перетворювачів: на металевій пластині 1 закріплений тонкий круглий поляризований по товщині п'єзоелемент 2, на якому закріплені з різних сторін п'єзоелемента електроди 3 та 4. Оскільки площі електродів з різних сторін не перетинаються, вектор напруженості вихідного поля буде завжди наближатися до нормалі до вектора поляризації, забезпечуючи доменно-дисипативні властивості п'єзоперетворювача [2, 5].

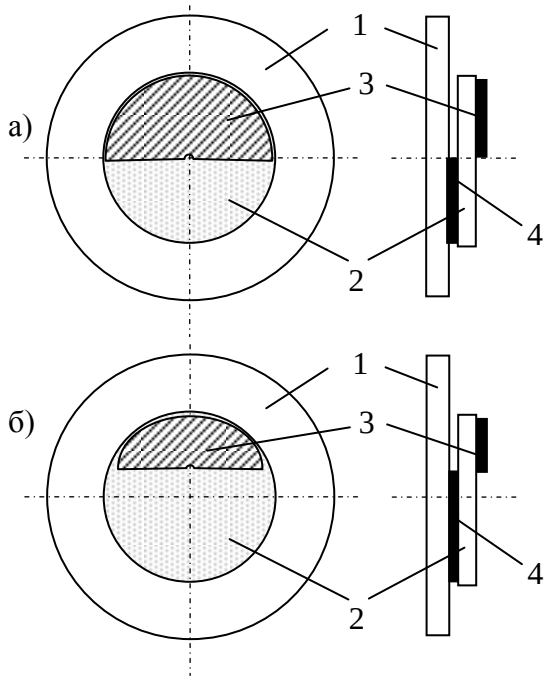


Рис. 3. Доменно-дисипативні асиметричні п'єзоперетворювачі

Як відомо, різна форма та розміри електродів приводять до зміни як чутливості, так і значень резонансної частоти [2]. Таким чином, зміною розмірів та форм електродів можна змінювати властивості перетворювачів, що забезпечить їх ідентифікацію, а отже, й ідентифікацію обладнання, на якому вони закріплені.

В експериментальному дослідженні було поставлено задачу ідентифікації трьох асиметричних п'єзоперетворювачів. Для цього були вибрані п'єзоелементи 7BB-12-9 фірми muRata [6], що складаються з металевої пластини з латуні діаметром 12 мм та товщиною 0,1 мм із закріпленим на ній п'єзоелементом діаметром 9 мм та товщиною 0,12 мм. Резонансна частота – 9 кГц, ємність – 8 нФ, вага – 0,143 г.

Для імітації передачі вібрації використано оцинковану стальну пластину марки 08пс/3сп розмірами 35х20х0,4 мм, на якій було закріплено три досліджувані п'єзоелементи (ідентифікатори) та вихідний п'єзоелемент, з якого знімався сигнал. Пластина була закріплена консольно (з одного боку пластини). Як джерело вібрації виступив мотор AMS1141M з асиметричним навантаженням на валу. Конструкцію експериментальної установки показано на рис. 4.

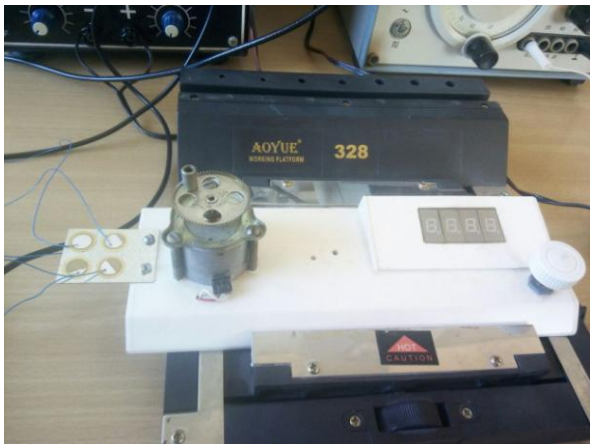


Рис. 4. Експериментальна установка

Вібраційна платформа була зафіксована за допомогою AOYUE328. Як джерело живлення використано прилад Lips2010. Для створення та вимірювання параметрів вібрації використано осцилограф SDS1052DL+, генератор Г3-106, мілівольтметр В3-38.

На трьох п'єзоелементах-ідентифікаторах були виконані електроди різних форм за умови неперетинання площ протилежних граней: третина площі, половина, та дві третини.

Проведені експерименти показали, що зміна напруги на кожному з трьох п'єзоелементів викликала зміну напруги та форми вихідного сигналу на четвертому – вихідному п'єзоелементі. Причому, завдяки різним характеристикам п'єзоелементів-

ідентифікаторів вдалося однозначно визначити, на який із трьох п'єзоелементів подавалася напруга.

Таким чином, зміна вібрації обладнання, яка виникне через зміну його робочого процесу, буде передана п'єзоперетворювачу, що закріплений на досліджуваному обладнанні. Переданий від п'єзоперетворювача сигнал буде однозначно ідентифікований, а отже, буде ідентифіковане обладнання, яке змінило свій робочий режим. Це дає можливість визначення аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв на їх ранніх стадіях.

Список літератури

1. Бугаев В. И., Дидук В. А., Мусиенко М. П. Сборщики энергии вибраций от Mide Technology приходят на смену батарейкам. *Новости электроники.* Москва, 2015. № 7 (141). С. 23–27.
2. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрические датчики: монография / под ред. В. М. Шарапова. Москва: Техносфера, 2006. 632 с.
3. Система радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах. *Компоненты и технологии*. URL: http://kit-e.ru/articles/rfid/2005_6_188.php
4. Мусієнко М. П., Корецька О. О. Консольні п'єзоелектричні накопичувачі вібрації для IoT пристроїв. *Наукові праці [Чорномор. нац. ун-ту ім. Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. Серія: Комп'ютерні технології:* наук.-метод. журн. Миколаїв: ЧНУ, 2017. Т. 308. Вип. 296. С. 139–145.
5. Мусієнко М. П., Корецька О. О. Підвищення чутливості датчиків п'єзомагнітних тахометрів. *Датчики, прилади та системи – 2018:* матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., 17–21 верес. 2018 р. Черкаси: ЧДТУ, 2018. С. 9–12.
6. Murata. Innovator in electronics. 7bb-12-9. URL: https://www.murata.com/products/ productdetail?partno=7BB-12-9

References

1. Bugaev, V. I., Diduk, V. A., Musienko, M. P. (2015) Vibration energy collectors from Mide Technology replace batteries. *Novosti elektroniki,* No. 7 (141), Moscow, pp. 23–27 [in Russian].
2. Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Sharapova, V. V. (2006) Piezoelectric sensors: monograph / Ed. V. M. Sharapov. Moscow: Tehnosfera, 632 p. [in Russian].
3. The radio frequency identification system on surface acoustic waves. *Komponentyi i tehnologii*. URL: http://kit-e.ru/articles/rfid/2005_6_188.php
4. Musienko, M. P., Koretska, O. O. (2017) Console piezoelectric vibration drives for IoT devices. *Naukovi praci [Chornomor. nacz. untu im. Petra Mogyly kompleksu «Kyevo-Mogylyans`ka akademiya»]. Seriya : Komp'yuterni tepnologiyi:* sci.-method. journ., vol. 308, iss. 296. Mykolayiv: ChNU, pp. 139–145 [in Ukrainian].
5. Musienko, M. P., Koretska, O. O. (2018) The increase of sensitivity of piezomagnetic tachometers sensors. *Datchyky, prylady ta systemy – 2018: materials of the VII International sci.-pract. conf., Sept. 17 – 21.* Cherkasy: ChDTU, pp. 9–12 [in Ukrainian].
6. Murata. Innovator in electronics. 7bb-12-9. URL: https://www.murata.com/products/ productdetail?partno=7BB-12-9

M. G. Tomenko, *PhD, associate professor,*
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Defense of Ukraine
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine
e-mail: marina_tomenko@ukr.net
O. O. Koretska, *assistant*
Petro Mohyla Black Sea National University
68-Desantnykiv str., 10, Mykolayiv, 54003, Ukraine
e-mail: alex.koretska@chmnu.edu.ua

USE OF CONSOLE PIEZOCERAMIC IDENTIFIERS IN VIBRODIAGNOSTICS AT THE DEFINITION OF EMERGENCY SITUATIONS OF POTENTIALLY HAZARDOUS PRODUCTIONS

The article discusses the possibility of identifying technological equipment that can be used in the system for determining emergency situations of potentially hazardous industries. For this purpose, it is offered to use console piezoelectric transducers based on asymmetric bimorph piezoelectric elements. By changing the size and shape of the electrodes on opposite sides of a thin piezoelectric element, a change in the characteristics of piezoelectric transducer is achieved, which serves as an identifier for the transducer, and hence for the equipment on which it is attached. Moreover, the areas of the electrodes on opposite sides do not intersect, which provides the conditions for the occurrence of domain-dissipative properties of piezoelectric element.

Keywords: *emergency situations, console domain-dissipative piezotransducers, equipment identification.*

УДК 621.3

А. Я. Кулик, *д.т.н., професор,*
e-mail: kulyk@vnmu.edu.ua
В. М. Дідич, *к.т.н.*,
e-mail: didichvladimir@gmail.com
Т. Г. Ревіна,
e-mail: tatiana@vnmu.edu.ua
М. В. Боднар
e-mail: shargorod0523@gmail.com
Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова,
вул. Пирогова, 56, Вінниця, 21018, Україна

АДАПТИВНА РЕЄСТРАЦІЯ І ОБРОБЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ

Розповсюдженість серцево-судинних захворювань постійно зростає, що викликає необхідність розроблювання все більш ефективних сучасних засобів їх діагностики та лікування. Первинна діагностика базується на записуванні електрокардіограми, лише після чого лікар використовує додаткові дані кардіологічних показників, отриманих із залученням інших методів досліджень. Розвиток комп'ютерних технологій, сучасних методів цифрового оброблювання даних та клінічні задачі зумовили розроблювання і використання в повсякденній практиці процесорних засобів. Це дозволило підвищити якість оброблювання електрокардіограми і забезпечити кількісну оцінку змін ЕКГ. Разом з тим, це викликає необхідність підвищення точності та чутливості. Перспективним методом розв'язання цих задач є спектральний аналіз із залученням засобів сучасних інформаційних технологій. Однак при цьому не обґрунтовуються частота дискретизації і довжина реалізації. Запропоновано структуру пристрою, яка дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКГ комп'ютерною системою.

Ключові слова: *електрокардіограма, комп'ютерна система, адаптація.*

Вступ. Аналіз варіабельності (математичний аналіз) серцевого ритму почав бурхливо розвитися у СРСР в 60-х роках минулого століття. Засадами цього стали успіхи космічної медицини. Класичною стала методика Р. М. Баєвського, яка дозволяє за мінімумом даних визначати стан організму людини [1–4]. На відміну від координованих скорочень серця, фібриляція шлуночків відзначається некоординованими скороченнями окремих груп волокон міокарда. Електрокардіограма (ЕКГ) віддзеркалює глобальну електричну активність серця, дозволяючи оцінювати активність міокарда в цілому при фібриляції шлуночків. Спектральний аналіз ЕКГ дозволяє кількісно оцінити частотний склад її осциляцій.

Узагальнений вигляд електрокардіограми наведений на рис. 1.

Таким чином, **важливою задачею** є формування нових підходів, методів і засобів реєстрації та оброблювання ЕКГ на базі останніх досягнень фізіології.

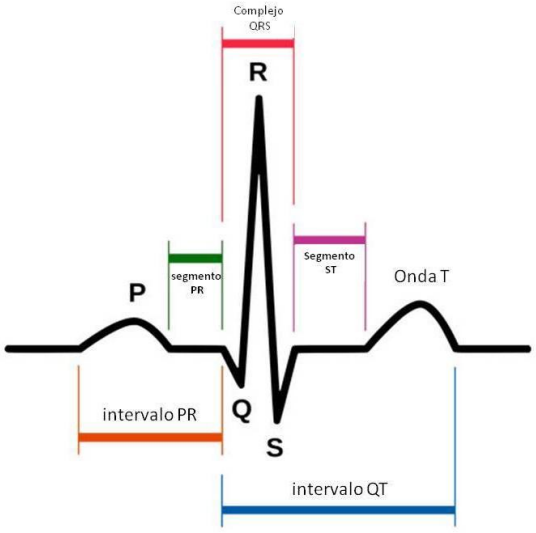


Рис. 1. Узагальнений вигляд ЕКГ

Дослідження в цьому напрямку ведуться постійно як з метою підвищення точності реєстрації, так і з метою збільшення ефективності оброблювання даних. При цьому часто залучається потужний математичний апарат теорії автоматичного керування, вейвлет-аналізу тощо [5–8]. Серед вчених, які займаються цими питаннями, можна виділити В. І. Шульгіна, Л. С. Файзильберга, К. О. Іванька. З медичної точки зору такі питання розглядаються Власенком О. В., Йолтухівським М. В. та ін.

Розв'язання поставленої задачі. Реєстрація даних в комп'ютерних системах може здійснюватися з реалізацією трьох режимів [9]:

- програмного, при якому використовується мінімум апаратури, а основні процедури виконуються суто програмно;
- програмно-апаратного, пов'язаного із режимом переривань;
- апаратного, який використовує прямий доступ до пам'яті.

Ці принципи реалізовані і для реєстрації біомедичних сигналів [10–12].

Для підвищення ефективності реєстрації ЕКГ необхідно оптимізувати режим. При цьому потрібно визначити необхідний період дискретизації сигналу. Занадто великий час дискретизації призводить до втрати інформації, а занадто малий – до зайвої деталізації і внаслідок цього до збільшення кількості реєстрованих значень, нераціональних втрат об'єму пам'яті, ускладнення оброблювання результатів тощо. Крім цього, необхідно визначити необхідну кількість реєстрованих періодів ЕКГ (довжину реалізації). Занадто мала їх кількість призводить до зменшення вірогідності отриманої інформації, а занадто велика – до наслідків, описаних вище.

Згідно з теоремою Котельникова для перетворення аналогового сигналу на дискретний без втрати інформації частота циклу дискретизації $f_ц$ повинна задовольняти умову

$$f_ц \geq 2 f_{c.\max}, \qquad (1)$$

де $f_{c.\max}$ – максимальна інформативна частота спектра перетворюваного сигналу.

Переходячи до тривалостей часових інтервалів, можна отримати

$$T_ц \leq 2T_{c.\max}. \qquad (2)$$

Максимальна гармоніка визначається за умови збереження 95 % енергії інформативного сигналу [13].

Похибка квантування визначається розрядністю АЦП і забезпечується на етапі проектування.

Динамічна похибка характеризується тривалістю циклу дискретизації і максимальною похідною реєстрованого динамічного процесу

$$\Delta_д = \frac{T_ц}{2} \cdot \frac{dx}{dt}. \qquad (3)$$

З рис. 1 видно, що похідна досягає максимального значення на зубці *R*. Параметри ЕКГ здорової людини відомі [14]. Виходячи з цих даних, значення похідної для здорової людини становить 1666,7 мм/с, але для різних випадків може варіюватися в досить широкому діапазоні.

Для одного інформативного каналу тривалість циклу дискретизації становить

$$T_ц = T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч} + T_{ск}, \qquad (4)$$

де $T_{Пуск}$ – тривалість процедури встановлення сигналу «Пуск» АЦП;

$T_{АЦП}$ – тривалість циклу перетворення АЦП;

$T_{зч}$ – тривалість циклу зчитування даних;

$T_{ск}$ – тривалість процедури скидання сигналу «Пуск» АЦП.

Для багатоканальної системи вираз (4) набуває вигляду

$$T_ц = \left(T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч} + T_{ск}\right) \cdot K, \qquad (5)$$

де K – кількість інформативних вимірювальних каналів.

Оскільки здебільшого тривалість циклів встановлення і скидання сигналу «Пуск» АЦП однакова, можна отримати

$$T_ц = \left(2T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч}\right) \cdot K. \qquad (6)$$

Кількість необхідних реєстрованих значень визначається

$$N = \frac{n \cdot T_{ЕКГ}}{T_ц}, \qquad (7)$$

де n – кількість необхідних реєстрованих періодів ЕКГ;

$T_{ЕКГ}$ – тривалість періоду ЕКГ;

$T_ц$ – тривалість циклу реєстрації одного значення.

Однією з головних задач у цьому випадку є зв'язок довжини реалізації і точності. При цьому користуються імовірнісно-статистичним підходом [15]. Згідно з центральною граничною теоремою теорії ймовірностей при достатньо великій кількості дослідів n можна припустити, що закон розподілу випадкової величини X є нормальним із параметрами $m_X = a$ та σ_X. Для допустимого значення імовірності $p_{доп}$ за таблицею інтеграла Лапласа (інтеграла імовірності) необхідно знайти порогове значення

$$h_{доп} = \Delta \Big/ \left(\sigma_X \Big/ \sqrt{n}\right). \qquad (8)$$

Виходячи з величини допуску $\Delta = \left|m_X^* - a\right|$ і відомого значення σ_X, можна визначити необхідний обсяг вибірки за формулою

$$n \geq \frac{h_{доп}^2 \cdot \sigma_X^2}{\Delta^2}. \qquad (9)$$

Так, для $p_{доп} = 0{,}95$ та $\sigma_X \Big/ \Delta = 1$, кількість реєстрованих періодів становить $n = 4$.

Структура комп'ютерної системи для реєстрації ЕКГ наведена на рис. 2, а процедура – на рис. 3.

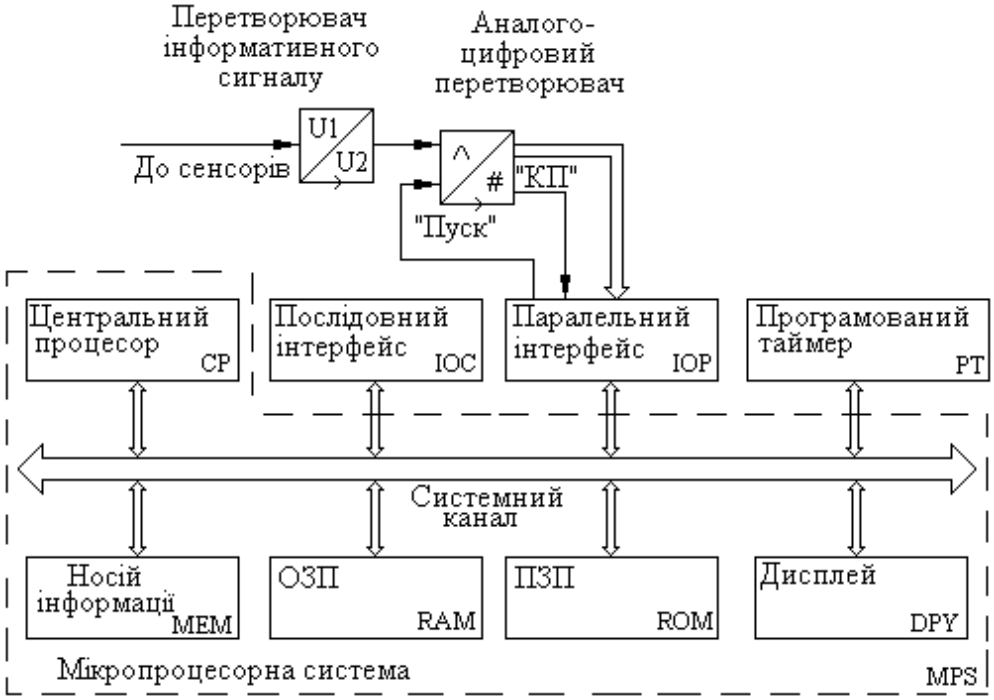


Рис. 2. Структура засобу реєстрації ЕКГ з використанням режиму програмного опитування

Кількість реєстрованих значень розраховується за формулою (9). Період ЕКГ доцільно визначати за зубцем R, як показано на узагальненому вигляді ЕКГ (рис. 1). При цьому зведена похибка не перевищує значення

$$\delta_з = \frac{T_ц}{T_{ЕКГ}} \cdot 100\%. \qquad (10)$$

Для досягнення ефективного результату реєстрацію ЕКГ доцільно здійснювати в два етапи. На першому здійснюється попередня реєстрація протягом двох періодів ЕКГ. Параметри ЕКГ здорової людини відомі [14]. Виходячи з цих даних, період становить приблизно 0,8 с. Реєстрація протягом 2 с дозволяє зареєструвати два періоди, навіть з урахуванням аномалій.

Після цього точно визначається період кардіограми і розраховується необхідна кількість реєстрованих значень. Крім цього, проводиться спектральний аналіз зареєстрованих значень і визначається оптимальний час дискретизації.

На другому етапі вводиться часова затримка, яка до цього дорівнювала нулю, та-

ким чином, щоб цикл опитування відповідав оптимальному часу дискретизації.

$$T_ц = (2T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч} + T_з)\cdot N, \qquad (11)$$

де $T_з$ – час затримки для досягнення оптимального режиму дискретизації;

або для одного каналу

$$T_ц = 2T_{Пуск} + T_{АЦП} + T_{зч} + T_з. \qquad (12)$$

В оптимальному режимі здійснюється реєстрація необхідної кількості періодів кардіограми для забезпечення потрібної вірогідності.

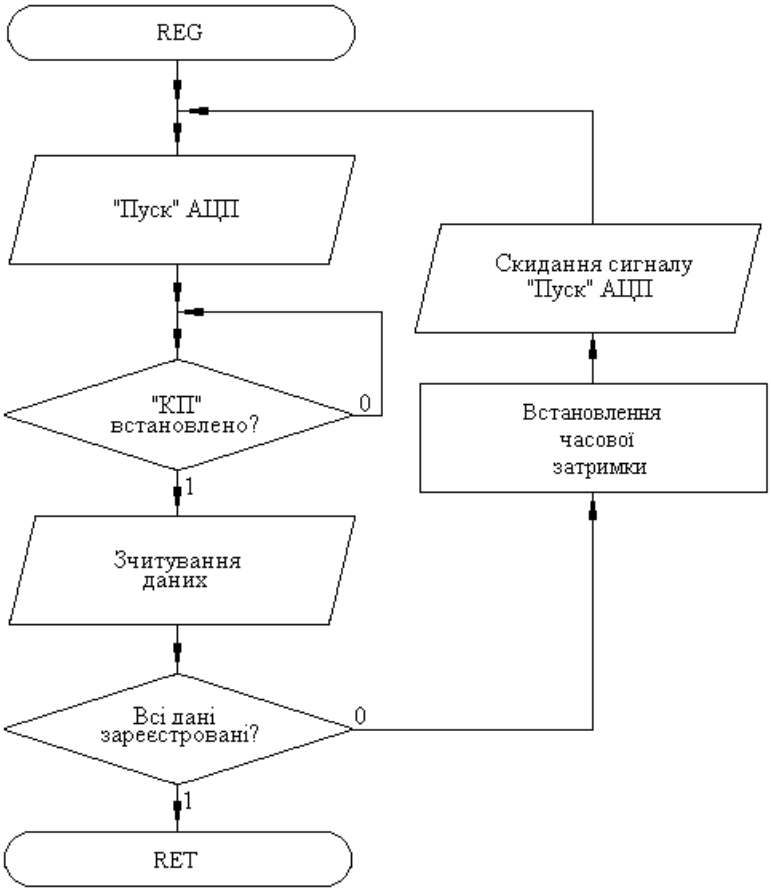


Рис. 3. Процедура реєстрації ЕКГ з використанням режиму програмного опитування

Для реалізації описаного підходу необхідно реалізувати такі операції:

- підключають датчики за стандартною методикою;
- здійснюють ініціалізацію паралельного інтерфейсу мікропроцесорної системи;
- здійснюють попередню реєстрацію ЕКГ, для чого:
  - встановлюють таймер на час 2 с;
  - переходять до вкладеної процедури реєстрації ЕКГ, для чого:
    - формують сигнал «Пуск» аналого-цифрового перетворювача;
    - дані піддають оброблюванню за допомогою аналого-цифрового перетворення;
    - процес перетворення даних контролюють за встановленням сигналу «Кінець перетворення»;
    - при встановленні сигналу «КП» здійснюють зчитування даних з паралельного інтерфейсу;
    - перевіряють вміст лічильника зареєстрованих значень, визначаючи, чи всі дані зареєстровані;
    - якщо ні, то скидають сигнал «Пуск» АЦП і цикл повторюють;
  - здійснюють розрахунок необхідної кількості реєстрованих періодів ЕКГ;
  - визначають необхідну кількість реєстрованих значень;
  - здійснюють спектральний аналіз зареєстрованої послідовності даних;
  - визначають максимальну гармоніку інформативного сигналу;
  - визначають оптимальний час дискретизації $T_ц$;
  - визначають час затримки $T_з$;
- здійснюють основну реєстрацію ЕКГ, для чого:
  - встановлюють необхідну кількість реєстрованих значень;
  - встановлюють затримку $T_з$ рівною

$$T_з = T_ц - 2T_{Пуск} - T_{АЦП} - T_{зч}; \qquad (13)$$

  - переходять до вкладеної процедури реєстрації ЕКГ, для чого:
    - формують сигнал «Пуск» аналого-цифрового перетворювача;
    - дані піддають оброблюванню за допомогою аналого-цифрового перетворення;
    - процес перетворення даних контролюють за встановленням сигналу «Кінець перетворення»;
    - при встановленні сигналу «КП» здійснюють зчитування даних з паралельного інтерфейсу;
    - перевіряють вміст лічильника зареєстрованих значень, визначаючи, чи всі дані зареєстровані;
    - якщо ні, то скидають сигнал «Пуск» АЦП і цикл повторюють;
- аналіз серцевого ритму здійснюють з використанням стандартної методики;
- результати зберігають в пам'яті і виводять на монітор чи принтер.

Висновки. Введення адаптивної реєстрації дозволяє оптимізувати процедуру, мінімізувати динамічну похибку, зменшити кількість реєстрованих значень, скоротити використовуваний обсяг пам'яті, спростити оброблювання результатів тощо.

Список літератури

1. Баевский Р. М., Фунтова И. И., Куш И. Ж. Суточная динамика артериального давления человека в условиях невесомости. *Вестник аритмологии*. 2002. № 26. С. 61–66.
2. Баевский Р. М., Никулина Г. А. Холтеровское мониторирование в космической медицине: анализ вариабельности сердечного ритма. *Вестник аритмологии*. 2000. № 16. С. 6–16.
3. Снежицкий В. А. Методологические аспекты анализа вариабельности сердечного ритма в клинической практике. *Медицинские новости*. 2004. № 9. С. 37–43.
4. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.]. *Вестник аритмологии*. 2002. № 24. С. 65–69.
5. Шульгин В. И., Морозов А. В., Волосюк Е. В. Использование технологии «слепого разделения источников» при обработке биомедицинских сигналов. *Клиническая информатика и Телемедицина.* 2005. № 1. С. 42–50.
6. Можливості аналізу електрокардіограми у фазовому просторі та варіабельності ритму серця в амбулаторних пацієнтів із гіпертонічною хворобою / Т. І. Чабан, І. А. Чайковський, Л. С. Файзільберг [та ін.]. *Український медичний часопис*. 2009. № 2(70) – III/IV. С. 126–128.

7. Файзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. К.: Освита Украины, 2013. 192 с.
8. Іванько К. О., Іванушкіна Н. Г. Метод виявлення пізніх потенціалів передсердь на основі аналізу власних підпросторів вейвлет-образів електрокардіосигналів. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2010. № 6. С. 11–18.
9. Кулик А. Я., Кривогубченко С. Г., Компанець М. М., Кривогубченко Д. С. Проектування мікропроцесорних засобів. Вінниця: ВДТУ, 2001. 135 с.
10. Спосіб реєстрації електрокардіограми: патент 101127 України, МПК A61B 5/0402 / Кулик А. Я. (Україна), Власенко О. В. (Україна), Йолтухівський М. В. (Україна) та ін.; ВНМУ. № u 201510933; заявл. 09.11.2015, опубл. 25.05.2016. Бюл. № 10. 6 с.
11. Спосіб реєстрації електрокардіограми: патент 101128 України, МПК A61B 5/0402 / Кулик А. Я. (Україна), Власенко О. В. (Україна), Йолтухівський М. В. (Україна) та ін.; ВНМУ. № u 201510935; заявл. 09.11.2015, опубл. 25.05.2016. Бюл. № 10. 9 с.
12. Спосіб реєстрації електрокардіограми: патент 101129 України, МПК A61B 5/0402 / Кулик А. Я. (Україна), Власенко О. В. (Україна), Йолтухівський М. В. (Україна) та ін.; ВНМУ. № u 201510939; заявл. 09.11.2015, опубл. 25.05.2016. Бюл. № 10. 7 с.
13. Основи техніки передавання інформації / Р. Н. Квєтний, М. М. Компанець, С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик. Універсум-Вінниця, 2002. 358 с.
14. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів / В. Г. Абакумов, З. Ю. Готра, С. М. Злепко та ін. Вінниця: ВНТУ, 2011. 352 с.
15. Кулик А. Я., Вуж Т. Є., Коваль Б. Ф. Експеримент в медицині. Комп'ютерні системи та інформаційні технології: монографія. Вінниця: ВНМУ, 2018. 145 с.

References

1. Baevskyy, R. M., Funtova, I. I., Kush, I. J. (2002) Daily dynamics of human arterial pressure in the conditions of weightlessness. *Vestnik aritmologiyi*, vol. 26, pp. 61–66 [in Russian].
2. Baevskyy, R. M., Nikulina, G. A. (2000) Holter monitoring in space medicine: analysis of heart rate variability. *Vestnik aritmologiyi*, vol. 16, pp. 6–16 [in Russian].
3. Snejitskyy, V. A. (2004) Methodological aspects of the analysis of heart rate variability in clinical practice. *Medicinskiye novosti*, vol. 9, pp. 37–43 [in Russian].
4. Baevskyy, R. M., Ivanov, G. G., Chireykin, L. V. et al. (2002). Analysis of heart rate variability, using various electrocardiographic systems. *Vestnik aritmologiyi*, vol. 24, pp. 65–69 [in Russian].
5. Shulgin V. I., Morozov A. V., Volosyuk E. V. (2005). Using the technology of "blind separation of sources" in the processing of biomedical signals. *Clinical Informatics and Telemedicine*, vol. 1, pp. 42–50 [in Russian].
6. Chaban T. I., Chaykovskyy I. A., Fayzilberg L. S. et al. (2009). Possibilities of the analysis of the electrocardiogram in the phase space and the variability of the rhythm of the heart in ambulatory patients with hyperparent disease. *Ukrainian medical journal*, vol. 2(70) – III/IV, pp. 126–128 [in Ukrainian].
7. Fayzilberg L. S. (2013). Computer diagnostics according to the electrocardiogram phase portrait. K.: Osvita Ukrainy, 192 p. [in Russian].
8. Ivanko K. O., Ivanushkina N. G. (2010). The method of detecting late atrial potentials based on the analysis of own subspaces of wavelet images of electrocardiosignals. Naukovi visti NTUU «KPI», vol. 6, pp. 11–18 [in Ukrainian].
9. Kulyk, A. Ya., Krivogubchenko, S. G., Kompanets, M. M., Krivogubchenko, D. S. (2001) Design of microprocessor means. Vinnytsya: VSTU, 135 p. [in Ukrainian].
10. UA Patent 101127. Kulyk, A. Ya., Vlasenko, O. V., Yoltukhovskyy, M. V. et al. (2016) The method of electrocardiogram recording [in Ukrainian].
11. UA Patent 101128. Kulyk, A. Ya., Vlasenko, O. V., Yoltukhovskyy, M. V. et al. (2016) The method of electrocardiogram recording [in Ukrainian].
12. UA Patent 101129. Kulyk, A. Ya., Vlasenko, O. V., Yoltukhovskyy, M. V. et al. (2016) The method of electrocardiogram recording [in Ukrainian].
13. Kvetnyy, R. N., Kompanets, M. M., Krivogubchenko, S. G., Kulyk, A. Ya. (2002) Fundamentals of information transmission techniques. Vinnytsya: Universum-Vinnytsya, 358 p. [in Ukrainian].

14. Abakumov, V. G., Gotra, Z. Y., Zlepko, S. M. et al. (2011) Registration, processing and control of biomedical signals. Vinnytsya: VSTU, 352 p. [in Ukrainian].
15. Kulyk, A. Ya., Vuz, T. E., Koval, B. F. (2018) Experiment in medicine. Computer systems and information technologies. Vinnytsya: VNMU, 145 p. [in Ukrainian].

A. Ya. Kulyk, *D.Sc., professor,*
e-mail: kulyk@vnmu.edu.ua
V. M. Didych, *Ph.D.,*
e-mail: didichvladimir@gmail.com
T. G. Revina,
e-mail: tatiana@vnmu.edu.ua
M. V. Bodnar
e-mail: shargorod0523@gmail.com
Vinnytsya Pirogov National Medical University,
Pirogov str, 56, Vinnytsya, 21018, Ukraine

ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL ADAPTIVE REGISTRATION AND PROCESSING

The prevalence of cardiovascular diseases is constantly increasing, which calls for the development of more and more effective modern methods for their diagnostics and treatment. The primary diagnostics is based on the recording of electrocardiogram, after which the doctor uses additional data from cardiological indicators obtained using other methods of research. The development of computer technologies, modern methods of data processing and clinical problems have led to the development and use of processor tools in everyday practice. This has allowed to improve the quality of electrocardiogram processing and to provide a quantitative assessment of ECG changes. Research in this area is constantly being conducted to improve the accuracy of the re-registration, and to increase the efficiency of data processing. In this case, a powerful mathematical apparatus for automatic control, wavelet analysis, etc. However, this raises the need to improve accuracy and sensitivity. Spectral analysis using modern information technologies is a promising method for solving these problems. But, it does not substantiate the sampling rate and the length of the implementation.

To improve the efficiency of ECG registration, optimize the mode. In this case, it is necessary to determine the required period of sampling a signal. Too much time for sampling leads to loss of information, and too small - to excessive detail, and as a result to increase the number of registered values, inappropriate memory loss, difficult processing of results, etc. In addition, it is necessary to determine the required number of registered ECG episodes (length of implementation). Too small number of them leads to a decrease in the probability of the information received, and too much - to the consequences described above. The structure of the device, which allows to register ECG computer system is proposed.

Keywords: *electrocardiogram, computer system, adaptation.*

УДК 004.032.26

Е. Е. Федоров[1], *д.т.н., доцент, профессор,*
e-mail: fedorovee75@ukr.net
И. В. Ярош[2], *старший преподаватель,*
e-mail: iryna.yarosh@donntu.edu.ua
Т. А. Черняк[2], *ассистент,*
e-mail: tetiana.cherniak@donntu.edu.ua
[1]Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина
[2]Донецкий национальный технический университет
пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина

МЕТОД ПАКЕТНОГО ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ С ЗАДЕРЖКОЙ ВО ВХОДНОМ СЛОЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

В статье рассмотрены и представлены данные выполненного анализа имеющихся методов для осуществления диагностики состояния вентиляторной установки главного проветривания на горнопромышленном предприятии (шахте). Выполненные исследования направлены на снижение вероятности возникновения ошибок диагностики. Достоинства и недостатки указанных существующих методов учтены при разработке и реализации нейросетевого метода диагностики вентиляторной установки главного проветривания. Проведенные эксперименты позволили создать архитектуру нейронной сети с определенной задержкой во входном слое, которая послужила основой для разработки приведенного метода. Возможность ускоренного обучения предоставляется за счет предложенного в работе пакетного режима. Эффективность метода была оценена в результате множественных исследований, которые отражают работоспособность сети и архитектуры. Предложенная в работе нейронная сеть позволяет получить минимум отклонений при диагностике.

Ключевые слова: *комплексная диагностика, вентиляторная установка главного проветривания, искусственная нейронная сеть, производственная безопасность, пакетный режим обучения.*

Введение. Повышение безопасности на производстве в сфере горной промышленности относится к наиболее актуальным вопросам сегодняшнего дня. Шахтное оборудование находится в большинстве своем в аварийном состоянии по причине стремительно растущей доли исчерпания его эксплуатационного ресурса. Из-за несвоевременного проведения комплексной диагностики, которая должна быть выполнена по нескольким параметрам с применением существующих компьютерных систем диагностики [1–6], меры, используемые для предотвращения или сокращения вероятности неблагоприятных последствий, могут предприниматься с опозданием или вовсе не учитывать все факторы. Вентиляторные установки главного проветривания (ВУГП) – это одни из ключевых сооружений и оборудований на горнопромышленном предприятии, ведущем подземную добычу полезного ископаемого (на шахте). С их помощью обеспечивается нормальная жизнедеятельность шахтного персонала, что обуславливает необходимость создания методов интеллектуальной диагностики вентиляторной установки главного проветривания.

Цель исследования заключается в разработке метода исследования процесса изменения работоспособности ВУГП.

Задачи исследования, результат постановки и решения которых приведет к достижению указанной цели исследования:

– выполнить анализ имеющихся методов диагностики;

– провести разработку искусственной нейронной сети диагностики;

– установить структурные элементы модели искусственной нейронной сети;

– определить параметры оценивания эффективности нейронной сетевой модели диагностики;

– выполнить обучение модели искусственной нейронной сети;

– провести численные исследования.

Изложение основного материала. В качестве основного материала будут приведены результаты разработки и выполненных исследований.

Сегодня существует целый ряд подходов, используемых для вибрационной диагностики. Из них выделяют такие методы вычисления, как:

– эксцесс;

– среднеквадратичное значение;

– пик-фактор;

– спектр огибающей.

Сравнительная характеристика этих методов присутствует в работах [1–6]. Тем не менее, минимальная вероятность ошибки, в случае их применения для диагностики состояния ВУГП, равна 0.05.

Диагностика, выполненная с помощью искусственных нейронных сетей, позволяет говорить о ряде неоспоримых преимуществ, среди которых следует выделить следующие моменты:

– исследование взаимосвязи между факторами на существующих моделях;

– распределение факторов не предполагает выдвижения каких-либо предположений;

– наличие исходных данных о факторах не является обязательным условием;

– допустимы зашумленность, неполнота и сильная корреляция первичной информации;

– системы с высокой степенью нелинейности могут быть проанализированы;

– достаточно высокая степень адаптивности и скорость разработки модели;

– выполнение анализа систем, которые содержат множество факторов;

– отсутствие потребности и необходимости в полном пересмотре всех допустимых моделей;

– вероятность проведения анализа систем, имеющих неоднородные факторы.

В качестве метода диагностики в данной статье выбран нейросетевой способ.

Наиболее распространенными искусственными нейронными сетями являются следующие [17]:

– многослойный персептрон (MLP) [9–10], представляющий собой статическую нерекуррентную многослойную сеть;

– рекуррентный многослойный персептрон (RMLP) [9–10], который выступает в качестве рекуррентной многослойной сети, построенной на базе MLP;

– нейросеть с радиально-базисными функциями (RBFNN) [11–12], которая представляет статическую нерекуррентную двухслойную сеть, разработанную на базе MLP;

– нейросеть нелинейной авторегрессии (NARNN) [13–14], которая отражает динамическую нерекуррентную двухслойную сеть, построенную на базе MLP;

– нейросеть нелинейной авторегрессии-скользящего среднего (NARMANN) [15–17], представляющая собой рекуррентную двухслойную сеть, выполненную на базе MLP;

– авторская нейросеть – динамическая нерекуррентная двухслойная сеть, которая построена на базе MLP.

Результаты анализа и сравнительной характеристики искусственных нейронных сетей отражены в табл. 1.

Авторская нейросеть выбрана для решения задач диагностики ввиду присутствия в ней всех трех параметров.

На рис. 1 представлена структура авторской нейросети с задержкой во времени во входном слое.

Формализованное представление:

$$y^{(0)}(n) = x_1.$$

$$y_j^{(1)}(n) = f^{(1)}(s_j^{(1)}(n)), \quad j \in \overline{1, N^{(1)}},$$

$$s_j^{(1)}(n) = b_j^{(1)} + \sum_{t=0}^{M^{(0)}} \sum_{i=1}^{N^{(0)}} w_{itj}^{(1)} y_i^{(0)}(n-t),$$

$$y_j^{(2)}(n) = f^{(2)}(s_j^{(2)}(n)), \; j \in \overline{1, N^{(2)}},$$

$$s_j^{(2)}(n) = b_j^{(2)} + \sum_{i=1}^{N^{(1)}} w_{ij}^{(2)} y_i^{(1)}(n).$$

где $N^{(k)}$ – число нейронов в k-м слое, $b_j^{(k)}$ – порог для j-го нейрона k-го слоя, $w_{ltj}^{(1)}$ – вес связи от i-го нейрона 0-го слоя к j-му нейрону 1-го слоя, $w_{lj}^{(2)}$ – вес связи от i-го нейрона 1-го слоя к j-му нейрону 2-го слоя, $y_j^{(k)}(n)$ – выход j-го нейрона в k-м слое, $f^{(k)}$ – функция активации нейронов k-го слоя.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований нейронных сетей

Критерий \ Сеть	MLP	RMLP	RBFNN	NARNN	NARMANN	Авторская сеть
Использование нескольких признаков	+	+	+	–	–	+
Задержка во входном слое	–	–	–	+	+	+
Высока степень параллелизма	+	–	+	+	–	+

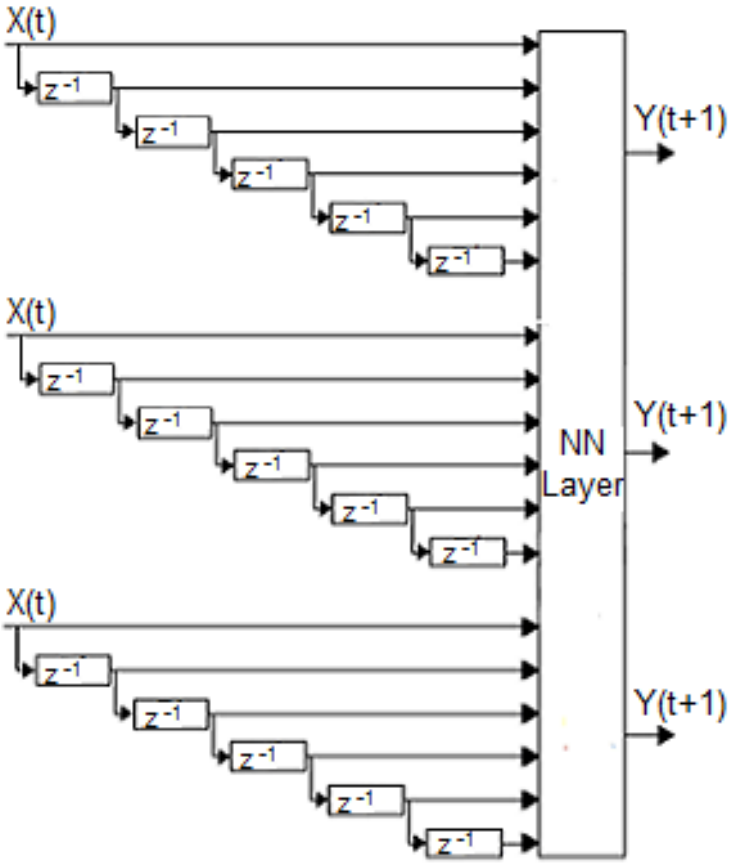


Рис. 1. Структура авторской нейросети с задержкой во времени во входном слое

Ряд проведенных экспериментальных исследований (рис. 2) был выполнен с целью выявления структуры модели авторской нейросети (определения числа скрытых нейронов).

Входными данными, используемыми для обучения предложенной авторской нейронной сети, послужила выборка значений трех показателей, основанных на показателях вибрационного сигнала, – эксцесса, среднеквадратичного значения, пик-фактора.

Для выходных данных взяты соответствующие им состояния – пригоден (дальнейшая эксплуатация возможна без ограничения по срокам), непригоден (длительная непрерывная эксплуатация невозможна), требует срочного ремонта (эксплуатация невозможна вообще).

Минимальная среднеквадратичная ошибка диагностики стала параметром для выбора структуры сетевой модели.

На рис. 2 представлены результаты выполнения ряда экспериментов в виде гистограммы.

Данная гистограмма показывает зависимости значений среднеквадратичной ошибки от числа нейронов в скрытом слое.

Рис. 2 демонстрирует определенную зависимость – снижение значения ошибки при увеличении числа скрытых нейронов.

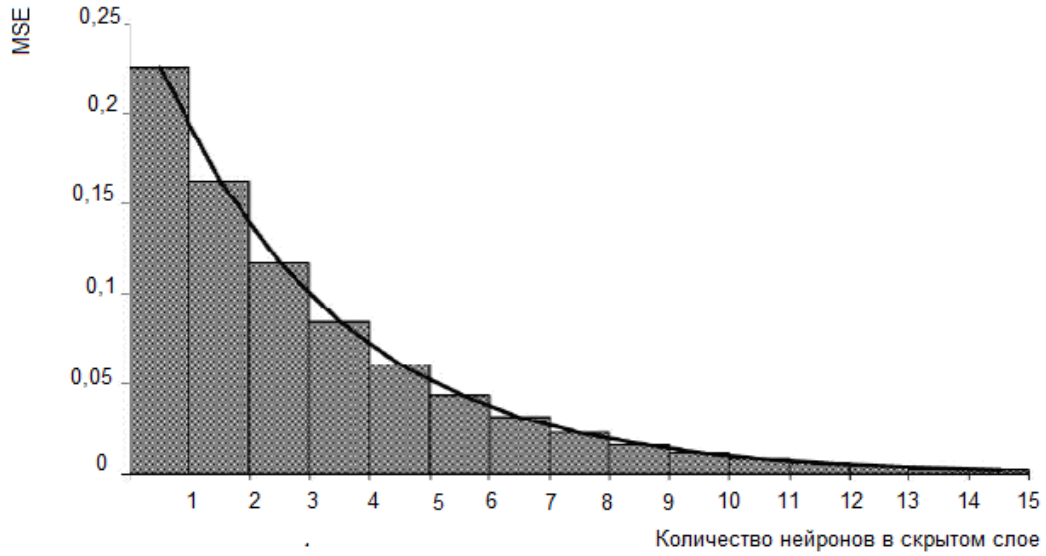


Рис. 2. Гистограмма зависимости значении среднеквадратичной ошибки от числа нейронов в скрытом слое

Оптимальное количество срытых нейронов для диагностики состояния вентилятора шахты – 10. Это связано с несущественными изменениями значений ошибки при последующем увеличении числа скрытых нейронов.

Обучение модели предложенной (авторской) нейронной сети в работе проводилось на основе критерия адекватности модели, заключающегося в выборе значений параметров функции $W = \{w_{itj}^{(1)}, w_{ij}^{(2)}\}$, содержащих минимальный показатель среднеквадратичной ошибки (разности выхода по модели и желаемого выхода):

$$F = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}(y_p - d_p)^2 \to \min_{W}. \qquad (1)$$

Критерий (1) является ключевым для обучения модели авторской нейросети. С этой целью в статье было предложено использовать пакетный режим.

В его основу входят следующие перечисленные параметры:

1. Номер итерации обучения $n = 1$, инициализация смещений (порогов) $b_j^{(1)}(n)$, $j \in \overline{1, N^{(1)}}$, $b_j^{(2)}(n)$, $j \in \overline{1, N^{(2)}}$ и весов $w_{ltj}^{(1)}(n)$, $i \in \overline{1, N^{(0)}}$, $j \in \overline{1, N^{(1)}}$, $t \in \overline{0, M^{(0)}}$, $w_{ij}^{(2)}(n)$, $i \in \overline{1, N^{(1)}}$, $j \in \overline{1, N^{(2)}}$, где $N^{(k)}$ – количество нейронов в k-м слое, $M^{(0)}$ – задержка во входном слое.

2. Задается обучающее множество $\{(x_\mu, d_\mu) \mid x_\mu \in R^{N^{(0)}}, d_\mu \in R^{N^{(2)}}\}$, $\mu \in \overline{1, P}$, где x_μ – μ-й обучающий входной вектор, d_μ – μ-й обучающий выходной вектор, P – мощность обучающего множества.

3. $\mu = 1$.

4. Начальная инициализация $y_{\mu i}^{(0)}(n - v) = 0$, $v \in \overline{1, M^{(0)}}$, $i \in \overline{1, N^{(0)}}$.

5. Вычисление выходного сигнала для первого слоя (прямой ход)

$$y_{\mu i}^{(0)}(n) = x_{\mu i}, \; i \in \overline{1, N^{(0)}},$$

$$y_{\mu j}^{(1)}(n) = f^{(1)}(s_{\mu j}^{(1)}(n)), \; j \in \overline{1, N^{(1)}},$$

$$s_{\mu j}^{(1)}(n) = \sum_{t=0}^{M^{(0)}} \sum_{i=0}^{N^{(0)}} w_{itj}^{(1)}(n) y_{\mu i}^{(0)}(n-t),$$

Считается, что

$$w_{0j}^{(1)}(n) = b_j^{(1)}(n), y_{\mu 0}^{(1)}(n) = 1.$$

6. Если $\mu < P$, то $\mu = \mu + 1$, переход к пункту 5.

7. $\mu = 1$.

8. Вычисление выходного сигнала для второго слоя (прямой ход)

$$y_{\mu j}^{(2)}(n) = f^{(2)}(s_{\mu j}^{(2)}(n)),$$

$$j \in \overline{1, N^{(2)}},$$

$$s_{\mu j}^{(2)}(n) = \sum_{i=0}^{N^{(1)}} w_{ij}^{(2)}(n) y_{\mu i}^{(1)}(n).$$

Считается, что

$$w_{0j}^{(2)}(n) = b_j^{(2)}(n),$$

$$y_{\mu 0}^{(1)}(n) = 1.$$

9. Если $\mu < P$, то $\mu = \mu + 1$, переход к пункту 8.

10. Вычисление энергии ошибки искусственной нейросети (ИНС)

$$E(n) = \frac{1}{2P} \sum_{\mu=1}^{P} \sum_{j=1}^{N^{(2)}} e_{\mu j}^2(n),$$

$$e_{\mu j}(n) = y_{\mu j}^{(2)}(n) - d_{\mu j}.$$

11. Настройка синаптических весов на основе обобщенного дельта-правила (обратный ход)

$$w_{ij}^{(2)}(n+1) = w_{ij}^{(2)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{(2)}(n)},$$

$$i \in \overline{0, N^{(1)}},$$

$$j \in \overline{1, N^{(2)}},$$

$$w_{ltj}^{(1)}(n+1) = w_{ltj}^{(1)}(n) - \eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ltj}^{(1)}(n)},$$

$$i \in \overline{0, N^{(0)}},$$

$$j \in \overline{1, N^{(1)}},$$

$$t \in \overline{0, M^{(0)}},$$

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^{(2)}(n)} = \frac{1}{P} \sum_{\mu=1}^{P} y_{\mu i}^{(1)}(n) g_{\mu j}^{(2)}(n),$$

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ltj}^{(1)}(n)} = \frac{1}{P} \sum_{\mu=1}^{P} y_{\mu i}^{(0)}(n-t) g_{\mu j}^{(1)}(n),$$

$$g_{\mu j}^{(2)}(n) = f'^{(2)}(s_{\mu j}^{(2)}(n))(y_{\mu j}^{(2)}(n) - d_{\mu j}),$$

$$g_{\mu j}^{(1)}(n) = f'^{(1)}(s_{\mu j}^{(1)}(n)) \sum_{l=1}^{N^{(2)}} w_{jl}^{(2)}(n) g_{\mu l}^{(2)}(n).$$

12. Проверка условия завершения: если $E(n) < \varepsilon$, то завершение, иначе – $n = n + 1$, переход к пункту 2.

При использовании видеокарты GeForce 920 M пакетный режим обучения предложенной авторской нейросети привел к увеличению скорости прямого хода приблизительно на $P(N^{(1)} + N^{(2)})$ раз, а обратного – на P раз.

Заключение. Имеющиеся сегодня методы для диагностики вентиляторной установки главного проветривания были исследованы с целью решения проблемы снижения вероятности возникновения ошибок диагностики.

Данные проведенных исследований позволили прийти к заключению о том, что искусственные нейронные сети на сегодня представляют собой наиболее эффективный метод диагностики.

С целью повышения качества диагностики была предложена авторская нейронная сеть.

В ходе исследования была установлена структура модели указанной авторской нейронной сети.

Результаты проведенных экспериментов продемонстрировали отсутствие существенных изменений значения среднеквадратичной ошибки при использовании более десяти скрытых нейронов. Предложенная сеть позволяет получить минимум возможных отклонений при диагностике.

Практическая значимость выражена в возможности увеличения скорости прямого хода приблизительно на $P(N^{(1)} + N^{(2)})$ раз, а обратного – на P раз, при использовании представленного пакетного режима обучения.

Список литературы

1. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва, 1996. 276 с.
2. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Санкт-Петербург: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. 169 с.
3. Баркова В. А. Современное состояние виброакустической диагностики машин. Санкт-Петербург: Ассоциация ВАСТ, 2002. 100 с.
4. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. Москва: Машиностроение, 1999. 344 с.
5. Клюева В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник. Москва: Машиностроение, 2003. 300 с.
6. Федоров Е. Е. Методики интеллектуальной диагностики: монография. Донецк: Ноулидж, 2010. 303 с.
7. Бабак Г. А., Бочаров К. П., Волохов А. Т. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания. Москва: Недра, 1982. 296 с.
8. Носырев Б. А., Белов С. В. Вентиляторные установки шахт и метрополитенов: учеб. пособ. Екатеринбург: Изд-во Уральской гос. горно-геолог. акад., 2000. 278 с.
9. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. Москва: ИПРЖР, 2000. 416 с.
10. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. Москва: Вильямс, 2001. 288 с.
11. Sivanandam S. N., Sumathi S., Deepa S. N. Introduction to neural networks using Matlab 6.0. New Delhi: The McGraw-Hill Comp. Inc., 2006. 660 p.
12. Руденко О. Г., Бодянський Є. В. Штучні нейронні мережі. Харків: Компанія СМІТ, 2006. 404 с.
13. Галушкин А. И., Цыпкин Я. З. Нейронные сети: история развития теории: учеб. пособ. для вузов. Москва: ИПРЖР, 2001. 840 с.
14. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. Москва: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
15. Комарцова Л. Г., Максимов А. В. Нейрокомпьютеры. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Баумана, 2002. 320 с.
16. Haykin S. Neural networks. New York: Pearson Education, 1999. 823 p.
17. Федоров Е. Е. Искусственные нейронные сети: монография. Красноармейск: ДонНТУ, 2016. 338 с.

References

1. Shirman, A. R., Solov'ev, A. B. (1996) Practical vibration diagnostics and monitoring of mechanical equipment condition. Moscow, 276 p. [in Russian].
2. Barkov, A. V., Barkova, N. A., Azovtsev, A. Yu. (2000) Monitoring and diagnostics of rotary machines by vibration, St. Petersburg, 169 p. [in Russian].
3. Barkova, V. A. (2002) Current state of vibroacoustic machine diagnostics. St. Petersburg: Assotsiatsiya VAST, 100 p. [in Russian].
4. Gol'din, A. S. (1999) Vibration of rotary machines. Moscow: Mashinostroenie, 344 p. [in Russian].
5. Klyueva, V. V. (2003), Non-destructive testing and diagnostics: a handbook. Moscow: Mashinostroenie, 300 p. [in Russian].
6. Fedorov, E. E. (2010) Methods of intellectual diagnostics: monograph, Donetsk: Noulidzh, 303 p. [in Russian].
7. Babak, G. A., Bocharov, K. P., Volokhov, A. T. (1982) Mine fan installations of main ventilation, Moscow: Nedra, 296 p. [in Russian].
8. Nosyrev, B. A., Belov, S. V. (2000) Fan installations of mines and undergrounds: manual. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skoi gos. gorno-geolog. akad., 278 p. [in Russian].
9. Galushkin, A. I. (2000) Theory of neural networks. Moscow: IPRZhR, 416 p. [in Russian].
10. Kallan, R. (2001) Basic concepts of neural networks, Moscow: Vil'yams, 288 p. [in Russian].
11. Sivanandam, S. N., Sumathi, S., Deepa, S. N. (2006) Introduction to neural networks using Matlab 6.0. New Delhi: McGraw-Hill Comp. Inc., 660 p.
12. Rudenko, O. G., Bodjans'kyj Je. V. (2006) Artificial neural networks. Harkiv: Kompanija SMIT, 404 p. [in Ukrainian].
13. Galushkin, A. I., Cipkin Ja. Z. (2001) Neural networks: the history of theory development. Moscow: IPRZhR, 840 p. [in Russian].
14. Osovskyj, S. (2002) Neural networks for information processing, Moscow: Finansy i statistika, 344 p. [in Russian].
15. Komarcova, L. G., Maksimov, A. V. Neurocomputers. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. Baumana, 320 p. [in Russian].
16. Haykin, S. (1999) Neural networks. New York: Pearson Education, 823 p.
17. Fedorov, E. E. (2016) Artificial neural networks: monograph. Krasnoarmejsk: DonNTU, 338 p. [in Russian].

E. E. Fedorov[1], *Dr.Tech.Sc., associate professor, professor,*
e-mail: fedorovee75@ukr.net
I. V. Yarosh[2], *senior lecturer,*
e-mail: iryna.yarosh@donntu.edu.ua
T. A. Cherniak[2], *assistant,*
e-mail: tetiana.cherniak@donntu.edu.ua
[1]Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine,
[2]Donetsk National Technical University
Shybankova square, 2, Pokrovsk, 85300, Ukraine

METHOD OF BATCH TRAINING OF NEURAL NETWORK WITH DELAY IN INPUT LAYER FOR INTEGRATED DIAGNOSTICS OF THE STATE OF FAN INSTALLATION OF THE MAIN AIRING

Currently, the increasing of operational safety is one of the major problems that exist in mining industry. The problem of mining equipment accident rate is caused by avalanche accumulating part of its physical resource exhaustion. Fan installation of the main airing, which ensures normal vital activities of mine personnel, is of the most importance among mining equipment. Therefore, an important task is to develop a software component, designed to diagnose the state of it and to be used in computer systems. The problem of building effective methods, providing high speed of diagnostics model training, as well as a high probability, adequacy and speed of recognition of signals, which contain the vibrational information, lies at the heart of this objective. At present, as a tool for vibration diagnostics, such calculation methods as: kurtosis, crest factor, RMS value, envelope spectrum are most commonly used. However, when using these markers separately for diagnosis of fan installations of the main airing condition, the probability of error is no less than 0.05. On the other hand, the processing speed of vibrational information is poor. Therefore, the development of methods for intelligent integrated diagnostics of fan installations of the main airing is relevant. As the use of artificial neural networks in the diagnosis gives a tangible advantage, which is that: the interaction between the factors is studied on finished models; it does not require any assumptions regarding the distribution of factors; a priori information about the factors can be omitted; the initial data can be highly correlated, incomplete or noisy; it is possible to conduct the analysis of systems with a high degree of nonlinearity; fast model development; high adaptability; the analysis of systems with a large number of factors; it does not require a complete enumeration of all possible models; the analysis of systems with non-uniform factors, neural network method of diagnosis is used in the article. The aim of the study is to develop a method for analysis of the process of changing the condition of fan installations of the main airing. The model structure of an artificial neural network, which is a multilayer perceptron with time delay in the input layer and provides a comprehensive analysis of diagnostic factors, is determined in the article. As a criterion for evaluation the efficiency of neural network model diagnostics the minimum of mean-square error is chosen. As a result of numerical study, it has been found that ten hidden neurons does not change the RMS error significantly, the proposed network provides the diagnostic results with minimum deviation. The use of the proposed batch training mode has made it possible to accelerate the forward stroke for approximately $P(N^{(1)} + N^{(2)})$ *times, and the reverse for approximately P times, where P is the power of training set,* $N^{(k)}$ *is the number of neurons in k-layer. The created algorithms can be used to solve problems associated with the diagnosis of electromechanical objects.*

Keywords*: integrated diagnostics, fan installation of the main airing, artificial neural network, process safety, batch training mode.*

Є. Є. Федоров[1], *д.т.н., доцент, професор,*
e-mail: fedorovee75@ukr.net
І. В. Ярош[2], *старший викладач,*
e-mail: iryna.yarosh@donntu.edu.ua
Т. А. Черняк[2], *асистент,*
e-mail: tetiana.cherniak@donntu.edu.ua
[1]Черкаський державний технологічний університет
бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна
[2]Донецький національний технічний університет
пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна

МЕТОД ПАКЕТНОГО НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ З ЗАТРИМКОЮ У ВХІДНОМУ ШАРІ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ

У статті розглянуто і представлено дані виконаного аналізу наявних методів для здійснення діагностики стану вентиляційної установки головного провітрювання на гірничопромисловому підприємстві (шахті). Виконані дослідження спрямовані на зниження ймовірності виникнення помилок діагностики. Переваги і недоліки зазначених існуючих методів враховані при розробці та реалізації нейромережевого методу діагностики вентиляційної установки головного провітрювання. Проведені експерименти дозволили створити архітектуру нейронної мережі з певною затримкою у вхідному шарі, яка послужила основою для розробки наведеного методу. Можливість прискореного навчання надається за рахунок запропонованого в роботі пакетного режиму. Ефективність методу було оцінено в результаті численних досліджень, які відображають працездатність мережі й архітектури. Запропонована в роботі нейронна мережа дозволяє отримати мінімум відхилень при діагностиці.

Ключові слова: *комплексна діагностика, вентиляторна установка головного провітрювання, штучна нейронна мережа, виробнича безпека, пакетний режим навчання.*

УДК 004.9:004.77:377:378

О. О. Сотуленко,
Ю. В. Триус, *д.п.н., к.ф.-м.н., професор*
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПРАЦІВНИКІВ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я НА ОСНОВІ WEB І ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Представлено результати роботи над створенням системи підтримки дистанційного навчання «Медичні інформаційні системи» для працівників закладів охорони здоров'я на базі веб-орієнтованої платформи Moodle та хмарних сервісів Google. Розглянуто призначення і структуру електронної системи охорони здоров'я України, поняття медичної інформаційної системи, інформаційні технології (веб-технології, хмарні технології), що використовуються при створенні системи підтримки дистанційного навчання працівників закладів охорони здоров'я роботі з медичними інформаційними системами, структуру і зміст курсів для дистанційного навчання роботі з системами «Доктор Елекс» і «ЕМСІМЕД». Об'єктом дослідження є система підтримки дистанційного навчання працівників закладів охорони здоров'я, що створена на базі модульного об'єктно-орієнтованого динамічного навчального середовища Moodle, а також хмарних сервісів Google: Google Disk, YouTube.

Ключові слова: *інформаційні технології, технології дистанційного навчання, медичні інформаційні системи, хмарні технології.*

Вступ. Міністерство охорони здоров'я України серед пріоритетних завдань у 2018 р. визначило впровадження *електронної системи охорони здоров'я* (eHealth), зокрема вже реалізовано центральний компонент цієї системи, який забезпечує реєстрацію закладів охорони здоров'я, що надають первинну медичну допомогу, в єдиній електронній системі обміну медичною інформацією, реєстрацію сімейних лікарів та їх пацієнтів.

Електронна система охорони здоров'я – інформаційно-телекомунікаційна система, що забезпечує автоматизацію ведення обліку медичних послуг та управління медичною інформацією шляхом створення, розміщення, оприлюднення та обміну інформацією, даними і документами в електронному вигляді, до складу якої входять *центральна база даних* та *електронні медичні інформаційні системи*, між якими забезпечено автоматичний обмін інформацією, даними та документами через відкритий програмний інтерфейс (API) [1, стаття 2, п. 1.2].

Система eHealth складається з *державного центрального компонента* та *зовнішнього приватного компонента* (рис. 1):

– центральний державний компонент є точкою об'єднання медичних інформаційних систем і є невидимим для кінцевих користувачів: лікарів, пацієнтів, керівників закладів охорони здоров'я;

– зовнішній компонент представлений програмними рішеннями – приватними медичними інформаційними системами, що приєдналися до системи eHealth. Саме через них кінцеві користувачі працюватимуть з системою eHealth.

Медична інформаційна система (МІС) – це інформаційно-телекомунікаційна система, яка є частиною електронної системи охорони здоров'я та забезпечує реєстрацію користувачів, автоматичне розміщення, отримання і передавання інформації та документів щодо надання медичних послуг, користування сервісами з автоматичним обміном інформацією, доступ до якого здійснюється за допомогою мережі Інтернет через прикладний програмний інтерфейс (API).

Реалізація системи eHealth стала можливою з появою на ринку програмного забезпечення вітчизняних медичних інформаційних систем, що відповідають світовим стандартам до інформаційних систем цього класу, зокрема таких, як «Доктор Елекс» [3], «ЕМСІМЕД» [4], «Поліклініка без черг» [5], Helsi [6] та ін.

Актуальність проблеми дослідження. Медичні заклади Черкас і Черкаської області, починаючи з 2015 р., інтенсивно впроваджують зазначені медичні інформаційні системи в свою діяльність. При цьому однією з актуальних проблем, яка виникає при інформатизації медичних закладів, є навчання медичного персоналу закладів охорони здоров'я роботі з медичними інформаційними системами – від керівного складу і лікарів до медичних сестер, працівників лабораторій і діагностичних центрів. Одним із шляхів вирішення зазначеної проблеми є використання інформаційних технологій дистанційного навчання для зазначеної категорії медичних працівників, які були б їм доступні в будь-який час і в будь-якому місті, де є доступ до мережі Internet.

Разом з тим, аналіз Internet-ресурсів показав, що повноцінні системи підтримки дистанційного навчання роботі з програмним забезпеченням медичного призначення практично відсутні.

У Черкаському державному технологічному університеті з метою навчання студентів спеціальності 122 – комп'ютерні науки (освітня програма «Інформаційні управляючі системи та технології») і медичних працівників створено Центр медичних інформаційних систем, де встановлено ліцензійне програмне забезпечення МІС «Доктор Елекс» і МІС «ЕМСІМЕД». Також на кафедрі комп'ютерних наук та системного аналізу започатковано проект з проектування і створення системи підтримки дистанційного навчання (СПДН) «Медичні інформаційні системи» для зазначеної категорії користувачів на основі веб-технологій і хмарних сервісів (рис. 2).

Метою дослідження є проектування і створення системи підтримки дистанційного навчання «Медичні інформаційні системи» для працівників закладів охорони здоров'я на базі системи управління навчальним контентом MOODLE [7] і хмарних сервісів Google: Google Disk, YouTube.

Основна частина. СПДН «Медичні інформаційні системи» (далі СПДН МІС) призначена для створення і розміщення дистанційних навчальних курсів, що містять:

- новини щодо розвитку і впровадження МІС та проекту eHealth;
- навчальні матеріали у doc-форматі та у вигляді презентацій;
- відеолекції;
- завдання для самостійного виконання;
- засоби для контролю засвоєння матеріалу у формі тестів;
- форум для обговорення актуальних питань щодо впровадження і використання МІС.

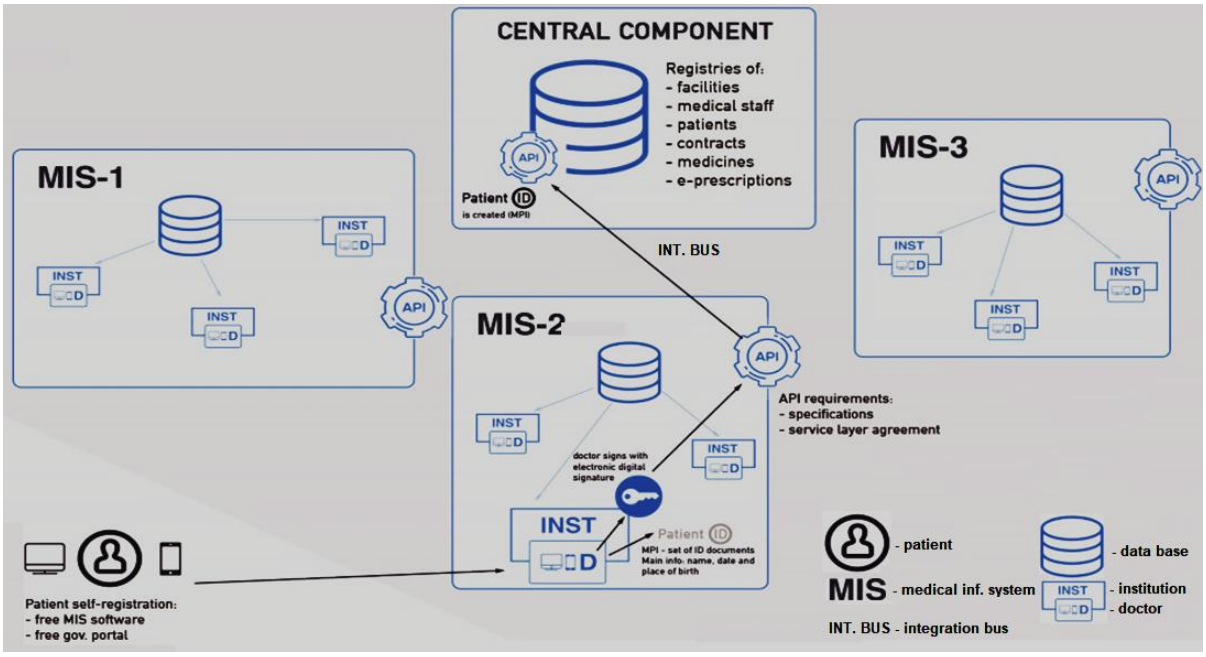


Рис. 1. Структура електронної системи охорони здоров'я (eHealth) України

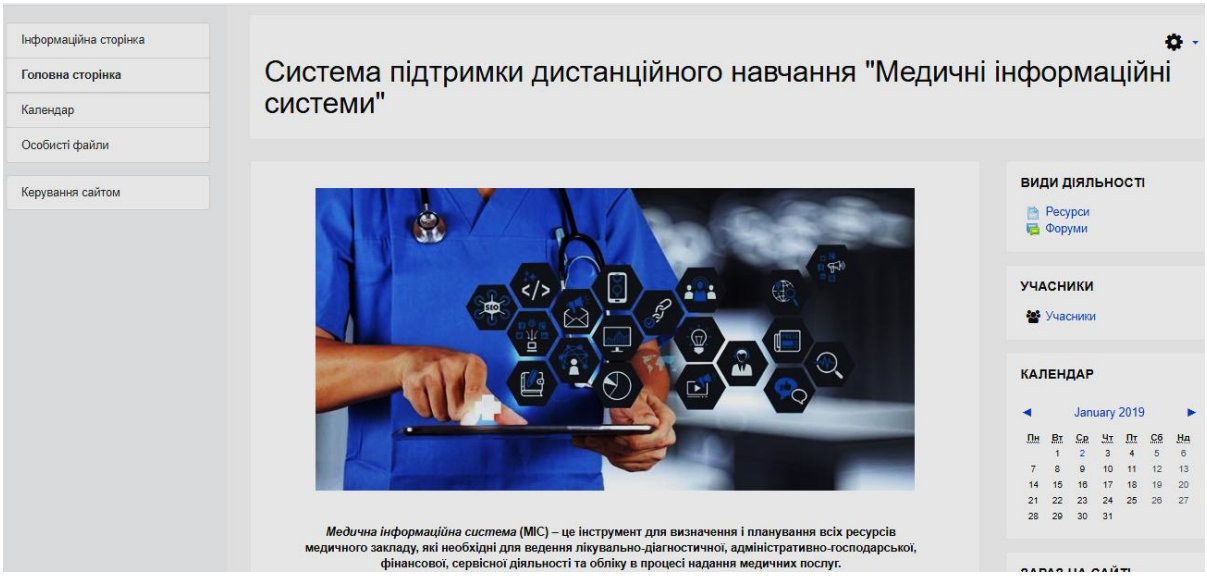


Рис. 2. Головна сторінка СПДН «Медичні інформаційні системи»

Дистанційні навчальні курси орієнтовані на такі категорії користувачів:

- сімейні лікарі;
- лікарі-спеціалісти;
- медичні сестри;
- працівники клініко-діагностичних лабораторій;
- керівники медичних закладів;
- адміністратори МІС;
- студенти ІТ-спеціальностей ЗВО, які спеціалізуються в сфері інформаційних управляючих систем і технологій.

Кожний курс входить до блоку, який відповідає конкретній МІС, наприклад:

- Медична інформаційна система «Доктор Елекс»;
- Медична інформаційна система «ЕМСІМЕД».

На рис. 3 продемонстровано відображення цього блоку в СПДН МІС.

Рис. 3. Перелік категорій курсів, розміщених у СПДН «Медичні інформаційні системи»

На рис. 4 подано список підкатегорій, розміщених у зазначених блоках СПДН «Медичні інформаційні системи», що, в свою чергу, відповідають основним модулям МІС.

Рис. 4. Перелік підкатегорій, що відповідають основним модулям МІС

У навігації системи є можливість записатися на відповідний курс (рис. 5).

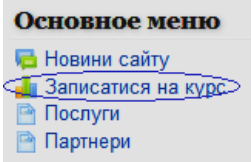


Рис. 5. Розташування режиму «Записатися на курс» на панелі навігації

З метою економії дискового простору на сервері, де розміщується СПДН «Медичні інформаційні системи», на хмарному сервісі

YouTube створено спеціальний канал «Система підтримки ДН Медичні інформаційні системи». На хмарному сервісі Google Disk розміщуються методичні матеріали, презентації лекцій, відео-лекції, рекомендації до виконання практичних робіт.

Система підтримки ДН «Медичні інформаційні системи»

На рис. 6 подано фрагмент змісту дистанційного курсу «Модуль «Лікар» МІС «Доктор Елекс».

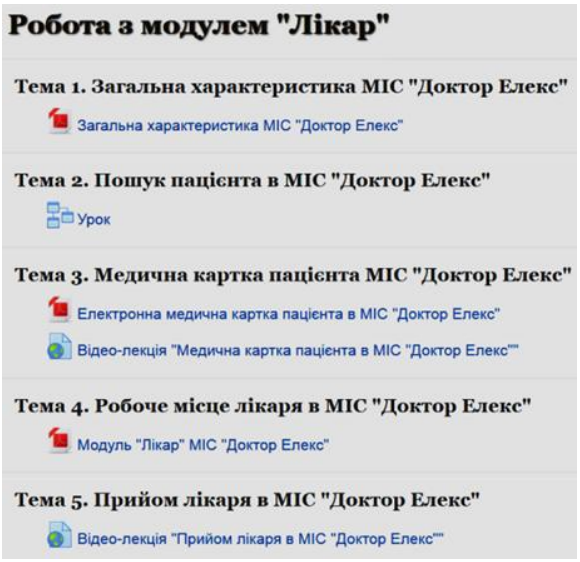


Рис. 6. Фрагмент змісту дистанційного курсу «Модуль «Лікар» МІС «Доктор Елекс»

Веб-ресурс, що створюється авторами, виконує також функцію сайту Центру МІС ЧДТУ, де розміщуються дані про ІТ-компанії, які є розробниками програмного забезпечення для медичних закладів і є партнерами Центру (рис. 7).

Рис. 7. Відомості про партнерів Центру МІС ЧДТУ

Центр МІС ЧДТУ також займається впровадженням зазначених вище медичних інформаційних систем у межах госпдоговірної тематики кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій управління (рис. 8).

Рис. 8. Перелік послуг Центру МІС ЧДТУ

На сайті підключений сервіс Google Maps для зручності знаходження Центру з метою співробітництва у сфері медичних інформаційних систем (рис. 9).

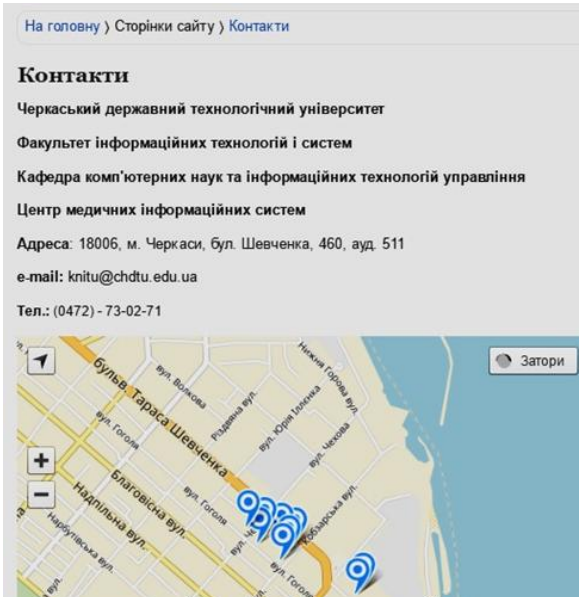


Рис. 9. Контактні дані Центру МІС ЧДТУ

Наведемо мінімальні вимоги до програмного забезпечення для розгортання СПДН МІС на сервері.

Вимоги до ПЗ на сервері:
- Moodle 2.6;
- PHP 5.4.4;
- Ghostscript.

Вимоги до СУБД:
рекомендовано MySQL 5.5,
але можливе використання:
- PostgreSQL 9.1;
- MariaDB 5.5.31;
- Microsoft SQL Server 2008;
- Oracle Database 10.2;

Вимоги до браузера:
- Google Chrome 30.0;
- Mozilla Firefox 25.0;
- Apple Safari 6;
- Microsoft Internet Explorer 9.

Для наочності на рис. 10 продемонстровано схему взаємодії між викладачем та слухачами дистанційного курсу за допомогою СПДН МІС та її структуру.

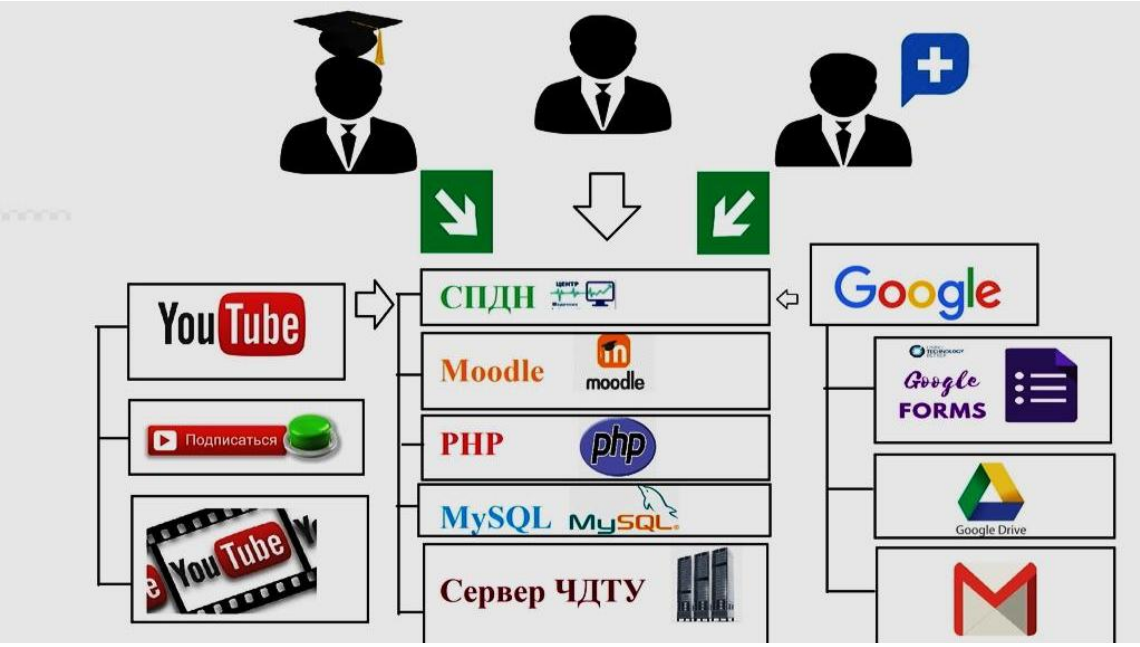


Рис. 10. Схема взаємодії між викладачем та слухачами дистанційного курсу за допомогою СПДН МІС та її структура

На сайті в основному меню розміщено пункт «Послуги», що дає можливість медичним закладам звернутися до Центру з проханням на впровадження медичних інформаційних систем на комерційних умовах. На сьогодні СПДН «Медичні інформаційні системи» знаходиться в стадії створення дистанційних навчальних курсів і наповнення їх навчально-методичними матеріалами на основі авторських розробок [8]. За її допомогою вже здійснюється навчання студентів-магістрантів з адміністрування МІС, а також навчання медичних працівників Черкаської області і м. Черкаси основам роботи з МІС.

Висновки. В результаті дослідження спроектована і створена система підтримки дистанційного навчання «Медичні інформаційні системи». Розроблена система буде корисною:

• медичним працівникам закладів охорони здоров'я, в яких впроваджуються медичні інформаційні системи «Доктор Елекс», «ЕМСІМЕД»;

• слухачам курсів підвищення кваліфікації медичних працівників (лікарів, медичних сестер);

• студентам вищих і середніх спеціальних медичних закладів освіти;

• студентам технічних спеціальностей ЗВО, які спеціалізуються у сфері впровадження інформаційних систем у медичній галузі.

Список літератури

1. Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення: Закон України. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/ 2168-19
2. Сайт МІС «Доктор Елекс». URL: http://doctor.eleks.com
3. Сайт МІС «ЕМСІМЕД». URL: http://www.mcmed.ua
4. Сайт МІС «Поліклініка без черг». URL: https://newmedicine.com.ua/#/
5. Сайт МІС «Helsi». URL: https://helsi.me/
6. СПДН «Медичні інформаційні системи». URL: http://mis.chdtu.edu.ua
7. Сторінка каналу «Система підтримки ДН Медичні інформаційні системи». URL: https://www.youtube.com/channel/UC5blh7K4_sb3Yx7rTRqL3ew
8. Медична інформаційна система «Доктор Елекс»: основи роботи: навч. посіб. / під ред. І. Березовської, Ю. Триуса. Львів: Ліга Прес, 2018. 186 с.

References

1. The Law of Ukraine "On state financial guarantees of medical care of the population". URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/ 2168-19
2. The site of the MIS "Doctor Eleks". URL: http://doctor.eleks.com

3. The site of the MIS "EMCIMED". URL: http://www.mcmed.ua
4. The site of the MIS "Polyclinic without queues". URL: https://newmedicine.com.ua/#/
5. The site of the MIS "Helsi". URL: https://helsi.me/
6. SPD "Medical information systems". URL: http://mis.16mb.com
7. Channel page "The system of support of the DN Medical information systems". URL: https://www.youtube.com/channel/UC5blh7K4_sb3Yx7rTRqL3ew
8. Medical information system "Doctor Eleks": basics of work: Textbook / under ed. I. Berezovska, Yu. Tryus. – Lviv: League Press, 2018. – 186 pp.

O. O. Sotulenko,
Y. V. Tryus, *Dr.Sc., professor*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF DISTANCE LEARNING SUPPORT FOR EMPLOYEES OF HEALTH CARE INSTITUTIONS BASED ON WEB AND CLOUD TECHNOLOGIES

The results of work on creation of the system of support of distance learning "Medical information systems" for healthcare workers based on the web-based platform Moodle and cloud services of Google are presented. The purpose and structure of the electronic healthcare system of Ukraine, the notion of medical information system, information technologies (web technologies, cloud technologies) that are used in creating a system of support for distance learning of healthcare providers working with medical information systems are considered. Structure and contents of courses for distance learning for systems "Doctor Eleks" and "EMSiMED" are presented. The object of the research is the system of support of distance learning of health care workers, created on the basis of the modular object-oriented dynamic learning environment of Moodle, as well as cloud-based Google services: Google Disk, YouTube.

Keywords: *information technologies, distance learning technologies, medical information systems, cloud technologies.*

УДК 004.056

Т. В. Миронюк, *к.т.н.,*
доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії,
e-mail: tanjamiron85@gmail.com
А. В. Чепеленко, *магістрант,*
e-mail: antonychepelenko@gmail.com
Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОМПРЕСІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ КОДУ ФІБОНАЧЧІ

У статті розглядається ефективність компресії даних на основі коду Фібоначчі. Досліджується проблема використання коду змінної довжини для стискання даних на прикладі кодування текстового повідомлення. Визначено недоліки використання коду Фібоначчі при компресії текстових даних з великою кількістю унікальних символів. Запропоновано метод для збільшення ефективності компресії за допомогою коду Фібоначчі при великій кількості унікальних символів та проведено аналіз ефективності запропонованого методу порівняно зі стандартним методом.

Ключові слова: *дані, біт, скупчення даних, компресія даних, стискання без втрат, стиснення втрат, послідовність Фібоначчі.*

Вступ. На сьогодні більшість текстових документів, написаних навіть однією мовою, будуть містити значну кількість унікальних символів. Так, український алфавіт, який містить 33 букви-символи, буде представлений 66 унікальними символами, за рахунок того, що великі й малі букви – це різні символи в таблиці ASCII [8]. Додаймо до цього 10 цифр, знак пропуску, пунктуаційні знаки та отримаємо за 90 унікальних символів. Також не варто забувати про використання спеціальних символів та інших алфавітів (наприклад у підручниках математики, фізики, статтях з посиланнями чи цитати іншими мовами) і кількість унікальних символів у тексті перевищить значення 120 символів [6, 7]. Відповідно до цього стандартний метод генерації коду Фібоначчі [1, 4] буде менш ефективним, що й є основою для його покращення.

Також не варто забувати про форматування тексту, яке в різних текстових редакторах відрізняється, і при зчитуванні одного й того ж тексту в різних форматах може з'являтися значна кількість унікальних символів, які відповідають саме за форматування тексту. В таких випадках кількість унікальних символів починає перевищувати 150-180 і стандартний метод генерації коду Фібоначчі буде вже неефективним через його основні недоліки, а саме зменшення ефективності компресії при збільшенні кількості унікальних символів без збереження частоти розподілу цих символів. Вдосконалений метод навіть у таких випадках буде мати позитивне значення компресії даних.

Метою роботи є вдосконалення методу компресії даних на основі коду Фібоначчі за рахунок збільшення ефективності компресії на реальних даних.

Виклад основного матеріалу. Дані – це окремі фрагменти інформації, зазвичай відформатовані спеціальним способом. Вся програма ділиться на дві загальні категорії: дані та програми. Програми – це збірки інструкцій для обробки даних. Дані можуть існувати в різних формах – як цифри або текст на паперових носіях, як біти та байти, що зберігаються в електронній пам'яті. Біт – це найменша одиниця даних, що зберігаються на комп'ютері. Хоча комп'ютери надають інструкції, які можуть тестувати і управляти бітами, вони зазвичай призначені для зберігання даних та виконання інструкцій у бітних множинах, які називаються байтами. Байт складається з 8 бітів. У багатьох системах чотири восьмибітні байти (або октети) утворюють 32-розрядне слово. У таких системах тривалість інструкцій іноді виражається словом, тобто 32 біт у довжину, або наполовину словом, тобто 16 біт у довжину.

Стиснення даних визначається як представлення даних таким чином, що область

зберігання, необхідна для цільових даних, менша, ніж розмір вхідних даних. Існують два алгоритми для стиснення даних: перший безпосередньо стискає дані, тобто перетворює дані таким чином, щоб вихідна кількість бітів була менша, ніж вхідна, а другий виконує реконструкцію стиснутих даних до початкового стану. Стиснення тексту – важлива область стиснення даних без втрат. Дуже важливо, щоб реконструкція була ідентична тексту оригіналу, тому що дуже маленькі відмінності можуть призвести до висловлювань з різними значеннями. Символи зазвичай представлені за допомогою ASCII коду [8], де записано 256 символів. Частота кожного коду ASCII відрізняється одна від одної. Якщо текстові дані використовуються як введення, деякі символи зустрічаються найчастіше, і є багато символів, які ніколи не використовуються на вході. В основному використовуються алфавіт, цифри та деякі спеціальні символи. В алфавіті найчастіше використовуваними символами є голосні (табл. 1).

Таблиця 1

Середньостатистичні частоти букв та пропуску між словами в українській мові [5]

___	0,138	і	0,044	д	0,027	г	0,013	ж	0,007
о	0,086	р	0,043	л	0,027	ч	0,011	ш	0,005
н	0,068	е	0,042	п	0,025	х	0,011	є	0,005
а	0,064	с	0,037	з	0,020	ї	0,010	щ	0,004
и	0,055	к	0,033	я	0,019	ц	0,010	ф	0,003
в	0,046	м	0,029	ь	0,016	й	0,009	ґ	0.000
т	0,045	у	0,027	б	0,013	ю	0,008		

256 символів нечасто використовуються при компресії тексту. Різниця в цій частоті символів створює гарну можливість стиснення даних, притому кодом не фіксованої довжини, а кодом змінної довжини.

Компресія на основі Фібоначчі [2] генерує код змінної довжини. Використовуються традиційні методи заміни введених символів на специфічний код, наприклад кодові слова та ряд Фібоначчі [9] для реалізації стиснення.

У математиці числа Фібоначчі – це послідовність ряду чисел, в якому кожне наступне число дорівнює сумі двох попередніх: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55; 89; 144. Часто, особливо в сучасному застосуванні, в послідовність доданий ще один елемент, а саме початковий 0: 0; 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55; 89; 144.

Математично визначається послідовність F_n чисел Фібоначчі за рекурентним співвідношенням

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, \qquad (1)$$

де, наприклад, $F_1 = 1$ і $F_2 = 1$ або $F_0 = 0$ і $F_1 = 1$.

При компресії кожне число Фібоначчі з послідовності (табл. 2) відображає кількість кодових слів, а номер числа з послідовності + 1 – це довжина цього кодового слова. Для компресії даних, які представляються через ASCII-код, максимально буде використовуватися 13 перших чисел із послідовності, тому що сума перших 12 чисел: 0 + 1 + 1 + 2 + 3 + 5 + 8 + + 13 + 21 + 34 + 55 + 89 = 233, що менше 256, тобто мінімальна необхідна кількість – це 13.

Таблиця 2

Послідовність Фібоначчі

F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}
0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144

На основі цієї послідовності і буде будуватися код для компресії даних.

Ефективне саморозмежування подання довільного числа – це кодування Фібоначчі. Фібоначчі-кодування базується на тому, що будь-яке натуральне число n може бути однозначно виражено як сума різних чисел Фібоначчі, а тому не буде двох однакових послідовних чисел. Це означає, що, якщо буде використано бінарне представлення коду Фібоначчі, то не буде випадків двох послідовних одиниць.

Процес кодування на основі послідовності Фібоначчі [3] можна записати у вигляді наступного алгоритму:

Нехай n – це число, що відображає символ відповідно до ASCII-коду, S – вихідний масив, $F(i)$ – це число з послідовності Фібоначчі.

1. Знаходимо найбільше число $F(i)$, яке менше, ніж вхідне значення.
2. Додаємо і до вихідного масиву S.
3. Заміняємо n на $n - F(i)$.
4. Переходимо до кроку 1.

При використанні динамічного коду для компресії даних необхідно також ввести унікальний ключ для коректного розпізнавання закодованих даних і подальшої декомпресії даних. Оскільки в послідовності не може бути двох послідовних одиниць, можна це використати. Так, найкоротший можливий код, що буде показувати закінчення кодового слова, – це «11».

Отримані в результаті дослідження дані наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Відображення чисел у коді Фібоначчі

Позиція	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Відображення в коді Фібоначчі
Значення	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	
Ранг												
1	1											11
2	0	1										011
3	0	0	1									0011
4	1	0	1									1011
5	0	0	0	1								00011
6	0	1	0	1								01011
7	1	0	0	1								10011
8	0	0	0	0	1							000011
9	0	0	1	0	1							001011
10	0	1	0	0	1							010011
11	1	0	0	0	1							100011
12	1	0	1	0	1							101011

Процес стиснення даних за допомогою послідовності Фібоначчі [3] чітко розділений на стадії:

1. Зчитати вхідний файл і визначити частоту символів.
2. Відсортувати символи за частотами в порядку спадання замовлення.
3. Обчислити код Фібоначчі кожного рейтингу.
4. Створити таблицю для кодування.
5. На основі вхідного файлу і таблиці для кодування провести компресію даних.

Для подальшого дослідження наведемо приклад компресії даних. Для цього виконаємо компресію повідомлення: «Тестове повідомлення».

Результати отриманих обрахунків подано в табл. 4.

Таблиця 4

Процес обрахунку результатів компресії для першого прикладу

Символ	Частота	Ранг	Код Фібоначчі	Кількість бітів до компресії	Кількість байтів після компресії
е	3	1	11	24	6
о	3	2	011	24	9
в	2	3	0011	16	8
н	2	4	1011	16	8
__	1	5	00011	8	5
д	1	6	01011	8	5
і	1	7	10011	8	5
м	1	8	000011	8	6
л	1	9	001011	8	6
п	1	10	010011	8	6
с	1	11	100011	8	6
т	1	12	101011	8	6
я	1	13	0000011	8	7
Т	1	14	0001011	8	7

Дослідивши та підрахувавши наведені в табл. 4 результати, отримуємо:

- загальна кількість байтів до компресії – 160;
- загальна кількість байтів після компресії – 90.

В результаті буде отримано таке значення ефективності компресії:

$$1-\frac{90*100}{160}=43{,}75\%\,. \qquad (2)$$

За обрахунками отриманих вище даних визначено, що символи, які займали по 8 біт пам'яті, після компресії почали займати від 2 до 7 біт кожен. Але, якщо кількість різних символів збільшиться, тоді знадобиться використовувати все більше рангів для кодування.

Переглянувши результати, наведені в табл. 2, можна побачити, що в подальшому деякі символи при компресії почнуть займати більше, ніж 8 біт і максимально будуть займати 13 біт, за умови, що у вхідному файлі використовуються майже всі символи із ASCII-таблиці. В такому випадку вихідний файл може, навпаки, займати більше місця, ніж вхідний.

Цей алгоритм також дуже залежить від частоти розподілення символів. Якщо розподілення символів буде рівномірним, то цей алгоритм значно втратить ефективність компресії.

Розглянемо приклад найменшої ефективності алгоритму. Для цього візьмемо повідомлення розміром 160 біт, але символи в ньому не будуть повторюватися. Для прикладу використаємо повідомлення наступного типу: «1234567890йцукенгшщз». Це повідомлення містить рівно 20 різних символів розміром 160 біт.

Виконаємо компресію даних та наведемо результати виконання в табл. 5.

Таблиця 5

Процес обрахунку результатів компресії для другого прикладу

Символ	Частота	Ранг	Код Фібоначчі	Кількість бітів до компресії	Кількість байтів після компресії
1	2	3	4	5	6
1	1	1	11	8	2
2	1	2	011	8	3
3	1	3	0011	8	4
4	1	4	1011	8	4
5_	1	5	00011	8	5
6	1	6	01011	8	5
7	1	7	10011	8	5
8	1	8	000011	8	6
9	1	9	001011	8	6
0	1	10	010011	8	6
й	1	11	100011	8	6
ц	1	12	101011	8	6
у	1	13	0000011	8	7
к	1	14	0001011	8	7
е	1	15	0010011	8	7
н	1	16	0100011	8	7
г	1	17	0101011	8	7
ш	1	18	1000011	8	7
щ	1	19	1001011	8	7
з	1	20	1010011	8	7

Підрахувавши отримані в табл. 5 результати, було визначено, що:

- загальна кількість байтів до компресії – 160;
- загальна кількість байтів після компресії – 114.

Після виконання обрахунку було отримано таке значення ефективності компресії:

$$1-\frac{114*100}{160}=28{,}75\%\,. \qquad (3)$$

Порівнявши результати із першим прикладом, було визначено, що ефективність компресії зменшилася на 15 %.

Як було зазначено вище, однією з основних проблем існуючого методу компресії є його використання на даних з великою кількістю унікальних символів. Тому, відштовхуючись від отриманих даних, було запропоновано метод, який збільшує ефективність при середньому значенні унікальних символів від 100 одиниць, але зменшує ефективність при меншому значенні унікальних символів.

Головним принципом запропонованого методу є розширення таблиці кодування введенням нових закінчень. Так, можна ввести додаткові закінчення «1111», «111111» і т. д., але при цьому доведеться видалити варіанти, коли символ буде закодований тільки закінченням, тобто видалити такі коди Фібоначчі: «11», «1111» і т. д.

Результати кодів Фібоначчі із застосуванням запропонованого методу наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Таблиця кодів Фібоначчі згідно з новим методом

Ранг	Код згідно з новим методом
1	011
2	0011
3	1011
4	00011
5	10011
6	01011
7	01111
8	000011
9	100011
10	010011
11	001011
12	101011
13	001111
14	101111

Відповідно при компресії даних із нерівномірною частотою унікальних символів такий метод дає втрату близько 5 %, але при компресії файлів із рівномірною частотою унікальних символів цей метод дає покращення компресії на 10-15 %.

Результати тестування запропонованого методу наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Результати порівняння компресії

Розмір файлу, байт	Кількість унікальних символів	Розмір після компресії методом Фібоначчі, байт	Розмір після компресії методом збільшення ефективності, байт
43010	119	31670	31007
60825	137	47860	45762
6944	99	4468	4545
1173	29	590	639
131134	256	170591	155819
93458	184	95034	87153

Відповідно до результатів, поданих в табл. 7, видно, що запропонований метод ефективніший за стандартний метод при кількості унікальних символів, більшій за 110-120 символів.

Код Фібоначчі можна також використовувати для шифрування даних. У цьому випадку запропонований метод має більш складну логіку шифрування, тому що при компресії / шифруванні даних з кількістю понад 220 унікальних символів запропонований метод зменшить вихідний розмір даних на 10-15 %.

Висновки. В процесі дослідження розглянуто ефективність компресії даних на осно-

ві коду Фібоначчі. Досліджено проблему використання коду змінної довжини для стискання даних на прикладі кодування тестового повідомлення. Розглянуто загальний принцип компресії даних, її різновиди та проаналізовано зв'язок між розподілом частоти вживання певних літер і можливістю застосування компресії на основі кодів динамічного розміру. Також розглянуто загальний принцип побудови таблиць кодування для цього методу і проведено практичні обрахунки ефективності методу для випадків розподілу символів згідно зі статистикою та при рівномірному розподілі символів. На основі обрахунків ефективності компресії в різних випадках виокремлено основні недоліки методу для подальшого вдосконалення алгоритму.

Враховуючи визначені недоліки, проведено вдосконалення методу компресії на основі кодів Фібоначчі, що забезпечило підвищення ефективності компресії реальних даних.

Запропоновано метод для збільшення ефективності компресії за допомогою коду Фібоначчі при великій кількості унікальних символів та проведено аналіз ефективності запропонованого методу порівняно зі стандартним методом. Визначено, що вдосконалений метод з виключенням має вищий відсоток компресії над стандартним методом, але результати суттєво залежать від частотного розподілу символів. Вдосконалений метод спрямований саме на компресію текстів, в яких використовується декілька мов, спеціальні символи, а також на компресію файлів будь-якого формату, де стандартний метод має малий, або навіть від'ємний показник компресії.

Список літератури

1. Using Fibonacci compression codes as alternatives to dense codes. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/4483325 [Accessed 2 Sep. 2018].
2. Data compression using Fibonacci sequence. URL: http://www.academia.edu/32058265/Data_Compression_using_Fibonacci_Sequence [Accessed 2 Sep. 2018].
3. Fast Fibonacci encoding algorithm. URL: http://ceur-ws.org/Vol-567/paper 14. pdf
4. Fibonacci data compression. URL: http://code.activestate.com/recipes/577554-fibonacci-data-compression [Accessed 4 Sep. 2018].
5. Частоти повторюваності букв і біграм у відкритих текстах українською мовою. URL: http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ZI/article/viewFile/1968/1959 (Дата звернення: 3.09.2018).
6. Frequency of character combinations for three languages. URL: https://www.joyofdata.de/blog/frequency-of-character-combinations [Accessed 2 Sep. 2018].
7. Letter frequency of different languages. URL: http://letterfrequency.org/letter-frequency-by-language [Accessed 4 Sep. 2018].
8. ASCII table and description. URL: http://www.asciitable.com/ [Accessed 4 Sep. 2018].
9. Fibonacci sequence. URL: https://www.mathsisfun.com/numbers/fibonacci-sequen ce.html [Accessed 3 Sep. 2018].

References

1. Using Fibonacci compression codes as alternatives to dense codes. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/4483325 [Accessed 2 Sep. 2018].
2. Data compression using Fibonacci sequence. URL: http://www.academia.edu/32058265/Data_Compression_using_Fibonacci_Sequence [Accessed 2 Sep. 2018].
3. Fast Fibonacci encoding algorithm. URL: http://ceur-ws.org/Vol-567/paper 14. pdf
4. Fibonacci data compression. URL: http://code.activestate.com/recipes/577554-fibonacci-data-compression [Accessed 4 Sep. 2018].
5. Frequencies of recurrence of letters and digrams in open texts in Ukrainian. URL: http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ZI/article/viewFile/1968/1959 [Accessed 3 Sep. 2018] [in Ukrainian].
6. Frequency of character combinations for three languages. URL: https://www.joyofdata.de/blog/frequency-of-character-combinations [Accessed 2 Sep. 2018].
7. Letter frequency of different languages. URL: http://letterfrequency.org/letter-frequency-by-language [Accessed 4 Sep. 2018].
8. ASCII table and description. URL: http://www.asciitable.com/ [Accessed 4 Sep. 2018].
9. Fibonacci sequence. URL: https://www.mathsisfun.com/numbers/fibonacci-sequen ce.html [Accessed 3 Sep. 2018].

T. V. Myronyuk, *Ph.D.*,
associate professor of information security and computer engineering chair
e-mail: tanjamiron85@gmail.com
A. V. Chepelenko, *master*
e-mail: antonychepelenko@gmai.com
Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF DATA COMPRESSION METHOD BASED ON FIBONACCI CODE

This article discusses the effectiveness of data compression based on Fibonacci code. The problem of using variable-length code for data compression is studied on the example of a test message encoding. The general principle of data compression, its variants are considered and the connection between the distribution of the frequency of the use of certain letters and the possibility of applying compression on the basis of codes of dynamic size is analyzed. Also, the general principle of constructing the coding tables for this method is considered, and practical calculations of the efficiency of the method for cases of symbols distribution according to statistics and at a uniform distribution of symbols are carried out. Based on calculations of compression efficiency in different cases, the main disadvantages of the method are outlined for further improvement of the algorithm.

Taking into account certain deficiencies, the compression method on the basis of Fibonacci codes has been improved, which ensures the increase of the efficiency of real data compression.

A method for increasing the compression efficiency by means of Fibonacci code with a large number of unique symbols is offered and the analysis of the efficiency of the proposed method compared with the standard method has been conducted. It has been determined that the improved exception method has a higher percentage of compression over the standard one, but the results are significantly dependent on the frequency division of the symbols. The improved method is directed on the compression of texts using multiple languages, special symbols, as well as on the compression of files of any format where the standard method has a small or even negative compression ratio.

Keywords: *data, bit, data aggregation, data compression, lossless compression, loss compression, Fibonacci sequence.*

УДК 004.056

І. В. Миронець, *к.т.н., доцент,*
доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії,
e-mail: irenmir30@gmail.com
В. В. Орловський, *магістрант*
e-mail: bitali1994@gmail.com
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПРОГРАМУВАННЯ ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У ХМАРНИХ СХОВИЩАХ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID

Стаття присвячена створенню програмного продукту для статистичного аналізу та дослідженню ефективності обробки великих об'ємів даних на прикладі використання виділеного і хмарного серверів, який призначений для оцінювання використання хмарних технологій та виділених серверів; аналізується їх співіснування, виділено переваги та недоліки, приділено увагу опису відмінностей з роботою над великими об'ємами даних.

Ключові слова: *інформаційні технології, мобільний додаток, операційна система Android, хмарні сховища, захист даних.*

Вступ. Найчастіше навіть чітко прописана специфікація протоколу взаємодії сервер/клієнт не може забезпечити коректну інтеграцію. Тому перед розробником виникає проста, очевидна проблема: протоколи клієнта і сервера не збігаються. З точки зору розробки клієнта це призводить до того, що мобільний додаток отримує некоректні дані або не отримує їх зовсім. При плануванні розробки проекту недооцінюється необхідний обсяг ресурсів і час створення сервера. Ще одна проблема – обмеженість доступних розробнику ресурсів. Найчастіше розробляти сервер доводиться за допомогою тих інструментів і технологій, якими володіють члени команди. Процес виходить тривалим, сам додаток – досить складним і дорогим з точки зору супроводу, а тривала розробка додатка, навіть у простих проектах, веде до збільшення витрат та інших ризиків.

Кожний день людина користується електронними пристроями; завдяки їм спілкується з друзями, заводить нових знайомих, замовляє необхідні товари. Таким чином, виникає необхідність у створенні нових програм і додатків для роботи з цими пристроями – як розважального характеру, так і для роботи, освіти та ін.

Отже, мобільна розробка – це галузь, яка стрімко розвивається, охоплює всі сфери життя людини і надає широкий вибір послуг, розрахованих на потреби різного типу. Мобільні додатки допомагають користувачам економити власний час, виконують багато важливих функцій та роблять життя простішим. Дуже мало програм працюють без певного підключення до Інтернету, тобто вони взаємодіють з бекендом, веб-сервісами або API, які можуть бути надані різноманітними сервісами.

Актуальність. Хмарні технології з кожним роком все ширше використовуються для задоволення різних потреб населення. І, якщо раніше хмарні технології використовувалися вузьким колом IT-спеціалістів, то сьогодні ця технологія є доступною для кожного користувача. Використання безкоштовного поштового сервісу gmail компанії Google, Hotmail компанії Microsoft, використання віртуальних дискових просторів, додатків для спільної роботи віддалених користувачів та інших сервісів стали звичними для людства. Широке використання хмарних технологій привело до появи специфічних для кіберпростору технологій загроз безпеці інформації. Тому досить актуальною є розробка нових інформаційних технологій захисту інформації в кіберпросторі та безпеки хмарних обчислень [1–3].

У сфері програмування мобільного бекенду є ряд вагомих розробок, серед яких можна виділити праці таких авторів: Макконнелла С., Ханта Е., Томаса Д., Мостової Н. О., Нечаюк Л. І., Новикова О. В., П'ятницького Г. Т., Сірого В. М. та інших [4–5, 9–10].

Проте особливості та переваги застосування Інтернет-технологій у діяльності цього сегмента залишаються не до кінця дослідженими через те, що ця тема перебуває на етапі стрімкого розвитку, і щороку ми отримуємо новітні технології для мобільної розробки. У час науково-технічного прогресу інновації в програмному бізнесі відіграють чи не головну роль у висококонкурентній боротьбі компаній за кожного клієнта [7, 11]. Застосування новітніх технологій розробки мобільних додатків дає змогу програмістам підвищити ефективність програмних продуктів, знаходити нові резерви підвищення якості серверної частини, надання нових послуг.

Метою дослідження є розроблення мобільного додатку для статистичного аналізу і дослідження ефективності обробки великих об'ємів даних на прикладі використання виділеного та хмарного серверів, який призначений для оцінювання використання хмарних технологій та виділених серверів, їх співіснування, виділення переваг та недоліків, опису відмінностей з роботою над великими об'ємами даних.

Виклад основного матеріалу. Хмарні сервіси дозволяють керувати централізованою базою даних, яка пропонує користувачам спільно використовувати вміст через хмару. Розробнику не потрібно розробляти власний сервер з використанням серверної технології, такої як Ruby або PHP. Коли сторонній постачальник послуг відповідає за базову IT-інфраструктуру, розробник додатка більше не відповідає за придбання виділеного сервера або віртуальної машини. У той же час постачальник послуг може вирішити, як ефективно використовувати свою інфраструктуру, щоб обслуговувати запити від усіх своїх клієнтів. Як наслідок, постачальник послуг зазвичай не зобов'язаний виконувати постійне навантаження для конкретного клієнта. Замість цього програма обробляє запити від усіх клієнтів одночасно, витрачаючи лише обмежений час на обробку кожного запиту конкретного клієнта. Тому такі постачальники, як правило, платять своїм клієнтам на основі загальної кількості запитів, частоти запитів протягом певного періоду або загального часу, витраченого на обслуговування всіх запитів від клієнта.

Такий самий підхід добре працює для різних типів навантажень, оскільки сторонні постачальники послуг, як правило, мають еластичні, масштабовані послуги. Коли клієнти починають користуватись сторонньою службою, очікувана кількість запитів може бути низькою, а клієнти платять значно менше, ніж придбання, налаштовування та управління власною інфраструктурою на місці або в хмарі. Для більшої кількості запитів (або очікуваних, або несподіваних піків навантаження) клієнтам не потрібно додавати сервери, щоб масштабувати їх застосування. Натомість постачальник послуг піклується про збільшення навантаження. Безумовно, обробка більшої кількості запитів обійдеться дорожче, але в більшості випадків таке рішення ще ефективніше, ніж використання спеціалізованої IT-інфраструктури.

Створений програмний додаток використовується користувачами, в яких є мобільний пристрій або планшетний комп'ютер на операційній системі Android та доступ до мережі Інтернет. Призначення додатка – надання розробнику мобільних додатків можливості отримувати повну інформацію про серверні технології, а також дослідження їх характеристик та відмінностей на власному мобільному пристрої.

Функціональне призначення додатка – це отримання детальної інформації про використання різних видів розробки серверної частини мобільних додатків. Користувач може виконати запрограмовані запити на один з вибраних серверів, які розроблені за різними технологіями (хмарні або виділені), отримати інформацію про реакцію на запити, переглянути статистичні дані у вигляді графіків, діаграм, вивести інформацію у лог-файл, переглядати всю необхідну інформацію завдяки зручному інтерфейсу.

Експлуатаційним призначенням додатка є: економія часу розробника мобільних додатків на вибір технології збереження та отримання даних з мережі Інтернет, дослідження принципів розробки мобільних додатків, тестування систем надання послуг по обробці даних; передбачений швидкий, зручний, простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, який не потребує наявності спеціальних вмінь та навичок для використання додатка; підтримка переважної більшості мобільних пристроїв на операційній системі Android.

Потреба в розробці цього програмного продукту полягає в тому, щоб надавати розробнику мобільних додатків правильний вибір технологій залежно від цілей використання даних.

Розроблена програма складена з двох частин – серверної, яку представляє "backend" за допомогою хмарних сервісів "firebase", "BackendLess", "Amazon AWS", "Microsoft Azure", "Kinvey", власного сервера, та клієнтської на базі мобільної операційної системи Android, яка знаходиться на мобільному пристрої користувача.

Серверна частина містить перелік користувачів з даними для входу, запрограмований об'єм даних з запитами на їх отримання та додавання даних з клієнта. Всі запити мають історію та необхідну інформацію для статистичного аналізу.

Клієнтська частина має дуже зручний інтерактивний інтерфейс для перегляду даних з сервера, завантаження даних, формування графіків і діаграм, відображення інформації з запитів та ін.

Додаток містить наступні функції для користувача:

– відображення великої кількості даних, отриманої від запиту на обраний сервер, з часом відгуку та об'ємом інформації;

– реєстрація та авторизація користувача через соціальні мережі: "Facebook", "Twitter", "Google" або електронну пошту;

– побудова графіка залежності об'єму даних від швидкості виконання запиту на різних серверних технологіях;

– пошук за допомогою запиту на сервер, який повинен повертати результат, додаток буде зберігати час, затрачений на відгук сервера, та об'єм переданої інформації;

– побудова діаграми залежності з зібраними статистичними даними всіх протестованих серверних технологій;

– відображення результатів аналізу протестованих серверних технологій, використаних у додатку з детальними висновками;

– збереження результатів у лог-файл та мобільну базу даних.

Користувач може зберігати отримані результати, додавати до них власні помітки, обмінюватись результатами з друзями через популярні соціальні мережі.

Особливістю створеного програмного продукту є визначення та аналіз недоліків і переваг описаних технологій завдяки розробці власного аналізатора даних.

Висновки. В результаті проведеного дослідження спроектовано і розроблено Android-додаток для статистичного аналізу та дослідження ефективності обробки великих обсягів даних на прикладі використання виділеного та хмарного серверів. Програмний продукт складений з двох частин – серверної та клієнтської. Серверна частина містить базу даних для обліку користувачів, переліку та надання тестових даних, логів тощо. Клієнтська частина має інтерактивний інтерфейс для перегляду списку серверів, виконання запитів на них, складання графіків, виконання аналізу результатів. Під час аналізу предметної області висвітлено основні проблеми використання Інтернет-технологій у сфері розробки програмного забезпечення. В результаті дослідження встановлено певні недоліки та переваги використання технологій хмарного та виділеного серверів. Для того, щоб додаток максимально відповідав поставленим вимогам, був зручним та багатофункціональним, перед його проектуванням та розробкою було розглянуто й проаналізовано існуючі методології та літературні джерела. Деякі з рішень, що були знайдені в цих методологіях, були використані під час проектування та розробки мобільного додатка. Проектування системи відбувалося з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Використання шаблонів проектування та окремі дизайнерські рішення розробника дозволили зробити систему гнучкою, що легко піддається модифікації, зрозумілою та надійною. Використання сучасних гнучких технологій розробки дозволить і надалі розширювати функціональність системи або вносити зміни до її поточної функціональності. Інтерфейс програми було спроектовано з урахуванням потреб цільового користувача. Інтерфейс спроектований так, щоб будь-які дії займали у користувача мінімальну кількість часу, адже планується велика інтенсивність використання додатка. Велику увагу було приділено тестуванню та відлагодженню системи. Використання сучасних інструментів тестування, відлагодження і використання різних підходів та методів тестування, що найкраще підходять до тестування кожного окремого методу, дозволили зробити систему надійною та стійкою до можливих помилок.

Список літератури

1. Облачные технологии / Монахов Д. Н., Монахов Н. В., Прончев Г. Б., Кузьменков Д. А. Москва: МАКС Пресс, 2013. 128 с.
2. Гребнев Е. Облачные сервисы. Москва: CNews, 2011. 282 с.
3. Клементьев И. П., Устинов В. А. Введение в облачные вычисления. УГУ, 2009. 233 с.
4. Клементьев И. П., Устинов В. А. Введение в облачные вычисления. 2-е изд. Москва: Интуит, 2016. 311 с.
5. Сейдаметова З. С. Облачные технологии и образование. Симферополь: ДИАЙПИ, 2012. 204 с.
6. Шилдт Герберт. Java. Полное руководство. Москва: Вильямс, 2012. 1104 с.
7. Майер Рето. Android 4. Программирование приложений для планшетных компьютеров и смартфонов. Москва: ЭКСМО, 2013. 816 с.

References

1. Monakhov, D. N., Monakhov, N. V., Pronchev, G. B., Kuzmenkov, D. A. (2013) Cloud Technologies. Moscow: MAX Press, 128 p. [in Russian].
2. Grebnev, E. (2011) Cloud services. Moscow: CNews, 282 p. [in Russian].
3. Klementyev, I. P., Ustinov, V. A. (2009) Introduction to cloud computing. UGU, 233 p. [in Russian].
4. Klementyev, I. P., Ustinov, V. A. (2016) Introduction to cloud computing. 2nd ed. Moscow: Intuit, 311 p. [in Russian].
5. Seydametova, Z. (2012) Cloud technologies and education. Ukraine, Simferopol: DIAIPI, 204 p. [in Russian].
6. Shildt, Herbert. (2012) Java. Complete guide. Moscow: Williams, 1104 p. [in Russian].
7. Mayer, Reto. (2013) Android 4. Programming of applications for tablet computers and smartphones. Moscow: ЄKSMO, 816 p. [in Russian].

I. V. Myronets, *Ph.D., associate professor,*
associate professor of information security and computer engineering chair,
e-mail: irenmir30@gmail.com
V. V. Orlovskyi, *master*
e-mail: bitali1994@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF PROGRAMMING OF INFORMATION PROCESSING METHODS IN CLOUD STORAGES BASED ON THE ANDROID OPERATING SYSTEM

As a result of undertaken study, Android-supplement for a statistical analysis and research of the efficiency of processing large amounts of data on the example of the use of distinguished and cloudy servers is projected and worked out. A software product is made of two parts – server and client ones. Server part contains the data base for users accounting, listing and granting of test data, ravines, etc. Client part has an interactive interface for the revision of servers list, implementation of requests to them, drafting of diagrams, implementation of analysis of results. During the analysis of subject domain the basic problems of the use of Internet-technologies in the sphere of software development are cleared up. As a result of research certain advantages and disadvantages of the use of technologies of cloudy and distinguished servers are set. In order for the application to maximally meet the laid down requirements, be comfortable and multifunction, before its planning and development the existing methodologies and literary sources have been considered and analyzed. Some of solutions that have been found in these methodologies are used during planning and development of mobile application.

Planning of the system took place with the use of object-oriented approach. The use of planning models and separate designer decisions of developer have allowed to do the system flexible, that easily yields to modification, clear and reliable. The use of modern flexible technologies of development will allow in future to extend the system functionality or make alterations to its current functionality. A program interface is projected taking into account the necessities of a target user. An interface is designed so that any actions would occupy the least of time for a user, because a large intensity of application use is planned. Large attention is paid to testing and adjusting of the system. The use of modern instruments of testing and adjusting and the use of different approaches and methods of testing which match the best for testing of every separate method allow to do the system reliable and proof to possible errors.

Keywords: *information technologies, mobile application, Android operating system, cloud storages, data protection.*

UDK 681.5.004

S. V. Burmistrov[2], *Ph.D.,*
e-mail: burmistrovsv@rambler.ru
O. M. Panasco[1], *Ph.D., associate professor,*
e-mail: lena.pa@ukr.net
O. D. Laitarov[1], *6th year student*
e-mail: vendenta95@gmail.com
[1]Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine.
[2]Kiev National University of Technology and Design,
V. Chornovola str., 241, Cherkasy, 18028, Ukraine

MODERNIZATION OF SELF-MOVABLE FIXING DEVICES BASED ON VERNAM'S CIPHER ANALOGUE

In the article a functional scheme of encryption device, which is the realization of one of the variants of modernization of the Lorenz German stationary encryption machine, is developed. The device works by superposing the ciphertext on the main text of messages. It also has absolute cryptographic stability, provided that it uses conditions similar to those of the Lorentz operation, but does not use the Vernam encryption system.

The advantage of the proposed character encryption device is the much more powerful ciphertext alphabet. It consists of ***(n-1)!*** *times more characters than in Vernam's cipher. This significantly increases the cryptostability of the system.*

Unlike the Vernaim cipher, in the proposed encryption device, the ciphertext encoding does not equal the decryption ciphertext. Therefore, in order to unify the receiver and transmitting part of the device in its design, it is proposed to introduce an additional block – a block of formation of the reverse ciphertext, which automatically generates ciphertext encoding on the basis of ciphertext decoding.

The basis of this project is a special software complex designed to calculate the principle electric circuit of the block of formation of the reverse ciphertext, which automatically generates ciphertext encoding on the basis of ciphertext decoding

Keywords: *Lorentz stationary teleprinter encryption machine, Vernam system, encoding ciphertext, decoding ciphertext, a block of formation of the reverse ciphertext.*

Relevance of research. Despite the time, there is a rather solid group of enthusiasts in Europe researching encryption technology, which pays heightened attention to the devices used during the Second World War [1, 2]. Along with the well-known Enigma portable encryption device in Germany, the Lorentz stationary teleprinter encryption machine was actively used [3]. Despite the similarity of the design, the Lorentz machine was working on a different principle. The machine worked on the use of additive encryption method Teletext messages, invented in 1917 in the US AT & T staff by Major Joseph Moborn and Hilbert Vernam. Easy Vernam system [4, 5, 6] was that encoded characters were added to ciphertext symbols as the term modulo 2. Exactly the same characters as added by adding modulo 2 to the received encrypted character repeal encrypted characters and leave original message symbols that can then be printed. A significant advantage of the Vernam's cipher is that encoding ciphertext coincides with the decoding ciphertext.

The Vernam's cipher is an encryption system for which absolute cryptographic stability is proved, with the use of three critical properties – ciphertext must:

- be accidental;
- coincide in size with given open text;
- be applied only once (virtually ciphertext was made in the form of a looped notification with relatively simple periods).

The Lorenz encoding machine worked with five-digit characters, which allowed the 32-character alphabet to be served. In this encryption encoding contains the same number of characters.

The construction of digital counterparts of the Lorenz encryption machine, which would have better index of cryptostability, is **an actual task** in the development of modern digital encryption devices.

Analysis of recent researches and publications. The construction of the Lorentz stationary teleprinter encryption machine is a classic one [7, 8, 9]. It has been used for a long time as the basis for the creation and further modernization of new constructions of stationary symbolic encryption devices.

Formulating the goals of the article. The purpose of the article is to implement one of the options for upgrading the Lorentz encryption machine. It involves a construction in which ciphertext indicates a variant of combinatorial replacement of one character to another. When encoding the text for each next character, a new variant of the combinatorial character-replacement is given – a kind of analogue of the overlapping of characters of the input text with encryption coding.

Presenting main material. Setting up the task of constructing a device model: You need to get a model of an encryption device that would execute character encryption given by three-bit binary codes, using for each next character a new encryption key (example of one of the keys, see Table 1), and used the same encryption encoding both for encrypting characters and for decrypting. The alphabet of three-digit binary symbols has 8 random characters, for example, $y \in \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$. As a result of encryption, an encrypted message is received, consisting of characters of the same alphabet.

Table 1

Example of combinatorial replacement of characters in encryption

№	Full alphabet of unencrypted text				Encrypted text				Combinatorial variant of symbols replacement
	Characters of plain text	Three-bit binary codes			Three-bit binary codes			Encrypted text characters	
1	0	0	0	0	1	1	0	6	0→6
2	1	0	0	1	0	1	1	3	1→3
3	2	0	1	0	0	0	1	1	2→1
4	3	0	1	1	1	0	0	4	3→4
5	4	1	0	0	0	0	0	0	4→0
6	5	1	0	1	0	1	0	2	5→2
7	6	1	1	0	1	1	1	7	6→7
8	7	1	1	1	1	0	1	5	7→5
		↑ a_0^{Cd}	↑ a_1^{Cd}	↑ a_2^{Cd}	↑ f_0^{Cd}	↑ f_1^{Cd}	↑ f_2^{Cd}		
		Columns unencrypted three-bit binary codes			Columns of encrypted three-bit binary codes – encryption functions				

For this method of encryption there are ***n!=8!=40 320*** variants of combinatorial replacement of symbols. That is, in other words, the ciphertext alphabet encoding consists of *40 320* characters – the current encryption keys, which is greater in ***(n-1)!*** fold compared to Vername's cipher, and, accordingly, improves the quality of encryption.

An encryption option is defined by a system of encryption functions:

$$y_{Cd} = \begin{cases} f_0^{Cd} \\ f_1^{Cd} \\ f_2^{Cd} \end{cases} = \begin{cases} F_0(a_0^{Cd}, a_1^{Cd}, a_2^{Cd}) \\ F_1(a_0^{Cd}, a_1^{Cd}, a_2^{Cd}) \\ F_2(a_0^{Cd}, a_1^{Cd}, a_2^{Cd}) \end{cases} \quad (1)$$

This encryption option (see Table 1) has a 24-bit binary number of the current encryption key, which for this case is:

$$110010010110001111000110_{BIN}=C963C6_{HEX} \quad (2)$$

The decryption operation consists in restoring the original text and is executed in inverse order (see Table 2).

The decryption option is determined by the system of decrypting functions:

$$y_{Dcd} = \begin{cases} f_0^{Dcd} \\ f_1^{Dcd} \\ f_2^{Dcd} \end{cases} = \begin{cases} F_0(a_0^{Dcd}, a_1^{Dcd}, a_2^{Dcd}) \\ F_1(a_0^{Dcd}, a_1^{Dcd}, a_2^{Dcd}) \\ F_2(a_0^{Dcd}, a_1^{Dcd}, a_2^{Dcd}) \end{cases} \quad (3)$$

Table 2

An example of combinatorial substitution of characters when decoding

No. in order	Full alphabet of encrypted text				Decrypted text				Combined variant of encryption-decryption of characters
	Encrypted text characters	Three-bit binary codes			Three-bit binary codes			Decrypted text symbols	
1	0	0	0	0	1	0	0	4	4→0→4
2	1	0	0	1	0	1	0	2	2→1→2
3	2	0	1	0	1	0	1	5	5→2→5
4	3	0	1	1	0	0	1	1	1→3→1
5	4	1	0	0	0	1	1	3	3→4→3
6	5	1	0	1	1	1	1	7	7→5→7
7	6	1	1	0	0	0	0	0	0→6→0
8	7	1	1	1	1	1	0	6	6→7→6
		↑ a_0^{Dcd}	↑ a_1^{Dcd}	↑ a_2^{Dcd}	↑ f_0^{Dcd}	↑ f_1^{Dcd}	↑ f_2^{Dcd}		
		Columns of encrypted three-bit binary codes			Columns of decrypted three-bit binary codes – decryption function				

The decryption option has a binary number – the current decryption keys (see Table 2), which for this case is:

$$10100101101100100011110 0_{BIN}=A5B23C_{HEX} \quad (4)$$

As a result, in this design, ciphertext encoding and ciphertext decoding (formulas 2 and 4) are different. In this case, the design of the device is complicated. An encryption machine must have two ciphertext at once: encoding – for encryption of texts, and decoding – for decoding texts. Between ciphertext decoding and encoding there is some combinatorial functional dependence.

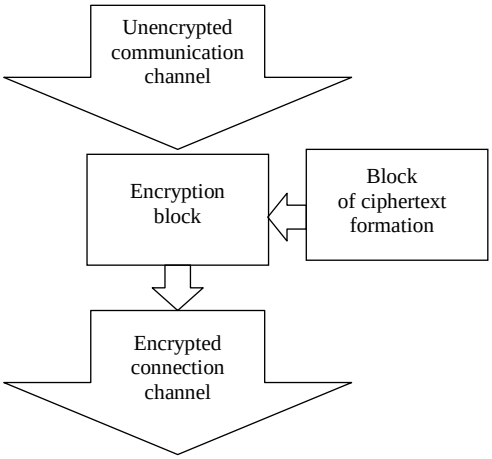


Fig. 1. Blocks for text encryption

In order to unify the blocks, the structure of the receiving and transmitting part of the device must have the same type of block. The encryption device should consist of two parts – the system of blocks for encrypting the text (see Fig. 1) and the system of blocks for decrypting the text (see Fig. 2).

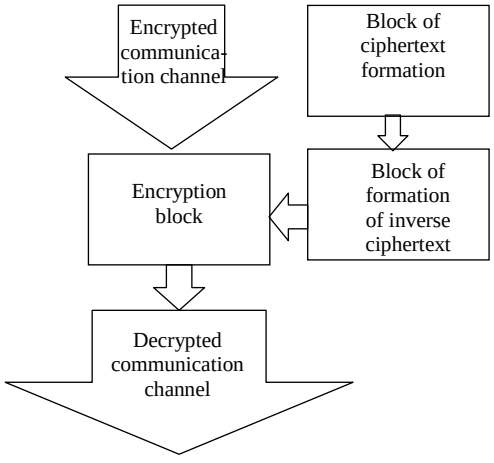


Fig. 2. Blocks for text decrypting

The difference between transmitting and receiving parts consists in the presence of the texts of the block of inverse ciphertext formation in the presence of decrypting. This block is intended for automatic generation of the current decryption ciphertext based on the current ciphertext encoding.

The purpose of this article is to develop a schematic diagram of one of the blocks of this model encryption device – ***the block of inverse ciphertext formation***.

Table 3

A truth table that describes the work of the block of inverse ciphertext formation

Line number of the truth table	Lines of arguments			Lines of functions		
	f_0^{Cd}	f_1^{Cd}	f_2^{Cd}	f_0^{Dcd}	f_1^{Dcd}	f_2^{Dcd}
	x_{24} - x_{17}	x_{16} - x_9	x_8 - x_1	y_1 - y_8	y_9 - y_{16}	y_{17} - y_{24}
0	0000 0000	0000 0000	0000 0000	**** ****	**** ****	**** ****
1	0000 0000	0000 0000	0000 0001	**** ****	**** ****	**** ****
2	0000 0000	0000 0000	0000 0010	**** ****	**** ****	**** ****
…	…	…	…	…	…	…
13198278	1100 1001	0110 0011	1100 0110	1010 0101	1011 0010	0011 1100
…	…	…	…	…	…	…
16777213	1111 1111	1111 1111	1111 1101	**** ****	**** ****	**** ****
16777214	1111 1111	1111 1111	1111 1110	**** ****	**** ****	**** ****
16777215	1111 1111	1111 1111	1111 1111	**** ****	**** ****	**** ****

The purpose of this block is to automatically receive encryption based on encryption ciphertext decoding. Between ciphertext encoding and decoding there is a clear relationship – one encoding version corresponds to one decoding version. This dependence is combinatorial. It can not be described by a mathematical formula, but it can be described by a logical formula.

If we take encoding ciphertext as an argument, and decoding ciphertext as a result, we obtain the truth table of the system of partially defined Boolean functions, which contains 24 arguments and, accordingly, 24 functions of the results.

The task of constructing a block of inverse ciphertext formation consists of several stages, the most difficult of which is minimization of the system of partially defined Boolean functions (see Fig. 3 and Table 3). To solve this problem, a special program complex has been constructed, in which method [10] is used for minimization.

The algorithm of the program complex consists of such key parts (see Fig. 3).

As a result of application of the software complex, the principle electric circuit of the block is calculated, which automatically calculates the current decoding ciphertext value based on the input current encoding value.

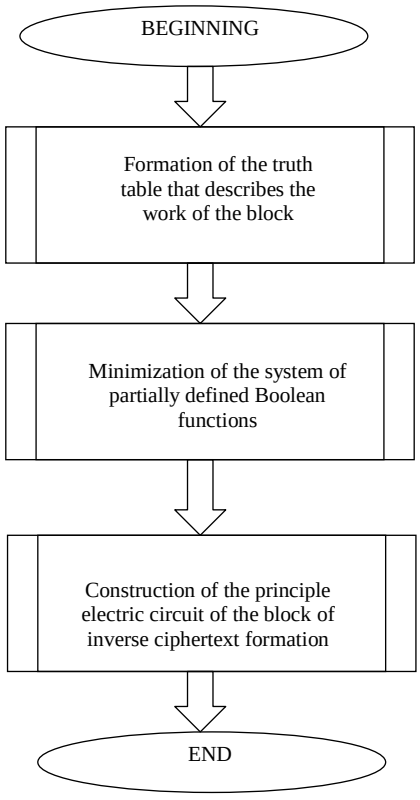


Fig. 3. Algorithm structure of the software complex for obtaining the principal scheme of the block of inverse ciphertext formation

Of the *16 777 216* lines of the truth table, there are *40 320* lines. Therefore, despite the large size of the truth table, due to the large level of minimization the result of the calculation is quite acceptable for practical implementation.

Conclusions:

For realization and achievement of the research purposes in this article the following is done:

1. The scheme of the encryption device is developed, which is the implementation of one of the variants of modernization of the Lorenz encryption machine, which works the same way, but does not use the Vernam's cipher. The developed device also has absolute cryptographic stability, subject to conditions similar to those of Lorenz.
2. The advantage of the proposed encryption device condidts in the use of a much more powerful ciphertext alphabet. It contains ***n!*** symbols of ciphertext, and not ***n***, as in the Vernam's cipher (where ***n*** is the number of characters of the main alphabet of the text). This significantly increases the cryptostability of the system.
3. In the design of the proposed encryption device, the ciphertext encoding is not equal to ciphertext decoding. Therefore, to unify receiving and transmitting parts of the device in its design, it is offered to enter an additional block – the block of inverse ciphertext formation.
4. A special program complex has been developed, on the basis of which the basic electric circuit of the block of inverse ciphertext formation is calculated.

References

1. Ulbricht, Heinz (2005) Die Chiffriermaschine Enigma — Trügerische Sicherheit: Ein Beitrag zur Geschichte der Nachrichtendienste, PhD Thesis. Online version.
2. Kahn, David (1991) Seizing the Enigma: the race to break the German U-boats codes, 1939–1943. ISBN 0-395-42739-8.
3. Davies, Donald W. (1998) The Lorenz cipher machine SZ42, (reprinted in Selections from Cryptologia: History, People, and Technology, Artech House, Norwood.
4. Fomichyov, V. M. (2013) Discrete mathematics and cryptology: course of lectures. In: N. D. Podufalov (ed.). Moscow: Dialogue-MIFI, pp. 239–246. ISBN 978-5-86404-185-7 [in Russian].
5. Gabidulin, E. M., Kshevetsky, A. S., Kolybelnikov, A. I. (2011) Information protection: a manual. Moscow: MFTI, 225 p. ISBN 978-5-7417-0377-9 [in Russian].
6. Babash, A. V., Golev, Yu. I., Larin, D. A. et al. (2004) Cryptographic ideas of the XIX century. *Information Protection.* Confidant – St. Petersburg, iss. 3 [in Russian].
7. Churchhouse, R. (2002) Codes and ciphers: Julius Caesar, the Enigma and the Internet. Cambridge: Cambridge University Press, 240 p. ISBN 978-0-521-81054-8, 978-0-521-00890-7.
8. Copeland, J. (2006) The German Tunny machine. Colossus: The secrets of Bletchley Park's code-breaking computers. Oxford: Oxford University Press, 480 p. ISBN 978-0-19-284055-4
9. Davies, D. (1998) The Lorenz cipher machine SZ42. *Selections from Cryptologia: History, People, and Technology*. Norwood: Artech House, 552 p. ISBN 978-0-89006-862-5
10. Burmistrov, S. V., Piven, O. B. (2015) Matrix method of parallel decomposition as a generalized method of minimization in an orthogonal form of representation. *Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*: sci. and tech. journal, No. 4 (21), pp. 151–157 [in Ukrainian].

С. В. Бурмістров[2]**,** *к.т.н.,*
e-mail: sergijburmistrov@yandex.ua
О. М. Панаско[1]**,** *к.т.н., доцент,*
e-mail: lena.pa@ukr.net
О. Д. Лайтаров[2]**,** *студент 6-го курсу*
e-mail: vendenta95@gmail.com
[1]Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, Україна, 18006
[2]Київський національний університет технологій та дизайну
вул. В. Чорновола, 241, м. Черкаси, Україна, 18028

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПОСИМВОЛЬНИХ ШИФРУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ АНАЛОГУ ШИФРУ ВЕРНАМА

В статті розроблено функціональну схему шифрувального пристрою, що є реалізацією одного з варіантів модернізації німецької стаціонарної шифрувальної машини Лоренца. Пристрій працює шляхом накладання шифротексту на основний текст сповіщень. Має абсолютну криптографічну стійкість за умови використання умов, аналогічних умовам експлуатації Лоренци, але при цьому не використовує систему шифрування Вернама.

Перевагою запропонованого посимвольного шифрувального пристрою є значно потужніший алфавіт шифротексту. Він складається в ***(n-1)!*** *раз більше символів, ніж в шифрі Вернама, що суттєво підвищує його криптостійкість.*

У конструкції запропонованого шифрувального пристрою шифротекст кодування не дорівнює шифротексту декодування. Тому для уніфікації прийомної і передаючої частини пристрою в його конструкцію запропоновано ввести додатковий блок – блок формування зворотного шифротексту, який автоматично формує шифротекст кодування на основі шифротексту декодування.

Основою вказаного проекту є розроблений спеціальний програмний комплекс для розрахунку принципової електричної схеми блоку формування зворотного шифротексту.

Ключові слова: *стаціонарна телепринтерна шифрувальна машина – Лоренца, система Вернама, шифротекст кодування, шифротекст декодування, блок формування зворотного шифротексту.*

УДК 005.8

Н. В. Гурець, *старший викладач*
кафедри екології та природоохоронних технологій
e-mail: natalya.gurets@nuos.edu.ua
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
пр-т. Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ У МУНІЦИПАЛЬНИХ УТВОРЕННЯХ

На сучасному етапі розвитку суспільства найбільш гострими проблемами муніципальних утворень є екологічні, пов'язані з надмірною концентрацією на обмежених територіях населення, транспорту і промислових підприємств. Одним із ефективних шляхів вирішення вищезазначених проблем є реалізація місцевими адміністраціями проектів впровадження системи екологічного менеджменту, які дозволяють зменшувати негативний вплив на довкілля при одночасній економії фінансових та матеріальних ресурсів. У статті розглянуто сутність та класифікаційні характеристики проекту впровадження системи екологічного менеджменту; визначено мету, продукт та основні ризики при його реалізації, виокремлено особливості управління проектом саме у муніципальних утвореннях. Проведений аналіз доводить необхідність застосування методів превентивного управління при підготовці та реалізації проекту впровадження системи екологічного менеджменту, обов'язкового включення до проекту методів управління витратами ресурсів і енергії та врахування інтересів зацікавлених сторін проекту на всіх стадіях життєвого циклу.

Ключові слова: *система екологічного менеджменту, проект впровадження системи екологічного менеджменту, організаційний проект, зацікавлені сторони проекту.*

Вступ. Різке погіршення стану навколишнього середовища на території муніципальних утворень внаслідок збільшення виробничих потужностей нових виробництв та загострення їх впливу на природу; зростання чисельності населення та збільшення обсягів утворення небезпечних відходів, збільшення чисельності автотранспорту викликає необхідність впровадження системи екологічного менеджменту (СЕМ) в управління муніципальним утворенням.

Впровадження екологічного менеджменту у муніципальних утвореннях здійснюється шляхом розробки та реалізації проектів СЕМ. Тому дослідження особливостей управління проектами впровадження екологічного менеджменту у муніципальних утвореннях є доволі актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню процесу розробки, впровадження та функціонування системи екологічного менеджменту присвячені праці таких вчених, як О. В. Астафьєва [1], Ю. В. Бабина, Г. В. Белов, І. І. Дуднікова, Л. Н. Бельдеєва, А. Л. Бобровський, Є. А. Варфоломєєва, С. Є. Дерягина [1], Л. Ф. Кожушко, Л. А. Кормина, Л. В. Купреєва, С. І. Лебедевич, Ю. М. Мельник, В. О. Мартиненко [3], І. В. Ремешевська, М. З. Свиткин, Н. В. Селіванова, Т. А. Трифонова, Т. Б. Харченко та ін. Так, в роботах [1, 3] обґрунтовано доцільність та переваги впровадження СЕМ у структурі муніципального управління. Проте в більшості наукових праць розглядається питання функціонування і впровадження екологічного менеджменту переважно на промислових підприємствах.

Питанням управління проектами в екологічній сфері присвячені роботи таких українських вчених, як Н. О. Гавадзин [2], М. М. Олексієнко [4], Ю. А. Петренко, Ю. П. Рак, В. А. Рач, О. В. Росошанська, С. В. Руденко [5], Ю. Н. Харитонов, В. О. Хрутьба [8] та ін. Серед зарубіжних вчених у цьому напрямку проводили дослідження B. Ackles, M. Chaerul, J. Nouri, N. Panya [9], M. Tanaka, S. Toutounchian, D. Shirley, A. J. G. Silvius, M. S. Reed [10], C. P. Vorratnchaiphan, F. V. Malmborg.

В роботі [2] запропоновано технології управління екологічними проектами, які можуть попереджувати, ефективно регулювати чи вирішувати еколого-економічні проблеми. Дослідженню системності екологічних проектів та застосуванню проактивного під-

ходу до побудови системи управління екологічним проектом присвячена робота [4]. У праці [5] проводиться оцінювання результатів екологічних проектів. Висвітленню проблеми участі зацікавлених сторін у створенні і реалізації проектів екологічного менеджменту присвячено роботи [6], [10]. Креативну модель проекту впровадження системи екологічного менеджменту транспортного підприємства представлено у роботі [8]. Таким чином, проведений аналіз показує, що дослідження управління проектом впровадження СЕМ на рівні муніципального утворення практично відсутні.

Метою статті є визначення мети, завдань та основних класифікаційних характеристик проекту впровадження СЕМ, висвітлення основних зацікавлених сторін та особливостей управління таким проектом.

Викладення основного матеріалу. Останнім часом у зв'язку зі зростанням законодавчих вимог та підвищенням зацікавленості громадськості у питаннях збереження довкілля все більшу роль у процесі управління муніципальними утвореннями відіграють проекти екологічного спрямування. Серед них важливе місце займають проекти впровадження СЕМ.

Процес створення і впровадження СЕМ в організації згідно зі стандартом ISO 14000 [7] включає розробку екологічної політики, з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін; оцінювання існуючої ситуації; встановлення характеристик діяльності, що підлягають поліпшенню; розробку екологічної програми, що деталізує шлях і стадії вирішення поставлених завдань; практичне втілення запланованої діяльності; проведення моніторингу, коригувальних дій, аналізу і аудиту; проведення аналізу з боку керівництва з метою забезпечення постійного вдосконалення СЕМ.

В результаті впровадження проектів СЕМ знижується рівень забруднення викидами та скидами шкідливих речовин; спостерігається економія енергії і природних ресурсів, а відповідно і коштів організації; поліпшується стан навколишнього середовища; посилюється «зелений» імідж організації; покращуються взаємовідносини між різними групами місцевих мешканців.

Процес реалізації проекту впровадження СЕМ передбачає пошук відповідності між ключовими елементами організації, такими як структура, персонал, завдання, система рішень і заохочень, культура та її стратегія у напрямку досягнення успіху, тому за характером та сферою діяльності такий проект належить до організаційного типу. Інші класифікаційні характеристику проекту надані в табл. 1.

Продуктом проекту виступає діюча в організації СЕМ або Сертифікат системи екологічного менеджменту, який підтверджує її наявність. Крім того, важливо забезпечити реалізацію принципу постійного вдосконалення протягом всього життєвого циклу проекту.

Таблиця 1

Класифікаційні характеристики проекту впровадження СЕМ

Критерій для класифікації	Класифікаційна ознака	Належність проекту впровадження СЕМ до категорії	Підстави вибору категорії
Клас проекту	За складом та структурою проекту	Мультипроект	Комплексний проект організації, який складається з декількох монопроектів впровадження СЕМ у її підрозділах
Тип проекту	За основними сферами діяльності, в яких здійснюється проект	Організаційний	В загальну систему управління інтегрується СЕМ, яка включає організаційну структуру, діяльність із планування, обов'язки, відповідальність, досвід, методи, методики, процеси і ресурси для розробки, здійснення й аналізу екологічної політики
Вид проекту	За характером цільового завдання	Реорганізаційний	Спостерігається реорганізація існуючої системи управління

Продовження табл. 1

Тривалість проекту	За тривалістю періоду реалізації проекту	Короткостроковий	Реалізується протягом 1-2 років
Масштаб проекту	За обсягом робіт	Середній	Супроводжується реалізацією новітніх завдань у сфері управління довкіллям, потребує застосування сучасних знань, високого професійного рівня управлінської команди та ретельної підготовки всіх його складових.
Складність проекту	За ступенем складності реалізації проекту	Організаційно складний проект	
Характер змін проекту	За характером змін	Стратегічний	Впливає на концептуальні позиції організації

Проекти впровадження СЕМ в органах місцевого самоврядування та на комунальних підприємствах, як правило, реалізуються в умовах наявності незначних фінансових ресурсів, а членами команди проекту стають співробітники відповідної організації, які суміщають роботу по проекту зі своїми основними функціональними обов'язками, тому типовими обмеженнями таких проектів є обмеження бюджету, кількості людських ресурсів та відповідно обсягу роботи, який може виконати команда.

Важливу роль для успішної реалізації проекту впровадження СЕМ у муніципальному утворенні відіграє аналіз та ідентифікація зацікавлених сторін, що дозволяє досягти задоволення їхніх потреб, особливо, якщо в проекті проявляються різні групи зацікавлених сторін з різними, а іноді навіть протилежними, інтересами, що створює певні перешкоди в реалізації проекту [6, 10]. Зацікавлені сторони проекту зображено на рис. 1.

Рис. 1. Зацікавлені сторони проекту впровадження СЕМ

На рівні муніципального утворення в проекті впровадження СЕМ керівництво місцевої адміністрації або комунального підприємства виступає як інвестор, замовник та користувач проекту одночасно. В ролі інвестора керівництво відповідних організацій виділяє ресурси для проекту і впливає на формування проектної команди, в ролі замовника – отримує результат реалізації проекту, тобто діючу СЕМ, яку має можливість використовувати як

користувач, отримуючи всі переваги від її впровадження. Якщо керівництво вищезазначених організацій для реалізації проекту бере участь у грантових програмах або отримує позику у відповідних установах, то організації, що надають гранти або позики, також виступають в ролі інвесторів.

Однією з особливостей реалізації проекту впровадження СЕМ на рівні муніципального утворення є також той факт, що користувачами також виступають місцеві спільноти, тобто групи людей, які проживають на одній території. До них, в свою чергу, можна віднести цільові групи: місцеві спільноти як такі; органи державного управління в екологічній сфері; громадські організації, які формують суспільну думку.

Місцеві спільноти представлені населенням, що проживає на території муніципального утворення. До органів державного управління в екологічній сфері можна віднести управління екології та природних ресурсів облдержадміністрації, головні управління Державної служби надзвичайних ситуацій України в областях, обласні управління Державної служби з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів.

Громадські організації зазвичай представлені чисельними групами соціально активних громадян, які мають на меті певні політичні, соціальні або інші цілі. До них належать місцеві осередки політичних партій та різноманітні спілки громадян (наприклад організації типу «зелених»). Взаємодія з громадськими організаціями реалізується шляхом проведення опитувань, круглих столів або конференцій за визначеною проблематикою.

Керівником (менеджером) проекту впровадження СЕМ, який відповідає за управління проектом та його результати, може бути співробітник місцевої адміністрації або комунального підприємства, а також депутат місцевої ради, наприклад голова постійної депутатської комісії з екологічних питань. Під його керівництвом формується команда проекту, до якої входять фахівці відповідних організацій, депутати місцевих рад, члени виконкомів, представники громадських організацій, наукових установ, які працюють над реалізацією проекту і представляють інтереси різних зацікавлених сторін проекту.

Серед інших зацікавлених сторін проекту можна виділити підприємства-партнери, які виконують різноманітні види робіт з проектування, будівництва, експлуатації обладнання та матеріально-технічного забезпечення проекту, а також засоби масової інформації.

Створення і впровадження системи екологічного менеджменту всередині організації приводить до змін організаційного характеру, тому до зацікавлених сторін також слід відносити співробітників місцевих адміністрацій або комунальних підприємств.

Основними особливостями проектів впровадження СЕМ є те, що прийняття стратегічних рішень визначається відповідно до стратегії сталого розвитку, за якої досягається задоволення життєвих потреб нинішнього покоління без позбавлення майбутніх поколінь таких можливостей унаслідок вичерпання природних ресурсів і деградації навколишнього природного середовища [8, 11].

Реалізація проекту впровадження СЕМ пов’язана з перерозподілом обов’язків у загальній системі управління організацією. У зв’язку з цим можливе виникнення організаційних ризиків, які пов’язані з помилками в роботі менеджера проекту або членів команди проекту та з внутрішнім опором організаційним змінам. Також у такому проекті важче, ніж в інших типах проектів, визначити кількісно і якісно результати, тому що вони пов’язані, як правило, з організаційним поліпшенням системи.

Висока вірогідність виникнення політичних ризиків є ще однією особливістю вищезазначених проектів. Такі ризики можуть бути проявлені у змінах керівництва місцевої адміністрації та змінах складу депутатського корпусу, що може призвести до зміни стратегічних напрямів розвитку організації в цілому. Також у процесі реалізації проектів впровадження СЕМ на рівні муніципальних утворень можуть бути задіяні різні суспільні групи, які проявляють потенційну зацікавленість діяльністю органів місцевого самоврядування або комунальних підприємств, тому слід проводити всебічний аналіз та ідентифікацію пов’язаних з ними зовнішніх ризиків.

Необхідною умовою проекту впровадження СЕМ є врахування місцевих природних, соціальних та економічних особливостей території муніципального утворення в межах конкретних об’єктів та середовища, що їх оточує. Також на стадії розробки проекту важливим моментом є той аспект, що ліквідація прямих або опосередкованих наслідків негативного впливу на довкілля коштує набагато

дорожче, ніж проведення превентивних заходів з охорони навколишнього середовища.

Процес реалізації проектів впровадження СЕМ супроводжується створенням нової організаційної структури, враховуючи при цьому як зміни внутрішніх факторів, так і розвиток зовнішнього середовища організації. Для створення ефективної структури управління визначається таке співвідношення її організаційних елементів, при якому найбільш оперативно і своєчасно виконуються вимоги об'єкта управління при забезпеченні широкої взаємодії із зовнішнім середовищем.

Також як особливості управління проектом впровадження СЕМ можна відзначити застосування методів превентивного управління, які ґрунтуються на проведенні заходів щодо ідентифікації, оцінювання та управління ризиками в процесі реалізації проекту. Додаткове проведення якісного моніторингу ризиків забезпечує управління інформацією, яка допомагає приймати ефективні рішення до настання ризикових подій. Окремо відзначимо необхідність застосування методів подолання опору змінам в організації.

Крім того, обов'язковими складовими процесу управління таким проектом є управління витратами і збереженням ресурсів, їх раціональний вибір і транспортування та управління витратами енергії, вибір джерел енергозабезпечення, енергозбереження.

Процеси управління змінами стану довкілля включаються до всіх стадій життєвого циклу проекту, а вплив на стан довкілля враховується для всіх предметних груп управління проектом [8, 9]. При виборі управлінських дій слід керуватися їх еколого-економічною ефективністю та вимогами стандарту в сфері екологічного менеджменту ISO 14000. Також слід зауважити, що ефективна реалізація проектів впровадження СЕМ вимагає наявності різноманітних форм активної роботи із зацікавленими сторонами, таких як: визначення їх основних ключових проблем, точок зіткнення інтересів, обмежень і можливостей, вивчення наявних матеріалів, проведення додаткових досліджень, контактів і обговорень із зацікавленими сторонами.

Таким чином, на рівні муніципального утворення метою такого проекту може виступати впровадження СЕМ у діяльність комунального підприємства або окремого підрозділу місцевої адміністрації та сертифікація СЕМ відповідного підприємства (підрозділу) згідно з вимогами стандарту ISO 14000.

Реалізація встановленої мети проекту потребує виконання наступних завдань:

1. Розробити екологічну політику підприємства (підрозділу).
2. Провести ідентифікацію та оцінку значних екологічних впливів підприємства (підрозділу).
3. Розробити програму впровадження СЕМ.
4. Провести навчання працівників підприємства (підрозділу).
5. Мінімізувати опір організаційним змінам на підприємстві (в підрозділі).
6. Мінімізувати зовнішні і внутрішні ризики.
7. Провести екологічний аудит.
8. Провести аналіз СЕМ керівництвом підприємства.
9. Розробити та впровадити коригувальні дії.

Висновки. В сучасних умовах реалізація проекту впровадження СЕМ на рівні муніципального утворення дозволяє створити якісну місцеву систему управління екологічною діяльністю при одночасному зменшенні негативного впливу на довкілля та економії природних ресурсів. Визначено мету, основні завдання та кваліфікаційні характеристики проекту впровадження СЕМ. До основних зацікавлених сторін такого проекту належать керівництво та співробітники місцевої адміністрації, місцеве населення, громадські організації, органи управління в екологічній сфері.

Серед особливостей управління проектами впровадження СЕМ можна виділити застосування методів превентивного управління, обов'язкове включення до проекту методів управління витратами ресурсів і енергії та врахування процесів управління змінами стану довкілля на всіх стадіях життєвого циклу.

Також основними ризиками реалізації такого проекту є організаційні ризики, політичні ризики, ризики, пов'язані з суспільними групами, та опір організаційним змінам, тому одним із ключових моментів успіху реалізації проекту впровадження СЕМ є робота із зацікавленими сторонами.

Список літератури

1. Астафьева О. В., Дерягина С. Е. Внедрение системы экологического менеджмента

в органах местного самоуправления. *Лидерство и менеджмент*. 2018. № 4. Т. 5. URL: https://creativeconomy.ru/lib/39515 (дата звернення: 02.10.2018).
2. Гавадзин Н. О. Аспекти управління реалізацією екологічних проектів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*. Ужгород, 2015. Вип. 1 (1). С. 110–112.
3. Мартиненко В. О. Екологічний менеджмент як нова парадигма муніципального управління. *Теорія та практика державного управління:* зб. наук. праць ХарРІ НАДУ при Президентові України. Харків, 2009. № 2 (25). С. 116–120.
4. Олексієнко М. М. Проактивний підхід до управління екологічними проектами. *Управління розвитком складних систем:* зб. наук. праць КНУБА. 2013. № 14. URL: http://journals.uran.ua/urss/article/view/40991/37313 (дата звернення: 16.08.2018).
5. Руденко С. В. К вопросу оценки результатов природоохранного проекта на основе принципов ценностного подхода. *Проблеми техніки:* наук.-вироб. журн. Одеса, 2010. № 4. С. 48–59.
6. Смоленніков Д. О. Роль стейкхолдерів у запровадженні екологічної відповідальності підприємств. *Вісник СумДУ. Серія: Економіка.* Суми, 2015. № 4. С. 12–16.
7. ДСТУ ISO 14001 : 2006. Системи екологічного управління. [Чинний з 2006-05-15]. Київ, 2006. 7 с. (Вимоги і керівництво з використання).
8. Хрутьба В. О. Креативна модель проекту впровадження системи екологічного менеджменту транспортного підприємства. *Східно-Європейський журнал передових технологій.* 2013. № 1/10 (61). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=19067361 (дата звернення: 15.07.2018).
9. Panya N. et al. The performance of the environmental management of local governments in Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences.* 2018. No. 39. P. 33–41. URL: https://reader.elsevier.com/reader/sd/5EF491FB30456BC9F327ED101A9EA1A942220CBF2EECF9390115006DA339A7001EDC44899BFC8505E3F50E051940404C (Last accessed: 25.10.2018).
10. Reed M. S. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological conversation.* 2008. № 141. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/384f/a08818e5b561453a2f86ce521ff8fc12c9b1.pdf (Last accessed: 21.10.2018).
11. Устойчивое развитие предприятия, региона, общества: инновационные подходы к обеспечению: монография / под общ. ред. О. В. Прокопенко. Польща: Drukarnia i Studio Graficzne Omnidium, 2014. 474 с.

References

1. Astafyeva, O. V., Deriahyna, S. E. (2018) Implementation of the system of ecological management in local government bodies. *Liderstvo i menedzhment*, No. 4, vol. 5. URL: https://creativeconomy.ru/lib/39515 (Last accessed: 02.10.2018) [in Russian].
2. Havadzyn, N. O. (2015) Aspects of management by the implementation of environmental projects. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriia: Ekonomika.* Uzhhorod, iss. 1 (1), pp. 110–112 [in Ukrainian].
3. Martynenko, V. O. (2009) Ecological management as a new paradigm of municipal governance. *Teoriia ta praktyka derzhavnoho upravlinnia: c*oll. of sci. works of KharRI NAGM under the President of Ukraine. Kharkiv, No. 2 (25), pp. 116–120 [in Ukrainian].
4. Oleksiienko, M. M. (2013) Proactive approach to managing environmental projects. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system: c*oll. of sci. works of KNUBA, No. 14. URL: http://journals.uran.ua/urss/article/view/40991/37313 (Last accessed: 16.08.2018) [in Ukrainian].
5. Rudenko, S. V. (2010) On the issue of assessing the results of the environmental project based on the principles of value approach. *Problemy tekhniky:* sci. and production journ. Odesa, No. 4. pp. 48–59 [in Russian].
6. Smolennikov, D. O. (2015) The role of stakeholders in the implementation of environmental responsibility of enterprises. *Visnyk SumDU. Seriia: Ekonomika.* Sumy, No. 4, pp. 12–16 [in Ukrainian].
7. DSTU ISO 14001 : 2006. Environmental management systems. [Effective from 2006-05-15]. Kyiv, 7 p. (Requirements and usage guidelines) [in Ukrainian].
8. Khrutba, V. O. (2013) Creative model of the implementation project of the environmental

management system of the transport enterprise. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, No. 1/10 (61). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=19067361 (Last accessed: 15.07.2018) [in Ukrainian].
9. Panya, N. et al. (2018) The performance of the environmental management of local governments in Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, No. 39, pp. 33–41. URL: https://reader.elsevier.com/reader/sd/5EF491FB30456BC9F327ED101A9EA1A942220CBF2EECF9390115006DA339A7001EDC44899BFC8505E3F50E051940404C (Last accessed: 25.10.2018).
10. Reed, M. S. (2008) Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological conversation*, No. 141. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/384f/a08818e5b561453a2f86ce521ff8fc12c9b1.pdf (Last accessed: 21.10.2018).
11. Prokopenko, O. V. (ed.) (2014) Sustainable development of an enterprise, region, society: innovative approaches to provision: monograph. Poland: Drukarnia i Studio Graficzne Omnidium, 474 p. [in Russian].

N. V. Gurets, *senior lecturer*
of the Ecology and Environmental Technologies Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroes of Ukraine ave., 9, Mykolaiv, Ukraine
e-mail: natalya.gurets@nuos.edu.ua

PROJECT MANAGEMENT OF IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM IN MUNICIPAL INSTITUTIONS

Environment sharp deterioration on municipalities' territory as a result of increased production capacity of new productions and aggravation of their impact on nature; the population growth and the increase in hazardous waste production volume, the rise of the vehicles number causes the need for the implementation of environmental management system in municipal management. The process of environmental management system creating and implementing in the municipal administration involves the development of environmental policy, taking into account the interests of all stakeholders; assessment of the current situation; establishing performance characteristics to be improved; development of ecological program; practical implementation of the planned activity; monitoring, corrective action, analysis and audit.

The purpose of the article is to determine the aim, tasks and main classification characteristics of the environmental management system implementation project, coverage of key stakeholders and management features of such a project. The essence of the project of implementation of environmental management system is described, its classification is determined, the project constraints and possible risks are identified. The aim and main objectives of the project are formulated.

Analysis of the environmental management system implementation project stakeholders in municipality play an important role for the success of the project, therefore the article outlines the main stakeholders of the project and the risks associated with them. The identified features of project management of implementation of environmental management system point to the need for the use of preventive management in the process of its implementation, mandatory inclusion in the project of the methods of work with stakeholders and taking into account the processes of managing by environmental changes at all stages of the life cycle.

Keywords: *ecological management system, project of implementation of ecological management system, organizational project, project stakeholders.*

УДК 005.8:005.41

О. В. Єгорченков[1], *к.т.н., доцент,*
e-mail: alexee@ukr.net
Є. Ю. Катаєва[2], *к.т.н., доцент,*
e-mail: kataevae@ukr.net
Ю. Л. Хлевна[1], *к.т.н.*
e-mail: yuliya.khlevna@gmail.com
[1]Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 60/13, м. Київ, 01601, Україна
[2]Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна

ПОНЯТІЙНИЙ АПАРАТ УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЕКТІВ І ПРОГРАМ В 4П-СЕРЕДОВИЩІ

Одна з проблем сучасного проектного менеджменту полягає в тому, що зазвичай на підприємствах для управління проектами використовуються різні інструментальні програмні засоби, які вирішують різні функціональні задачі: планування, контролю, економічної та фінансової оцінки та ін. Традиційно задачі інтеграції інформації в таких системах розглядаються в рамках способів управління інформаційним зв'язком у проектах. Однак з підвищенням рівня інформатизації проектно-орієнтованих підприємств використання різноманітних інформаційних систем для вирішення функціональних задач виявляється недостатньо. Тому в статті пропонується створити концепцію управління портфелями проектів і програм проектно-орієнтованих підприємств, яка об'єднує сфери управління проектами і організаціями в єдине функціональне середовище – 4П-середовище. Науково-методологічний базис побудови 4П-середовища необхідний для того, щоб на основі розроблених моделей і методів створювати структури, алгоритми, засоби та процеси функціональних надбудов над інструментальними засобами управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах. По суті, такий базис дасть можливість створити множину функціональних операторів, які задовольнять потребу проектного менеджменту в сучасній інформаційній технології управління.

Ключові слова: *4П-середовище, портфель проектів і програм, проектний менеджмент, інформаційні технології.*

Вступ. Діяльність проектно-орієнтованих підприємств у нашій країні і за кордоном характеризується складністю і невизначеністю, значною залежністю від динамічного оточення, що включає соціально-економічні, політичні, фінансово-економічні, законодавчі впливи як держави, так і конкуруючих підприємств, а також партнерів по бізнесу. Тому відсутність систем, що забезпечують ефективне управління підприємствами, проектами, програмами і портфелями проектів, призводить до неефективності управлінських рішень, виконання непотрібних робіт або несконординованої їх реалізації, збитків, авралів, зривів робіт за найважливішими контрактами, численних проблем. Веління часу – змінити такий стан справ, знайти наукові методи створення систем управління всіма видами діяльності проектно-орієнтованих підприємств.

Одна з проблем сучасного проектного менеджменту полягає в тому, що зазвичай на підприємствах для управління проектами використовуються різні інструментальні програмні засоби (MS Project, Oracle Primavera P6, Clarizen, Project Expert та ін.), які вирішують різні функціональні задачі: планування, контролю, економічної та фінансової оцінки та ін. Традиційно задачі інтеграції інформації в таких системах розглядаються в рамках способів управління інформаційним зв'язком у проектах. Однак з підвищенням рівня інформатизації проектно-орієнтованих підприємств, використанням для вирішення функціональних задач різноманітних інформаційних систем (далі – ІС) цього виявляється недостатньо. Ще більше ускладняється ця задача, коли вимагається управляти масштабними програмами чи портфелями проектів і програм. Виникають нові проблеми – координації діяльності, розподілу ресурсів, пріоритезації проектів і програм, формування команд, виконання виробничих чи управлінських функцій підприємства не в розрізі окремих проектів, а по портфелю в цілому. І тут виникає ще один рівень складності. Задачі управління портфелями проектів і програм перетинаються з функціональними

задачами управління самим підприємством. Виходячи з цього, на перший план виступає задача створення єдиного функціонального середовища управління проектами, програмами, портфелями проектів та програм і проектно-орієнтованим підприємством (4П-середовища), яке б включало інструменти, задіяні як у проектній, так і в операційній діяльності підприємства і забезпечувало б системний (синергетичний) ефект від вирішення комплексу задач управління портфелями проектів і програм як єдиної системи функцій.

Необхідно закласти концептуальний фундамент науково-методологічного базису функціонального 4П-середовища проектно-орієнтованих підприємств, в яке будуть інтегровані управлінські процеси різноманітних інструментальних систем управління проектами, програмами, портфелями і операційною діяльністю.

На відміну від ERP систем, де функції управління ресурсами підприємств доповнюються модулями управління проектами, створення функціонального 4П-середовища полягає в доповненні інструментальних програмних засобів управління проектами функціями, які дають змогу інтегрувати їх як з процесами управління портфелями проектів і програм, так і з процесами управління самим проектно-орієнтованим підприємством. Це, з одного боку, знизить вартість засобів управління проектами, а з другого, підніме їх функціональну повноту. На сьогодні найбільш повною в функціональному розумінні відповідно до поставленої задачі є Oracle Primavera. Але навіть у цьому засобі немає багатьох функцій, які б дозволяли ефективно інтегрувати його в функціональне середовище управління підприємством. Тому є необхідність у створенні такого функціонального середовища, яке було б повним відносно процесів управління проектами/програмами/портфелями і проектною діяльністю проектно-орієнтованого підприємства.

Аналіз основних досліджень і публікацій. У процесі розширення і розвитку підприємства, збільшуючи кількість проектів, формують портфелі проектів і програм, спрямовані на впровадження інноваційних технологій, випуск нових продуктів і т. д. В основному підприємствам з відсутністю формалізованого управління портфелями проектів не вдається досягти повернення вкладених інвестицій [1].

Управління портфелем дозволяє визначити найбільш вигідні для підприємства шляхи розвитку, з огляду на фінансові та ресурсні обмеження, ризики, прийняті політики і правила, і тому є природним розвитком проектного менеджменту на підприємстві [2]. Управління портфелями проектів та програм відрізняється від управління проектом тим, що основним завданням проектного управління є «робити роботу правильно», а управління програмою і портфелем – «робити правильні роботи», що істотно розширює коло проблем [3].

Основні проблеми, що виникають у процесі управління портфелями проектів більшості проектно-орієнтованих підприємств [4]:

1. Реалізація одночасно великої кількості проектів у портфелі, цілі яких дублюються.

2. Неправильний вибір проектів, реалізація проектів, які не становлять цінності для підприємства.

3. Відсутність орієнтації на досягнення стратегічних цілей підприємства

4. Незбалансованість портфеля проектів (недооблік основних можливостей для отримання прибутку; недооблік основних ризиків; зайва кількість проектів, спрямованих на виробничі аспекти, при нестачі проектів, що стосуються ринкових аспектів діяльності підприємства).

5. Відсутність методологій управління портфелями проектів, які можуть налаштовуватись на специфіку конкретного підприємства [5].

Професорами маркетингу канадського університету McMasterUniversity Р. Купером, С. Еджетом, Е. Кляйншмідт у 2000 р. були проведені наукові дослідження в галузі управління портфелем проектів [6]. В результаті цих досліджень виявлено наступні основні проблеми, з якими стикалися підприємства під час керування портфелями проектів та програм:

1. Велика кількість проектів, які долають бар'єр на включення в список виконуваних проектів, тому що на ранній стадії важко оцінити, який проект кращий, а який гірший.

2. Вимоги ресурсів для потреб проектів, які значно перевищують їх наявність.

3. Недостатність інформації при прийнятті рішення про долю проектів.

4. Занадто велика кількість маленьких проектів у портфелі.

На думку вищезазначених учених, ці проблеми викликані:

• недостатністю інформації для прийняття рішень;

• розбалансованістю стратегічних і тактичних проектів;

• недосконалістю методів і моделей управління портфелем проектів.

На шляху забезпечення якості управління портфелями проектів в проектно-орієнтованих підприємствах трапляються проблеми, пов'язані з відсутністю орієнтованих на підприємство методологій, які могли б забезпечити можливість визначення:

• раціонального переліку робіт, необхідного для управління портфелем проектів;

• переліку робіт з управління проектами за умов обмеженості фінансових ресурсів;

• необхідного методу, який би забезпечив ефективне управління змінами в переліку робіт з управління портфелем проектів на базі аналізу пріоритетних критеріїв реалізації портфеля.

У зв'язку з зазначеним вище зауважимо, що велика кількість досліджень [7–17] присвячена створенню інформаційних систем для управління портфелями проектів та програм. Це пов'язано з тим, що в процесі УППП керівнику необхідно оперувати великою кількістю мінливих даних (терміни, витрати, ресурси тощо), які супроводжують кожний проект портфелю і управляти якими можна тільки за допомогою спеціального програмного забезпечення.

На сьогоднішній день у наукових та практичних дослідженнях пропонується для управління ППП застосування таких інформаційних систем, як Oracle Primavera [18], MS Project [19], ERP систем [20]. Застосування цих та інших програмних продуктів має ряд переваг, таких як можливість планувати та контролювати ресурси підприємства, які задіяні як у проектній, так і в операційній діяльності підприємства. Однак, разом з тим, існують і недоліки, зокрема відсутність можливості застосувати процеси, які не включені до функціоналу програмного засобу, але які є необхідними для управління портфелем проектів (документообіг, виробництво матеріально-технічних ресурсів та ін.).

Отже, в результаті аналізу було визначено, що функціонал сучасних інформаційних технологій управління проектами не охоплює усі функції, які реалізуються в процесі управління проектами, портфелями проектів та програмами проектно-орієнтованого підприємства. Таким чином, необхідно створити деяку технологію управління портфелями, програмами, проектами і підприємствами, яка буде включати неохоплені функції управління. Для реалізації такої технології, перш за все, необхідно сформувати концептуальні засади, основою яких є понятійний апарат управління портфелями проектів і програм у 4П-середовищі.

Формулювання цілей статті. Метою статті є визначення понятійного апарату управління портфелями проектів і програм в 4П-середовищі.

Основний матеріал досліджень

Визначення 1. **Функціональне 4П-середовище (або просто 4П-середовище)** – систематизована сукупність функцій управління проектами, програмами, портфелями проектів і програм та проектно-орієнтованим підприємством (в частині управління проектами, програмами і портфелями), які використовують єдиний інформаційний ресурс і забезпечують системний (синергетичний) ефект від вирішення комплексу задач управління проектно-орієнтованими бізнесами підприємств і організацій.

Визначення 2. **4П-управління** – управління проектами, програмами, портфелями проектів і програм і проектно-орієнтованим підприємством (в частині управління проектами, програмами і портфелями), яке здійснюється з використанням функцій 4П-середовища.

Конкретизована умовами проектно-орієнтованого підприємства методологія управління портфелями проектів і програм повинна об'єднувати сфери управління проектами і організаціями в єдине функціональне середовище, в яке інтегруються окремі моделі, методи і засоби управління проектами, програмами, портфелями проектів і програм та операційною діяльністю підприємства. На сьогодні існує безліч засобів управління проектами, які не охоплюють усі задачі, з якими стикаються керівник і команда проекту в процесі роботи над проектом, які не дозволяють ефективно управляти масштабними програмами і портфелями проектів та програм і які не інтегруються з забезпечувальними функціями управління підприємством стосовно проектів/програм/портфелів (рис. 1).

У цьому випадку значна кількість функцій реалізується працівниками підприємства без використання спеціальних програмних засобів, що значно знижує рівень ефективності управління на цьому підприємстві.

Щоб усунути цей недолік, пропонується в рамках конкретизованої методології управління проектами створити таке функціональне середовище 4П-управління, яке було б максимально повним відносно тих функцій, з якими стикається менеджмент проектів і підприємств при організації управління чи управлін-

ні проектами/програмами/портфелями цього підприємства. Таке середовище отримало назву функціонального 4П-середовища (див. визначення 1). Функціональне 4П-середовище містить дві складові: процедурну (реалізацію самих функцій) та інформаційну (інформаційний ресурс для реалізації цих функцій) Дамо визначення цим складовим 4П-середовища.

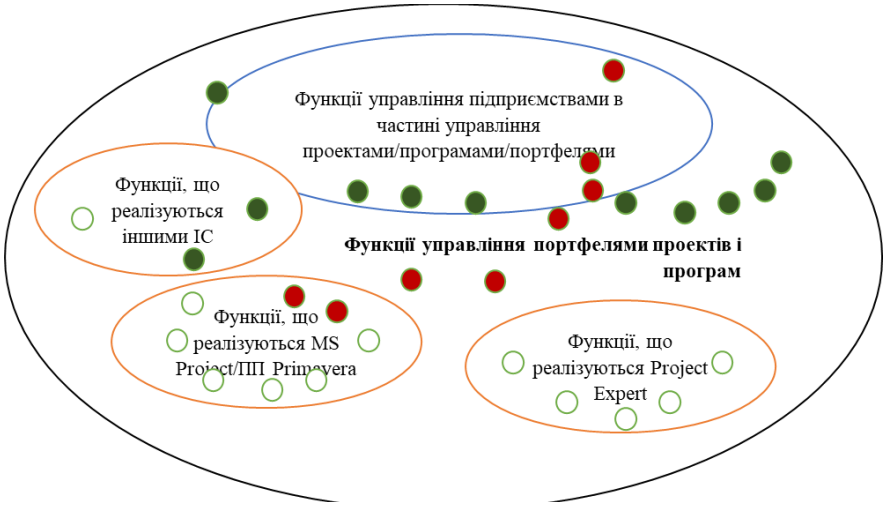


Рис. 1. Функціональне середовище управління проектами/програмами/портфелями на проектно-орієнтованому підприємстві

Визначення 3. **Інформаційна складова функціонального середовища управління проектами/програмами/портфелями і проектно-орієнтованим підприємством (в частині управління проектами/програмами/портфелями) (4ПІ-середовище)** – множина інформаційних ресурсів, які використовуються інструментальними засобами та засобами, якими доповнюються ці інструментальні засоби з метою максимально повної автоматизації процесів управління проектами/програмами/портфелями.

Визначення 4. **Процедурна складова функціонального середовища управління проектами/програмами/портфелями та проектно-орієнтованим підприємством (в частині управління проектами/програмами/портфелями) (4ППсередовище)** – програмно-інформаційна система чи її модуль, який реалізує функції управління проектами/програмами/портфелями чи управління підприємством (в частині управління проектами/програмами/портфелями), яку необхідно реалізувати або в рамках управління проектами/програмами/портфелями, або для забезпечення процесів управління проектами/програмами/портфелями.

4ПП-середовище наповнюється функціональними операторами.

Визначення 5. **Функціональний оператор 4ПП-середовища** – програмний засіб, який реалізує окрему процедуру управління проектами/програмами/портфелями чи управління підприємством (в частині управління проектами/програмами/портфелями).

Кожний функціональний оператор реалізується або в рамках управління проектами/програмами/портфелями, або для забезпечення процесів управління проектами/програмами/портфелями. І кожний функціональний оператор реалізує деяку функцію управління, наприклад: збір інформації про необхідні ресурси, планування періоду, організація засідання тендерного комітету та ін.

Структурним елементом 4ПІсередовища є інформаційний ресурс.

Визначення 6. **Інформаційний ресурс 4ПІ-середовища** – набір даних чи знань, готовий до використання функціональними операторами 4П-середовища.

Як видно з рис. 1, частина функцій управління проектами/програмами/портфелями реалізується сучасними інструментальними програмними засобами управління проектами, частина – різноманітними ІС, а частина – виконується працівниками підприємства без використання спеціалізованих програм. Наприклад, при формуванні бюджету підприємства ведеться збір інформації як з проектів, так і з підрозділів, які проводять операційну діяльність. Сучасні інструментальні програмні засоби управління проектами не дозволяють сформувати бюджет підприємства (в частині реалізації проектів) за стандартами, прийнятими на підприємствах. От і доводиться працівникам більшості підприємств зводити всю інфо-

рмацію по окремих проектах і операційній діяльності в єдину таблицю, використовуючи при цьому всім відомий офісний продукт MS Excel.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно перенести частину функцій, які не реалізуються інструментальними програмними засобами, в деяку функціональну надбудову над цими засобами і розробити програмно-інформаційну систему, яка буде реалізовувати функціональні оператори по функціях, що не знайшли свого відображення в інструментальних програмних засобах (рис. 2). Така програмно-інформаційна система може створюватись як засобами самих інструментальних програмних систем, так і звичайними засобами програмування.

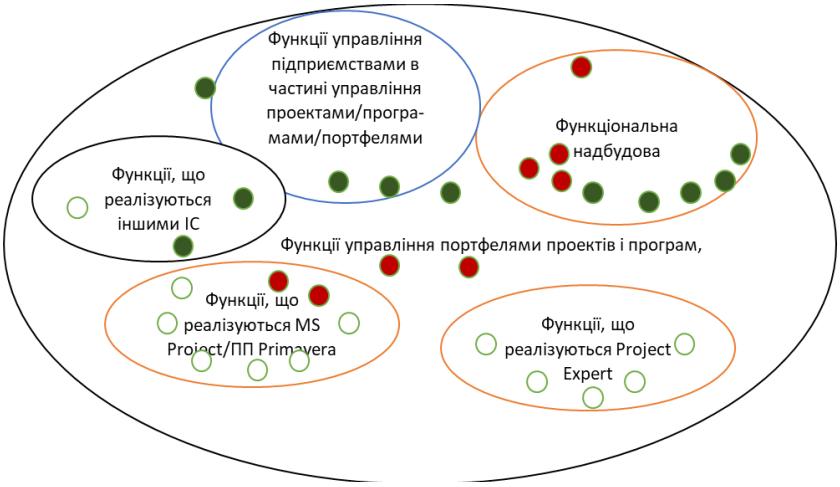


Рис. 2. Функціональне 4П-середовище управління проектами/програмами/ портфелями на проектно-орієнтованому підприємстві

Висновки і перспективи подальших досліджень. Науково-методологічний базис побудови 4П-середовища необхідний для того, щоб на основі розроблених моделей і методів створювати структури, алгоритми, засоби та процеси функціональних надбудов над інструментальними засобами управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах. По суті, такий базис дасть можливість створити множину функціональних операторів, які задовольнять потребу проектного менеджменту в сучасній інформаційній технології управління.

Для вирішення цієї задачі необхідно визначити ті функції управління, які будуть відображені в функціональній надбудові і утворять 4П-середовище, що є темою для подальших досліджень.

Список літератури

1. Тернер Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / пер. с англ. под. общ. ред. Воропаева В. И. Москва: ИД Гребенщикова, 2007. 522 с.
2. Матвеев А. А., Новиков Д. А., Цветков А. В. Модели и методы управления портфелями проектов. Москва: ПМСОФТ, 2005. 206 с.
3. Linenberg Y, Stadlker Z, Arbuthnot S. Optimizing organizational performance by managing project benefits. *PMI Global Congress*. 2003.
4. Кендалл Д. И., Роллинз С. К. Современные методы: управление портфелями проектов и офис управления проектами. Санкт-Петербург: Питер, 2004.
5. Teslia I., Yehorchenkov O., Khlevna I., Khlevnyi A. Development concept and method of formation of specific project management methodologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/3 (95). С. 6–16. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142707
6. Cooper Robert G., Edgett Scott J., Kleinschmidt Elko J. New problems, new solutions: making portfolio management more effective. Research. *Technology Management*. № 2. 43 p.
7. Єгорченкова Н. Ю. Інтеграція матричних технологій і методу критичних ланцюгів в управлінні ресурсами портфелів проектів і програм. *Управління розвитком складних систем*: зб. наук. праць. Київ, 2012. № 7. С. 30–35.
8. Тесля Н. Ю. Створення системи портфельного управління ресурсами компанії в проектах. *Управління розвитком складних си-*

стем: зб. наук. праць. Київ, 2010. № 4. С. 19–22.
9. Тесля Ю. М., Білощицький А. О., Тесля Н. Ю. Інформаційна технологія управління проектами на базі ERPP (enterprise resources planning in project) та APE (administrated projects of the enterprise) систем. *Управління розвитком складних систем*: зб. наук. праць. Київ, 2010. № 1. С. 16–20.
10. Yehorchenkova N. Yu., Yehorchenkov A. V. Product-resource planning system. *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing*. Ukraine, Lviv, 2016. P. 29–33.
11. Yehorchenkova N. Yu., Yehorchenkov A. V. Production and project activities modeling module of instrument-making enterprise. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TSCET'18).* Lviv–Slavsko, Ukraine, 2018.
12. Егорченкова Н. Ю. Имитационное моделирование в проектной деятельности предприятия. *Управління розвитком систем*: зб. наук. праць. Київ: КНУБА, 2016. № 26. С. 67–73.
13. Stutko N. Efficiency of information system of project management. URL: http://www.iteam.ru/publications/project/section_41/article_2709/
14. Raymond L., Bergeron F. Project management information systems: an empirical study of their impact on project managers and project success. *International Journal of Project Management*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2008. 26 (2). P. 213–220.
15. Project resources management. URL: http://club-energy.ru/e8_3.php
16. Burkov V. N., Novikov D. A. How to manage projects. Moscow: Sinteg, 1997. P. 188.
17. Yehorchenkov A. V., Yehorchenkova N. Yu. Simulation. *Information technology and interaction*: II international sci.-pract. conf. Ukraine, Kyiv, 2015. P. 130–132.
18. Project portfolio management. URL: https://www.oracle.com/applications/primavera/products/project-portfolio-management/resources.html#whitepapers
19. Microsoft Project. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project
20. ERP. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERP

References

1. Turner, J. Rodney (2007) Guide to project-oriented management. Transl. from Engl. under total ed. V. I. Voropaev. Moscow: ID Grebenshchikova, 522 p. [in Russian].
2. Matveev, A. A., Novikov, D. A., Tsvetkov, A. V. (2005) Models and methods of project portfolio management. Moscow: PMSOFT, 206 p. [in Russian].
3. Linenberg, Y, Stadlker, Z, Arbuthnot, S. (2003) Optimizing organizational performance by managing project benefits. *PMI Global Congress.*
4. Kendall, D. I., Rollins, S. K. (2004) Modern methods: project portfolio management and project management office. St. Petersburg: Peter [in Russian].
5. Teslia, I., Yehorchenkov, O., Khlevna, I., Khlevnyi, A. (2018) Development concept and method of formation of specific project management methodologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3 (95), pp. 6–16. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142707
6. Cooper, Robert G., Edgett, Scott J., Kleinschmidt, Elko J. New problems, new solutions: making portfolio management more effective. Research. *Technology Management.* No. 2. 43 p.
7. Yehorchenkova, N. Yu. (2012) Integration of matrix technologies and the method of critical chains in resource management of project portfolios and programs. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*: coll. of sci. works. Kyiv, No. 7, pp. 30–35 [in Ukrainian].
8. Teslya, N. Yu. (2010) Creating a portfolio management system for company resources in projects. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*: coll. of sci. works. Kyiv, No. 4, pp. 19–22 [in Ukrainian].
9. Teslya, Yu. M., Biloshchitsky, A. O, Teslya, N. I. (2010) Information technology for project management based on ERPP (enterprise resources planning in project) and APE (administrated projects of the enterprise) systems. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*: coll. of sci. works. Kyiv, No. 1, pp. 16–20 [in Ukrainian].
10. Yehorchenkova, N. Yu., Yehorchenkov, A. V. (2018) Product-resource planning system. *IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing.* Ukraine, Lviv, pp. 29–33.
11. Yehorchenkova, N. Yu., Yehorchenkov, O. V. (2018) Production and project activities modeling module of instrument-making enterprise. *14th International Conference on Advanced*

Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TSCET'18). Lviv–Slavsko, Ukraine.
12. Yehorchenkova, N. Yu. (2016) Simulation in the project activity of the enterprise. *Upravlinnia rozvytkom system*: coll. of sci. works. Kyiv: KNUBA. No. 26, pp. 67–73 [in Ukrainian].
13. Stutko, N. Efficiency of information system of project management. URL: http://www.iteam.ru/publications/project/section_41/article_2709/
14. Raymond, L., Bergeron, F. (2008) Project management information systems: an empirical study of their impact on project managers and project success. *International Journal of Project Management*, Elsevier, 26 (2), pp. 213–220.
15. Project resources management. URL: http://club-energy.ru/e8_3.php
16. Burkov, V. N., Novikov, D. A. (1997) How to manage projects. Moscow, Russia: Sinteg, p. 188.
17. Yehorchenkov, A. V., Yehorchenkova, N. Yu. (2015) Simulation. *Information technology and interaction*: II international sci.-pract. conf., Kyiv, Ukraine, pp. 130–132.
18. Project portfolio management. URL: https://www.oracle.com/applications/primavera/products/project-portfolio-management/resources.html#whitepapers
19. Microsoft Project. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Project
20. ERP. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERPO.

Ye. V. Yehorchenkov[1], *PhD, associate professor,*
e-mail: alexee@ukr.net
Yu. Kataieva[2], *PhD, associate professor,*
e-mail: kataevae@ukr.net
Yu. L. Khlevna[1], *PhD*
e-mail: yuliya.khlevna@gmail.com
[1]Taras Shevchenko National University of Kyiv
Volodymirska str., 60/13, Kyiv, 01601, Ukraine
[2]Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18000, Ukraine

CONCEPTUAL APPARATUS OF MANAGEMENT BY PROJECTS AND PROGRAMS PORTFOLIO IN 4P-ENVIRONMENT

One of the problems of modern project management is that usually at enterprises for project management various software tools to solve various functional tasks: planning, control, economic and financial evaluation, etc. are used. Traditionally, the tasks of information integration in such systems are considered in the frames of methods of managing information communication in projects. But with the increase of informatization level of project-oriented enterprises, the use of various information systems for solving functional problems is not enough. As a result of the analysis, it was determined that the functionality of modern information technologies for project management does not cover all the functions that are implemented in the process of managing projects, project portfolios and project-oriented sub-programs. Thus, it is necessary to create some technology for managing portfolios, programs, projects and programs that will include uncovered management functions. To implement such a technology, first of all, it is necessary to form a conceptual framework, the basis of which is the conceptual apparatus for managing portfolios of projects and programs in the 4P-environment. Therefore, in the article it is proposed to create a conceptual apparatus for portfolio management of projects and programs of project-oriented enterprises, which unites the areas of project and organization management into a single functional environment - 4P-environment. Scientific and methodological basis for the construction of 4P-environment is necessary to create structures, algorithms, tools and processes of functional add-ons over project management tools at project-oriented enterprises on the basis of developed models and methods. Per se, such basis will enable to create a set of functional operators which will satisfy the need of project management in modern information management technology.

Keywords: *4P-environment, projects and programs portfolio, project management, information technologies.*