

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

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Серія : Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

1/2017

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

Редакційна колегія:

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

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ –

Черкаський державний
технологічний університет

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

Виходить 4 рази на рік

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

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

I • 2017

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ

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

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

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

pISSN 2306-4412 / eISSN 2306-4455

За рішенням Вченої ради
Черкаського державного
технологічного університету,
протокол № 10 від 27.03.2017 р.
рекомендовано до друку
та поширення в електронному
вигляді

Точка зору редколегії не завжди
збігається з позицією авторів.

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

© “Вісник Черкаського
державного технологічного
університету”, № 1, 2017

ЗМІСТ

Рудницький В. М., Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування	5
Петрищев О. Н., Базило К. В. Математическая модель многосекционного пьезоэлектрического трансформатора с кольцевыми электродами во вторичных электрических цепях	11
Трембовецька Р. В., Гальченко В. Я., Тичков В. В. Встановлення та оцінка невизначеності результату вимірювання лінійного розміру безконтактним методом.....	25
Медведський М. М., Арібжанов М. Т., Гавриш О. С. Лідарний комплекс для моніторингу метеорологічного стану атмосфери	33
Прокопенко Т. О., Прокопенко В. А. Когнітивна модель управління ризиками технологічного комплексу неперервного типу.....	39
Гавриш О. С., Бурдукова О. В., Іващенко А. О., Безпалый Р. О. Поліноміальні алгоритми вимірювання амплітуди гармонічного сигналу з флюктуючою частотою при когерентному прийомі і асиметрично-ексцесній заваді.....	45
Битько Н. М., Кузнецова О. В., Бойко В. В. Экспериментально-статистические исследования секущего модуля деформаций тяжелого бетона при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности	50
Жицька Л. І., Гончаренко Т. П., Пономаренко О. В. Екологічна оцінка ризиків використання пересувних джерел автотранспорту на урбанізованих територіях	58
Петрук В. Г., Петрук Г. Д., Крикливий Р. Д. Дослідження взаємодії трикальційфосфату з тетрахлорометаном та оксохлоридом вуглецю	70
Савина О. Ю. Особенности наукоемких предприятий и специфика управления их проектами.....	77
Чубенко М. О., Семинов В. І., Іларіонов О. Є. Використання гнучких методологій SCRUM і KANBAN в ІТ проектах	88
Видря С. О., Голуб Я. С. Застосування методів ситуаційного аналізу в управлінні ІТ проектами.....	94
Денчик О. Р., Бедрій Д. І., Савченко С. О. Аналіз ризиків проектів в агропромисловому комплексі	100
Тимченко А. А. Системний аналіз процесів та моделей взаємозв'язків і взаємодій. Лінійні статичні системи.....	110
Медушевський С. В. Управління ризиками якості автоматизованої інформаційної системи	118
Рибалка І. О. До екологічної безпеки зелених насаджень в умовах швидкої інвазії омели білої (<i>Viscum album L.</i>).....	124
Солодовнік Т. В., Столяренко Г. С. Вирішення актуальних питань водопідготовки та очищення стічних вод науковцями міжнародного рівня в рамках проекту «Водна гармонія».	137
Бойко О. І. Електронне портфоліо викладача – альтернативна форма оцінки його педагогічної діяльності та професіоналізму.....	150

CONTENTS

Rudnitsky V. M., Shuvalova L. A., Nesterenko O. B. The method of synthesis of cryptographic conversion operations according to the criterion of strict sustainable coding.....	5
Petrishchev O. N., Bazilo C. V. Mathematical model of multisectional piezoelectric transformer with ring electrodes in secondary electrical circuits	11
Trembovetska R. V., Halchenko V. Ya., Tychkov V. V. Determination and evaluation of the uncertainty of the result of linear dimension measuring by contactless method	25
Medvedsky M. M., Aribzhanov M. T., Havrysh O. S. Lidar complex for monitoring of atmosphere meteorological condition.....	33
Prokopenko T. O., Prokopenko V. A. Cognitive model of risk management by technological complex of continuous type	39
Havrysh O. S., Burdukova O. V., Ivashchenko A. O., Bezpaliy R. O. Polynomial algorithms for measurement of the amplitude of a harmonic signal with fluctuated frequency and coherent detection at skewness-kurtosis interference	45
Bitko N. M., Kuznetsova O. V., Boiko V. V. Experimental and statistical research of secant modulus of heavy concrete deformations at long central compression by varying intensity loads	50
Zhytska L. I., Honcharenko T. P., Ponomarenko O. V. Environmental assessment of risks from the use of transport mobile sources in urban territories.....	58
Petruk V. G., Petruk H. D., Kryklyvyi R. D. The study of tricalcium phosphate interaction with carbon tetrachloromethane and phosgene	70
Savina O. Yu. Features of science-based enterprises and their projects management peculiarities	77
Chubenko M. O., Seminoh V. I., Ilarionov O. Ye. The use of SCRUM and KANBAN flexible methodologies in IT projects	88
Vydrya S. O., Holub Ya. S. Application of situational analysis methods in IT projects management	94
Denchyk O. R., Bedrii D. I., Savchenko S. O. Project risks analysis in agricultural complex	100
Timchenko A. A. System analysis of processes and models. Linear statistics	110
Medushevskiy S. V. Management by risks of automated information system quality	118
Rybalka I. O. To ecological safety of green plantations under the rapid invasion of the White Mistletoe (<i>Viscum album L.</i>).....	124
Solodovnik T. V., Stolyarenko H. S. Addressing of topical issues of water and wastewater treatment by scientists of international project «Water Harmony»	137
Boyko O. I. Teacher's electronic portfolio – an alternative form of evaluation of his educational activities and professionalism	150

В. М. Рудницький¹, д.т.н, професор,
e-mail: rvn_2008@ukr.net

Л. А. Шувалова¹, к.т.н, доцент,
e-mail: shuvalova-l2015@yandex.ru

О. Б. Нестеренко², ад'юнкт
e-mail: nesterenko.apb@gmail.com

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

²Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

МЕТОД СИНТЕЗУ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ СТРОГОГО СТІЙКОГО КОДУВАННЯ

В статті представлено результати дослідження та побудови методу синтезу операцій криптографічного перетворення, які відповідають критерію строгого стійкого кодування, на основі мінімальної відстані за Хеммінгом. Представлення цих операцій дискретними моделями забезпечує мінімальний час їх реалізації на апаратному та програмному рівні. Крім того, ці операції забезпечать заміну таблиць підстановок дискретними моделями, що значно знизить вимоги до обсягу пам'яті спеціалізованих обчислювальних систем, оскільки втрачається необхідність збереження великої кількості таблиць перестановок. Можливість синтезу великої кількості операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування забезпечує можливість вибирати моделі невеликої складності, які забезпечать криптографічне перетворення інформації з меншим часом при тих самих характеристиках результатів перетворення.

Ключові слова: криптографічне перетворення інформації; критерій строгого стійкого кодування, таблиця перестановок, дискретна модель.

Постановка проблеми. На сьогодні в інформаційному просторі швидкими темпами впроваджуються новітні досягнення комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. Проблема забезпечення необхідного рівня захисту інформації є досить складною, що вимагає для свого рішення не просто здійснення деякої сукупності наукових, науково-технічних та організаційних заходів і застосування специфічних методів і засобів, а створення цілісної системи організаційних заходів і застосування специфічних методів та засобів захисту інформації [1]. Особливо важливим є захист інформації в комп'ютерних системах та мережах.

Захист інформації повинен забезпечувати попередження завдання шкоди внаслідок втрати (розкрадання, знищення, перекручування, підробки) інформації в будь-якому її вигляді. Щоб гарантувати високий ступінь

захисту інформації, необхідно постійно вирішувати складні науково-технічні завдання розробки та вдосконалення засобів її захисту [2].

Серед усього спектра методів захисту даних від несанкціонованого доступу особливе місце займають криптографічні методи. На відміну від інших методів, вони спираються лише на властивості самої інформації і не використовують властивості її матеріальних носіїв, особливості вузлів її обробки, передачі та зберігання. Широке застосування комп'ютерних технологій та постійне збільшення обсягу інформаційних потоків викликає постійне зростання інтересу до криптографії [3, 4].

Тому актуальною є розробка криптографічних алгоритмів захисту інформації, які забезпечать максимальну криптостійкість.

Побудова алгоритмів комп'ютерної криптографії базується на використанні операцій криптографічного перетворення інформації. Побудова операцій, які забезпечують строге стійке кодування, приведе до підвищення якості криптографічних алгоритмів та швидкості їх реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В попередніх дослідженнях проведено аналіз повної групи дворозрядних криптографічних операцій [5, 6, 7]. Узагальнено дослідження груп математичних операцій матричного криптографічного перетворення та розширеного матричного криптографічного перетворення.

Встановлено, що критерію строного стійкого кодування відповідає лише незначна частина операцій. Серед дворозрядних операцій їх лише чотири [8].

Виходячи з цього, стає актуальною задача побудови операцій криптографічного перетворення, які відповідають критерію строного стійкого кодування, з більшою розрядністю.

Мета статті – побудувати метод синтезу операцій криптографічного перетворення, які відповідають критерію строного стійкого кодування.

Виклад основного матеріалу. Однією з характеристик криптоалгоритмів є лавинний ефект – поняття в криптографії, яке зазвичай застосовується до блочних шифрів та хеш-функцій. Це важлива криптографічна властивість для шифрування, яка означає, що зміна значення малої кількості бітів у вхідному тексті або в ключі веде до «лавинної» зміни значень вихідних бітів шифротексту.

В алгоритмах з декількома проходами лавинний ефект зазвичай досягається завдяки тому, що на кожному проході зміна одного вхідного біта веде до декількох вихідних [9].

В операціях, які відповідають критерію строного стійкого кодування, зміна одного розряду вхідної інформації приводить до зміни одного розряду результату, тобто до зміни вихідних бітів з ймовірністю $\frac{1}{2}$.

Представивши таку послідовність наборів дворозрядних даних, щоб два сусідні набори, а також перший і останній набори відрі-

знялися лише одним розрядом, отримаємо можливість досягнення строного лавинного ефекту операціями, які відповідають критерію строного стійкого кодування.

Результат виконання операцій криптографічного кодування в другому раунді не відповідає критерію строного стійкого кодування, отже, такі операції доцільно використовувати в одному раунді шифрування.

Встановлено, що для дворозрядних операцій криптографічного перетворення інформації неможливо на основі перебору провести аналіз на строге стійке кодування. Використавши таблицю мінімальних кодових відстаней за Хеммінгом для побудови операцій криптографічних перетворень, які відповідають критерію строного стійкого кодування, забезпечено побудову операцій з заданими властивостями без необхідності проведення їх дослідження на основі повного перебору [10].

Узагальнення отриманих результатів створює можливість побудови методу синтезу операцій криптографічного перетворення за критерієм строного стійкого кодування.

Отримати строге стійке кодування можна тоді, коли кількість розрядів парна.

В результаті дослідження групи дворозрядних операцій криптографічного перетворення було встановлено, що строге стійке кодування можливе лише тоді, коли мінімальна кодова відстань за Хеммінгом між результатами перетворення буде дорівнювати одиниці. Спираючись на це, можна допустити, що для забезпечення строного стійкого кодування чотирирозрядних кодів мінімальна кодова відстань за Хеммінгом повинна дорівнювати 2, для шестирозрядних кодів – 3 і т. д., тобто $\frac{1}{2}$ довжини розряду.

Знайти в явному вигляді результати перетворення, які відповідають критерію строного стійкого кодування можна на основі використання таблиць мінімальних кодових відстаней за Хеммінгом.

Розглянемо приклади знаходження результатів перетворення на основі таблиць мінімальних кодових відстаней за Хеммінгом. Мінімальні кодові відстані для чотирьох розрядів представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця мінімальних кодових відстаней за Хемінгом для чотирьох розрядів

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	1	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	2	3	3	4
1	1	0	2	1	2	1	3	2	2	1	3	2	3	2	4	3
2	1	2	0	1	2	3	1	2	2	3	1	2	3	4	2	3
3	2	1	1	0	3	2	2	1	3	2	2	1	4	3	3	2
4	1	2	2	3	0	1	1	2	2	3	3	4	1	2	2	3
5	2	1	3	2	1	0	2	1	3	2	4	3	2	1	3	2
6	2	3	1	2	1	2	0	1	3	4	2	3	2	3	1	2
7	3	2	2	1	2	1	1	0	4	3	3	2	3	2	2	1
8	1	2	2	3	2	3	3	4	0	1	1	2	1	2	2	3
9	2	1	3	2	3	2	4	3	1	0	2	1	2	1	3	2
10	2	3	1	2	3	4	2	3	1	2	0	1	2	3	1	2
11	3	2	2	1	4	3	3	2	2	1	1	0	3	2	2	1
12	2	3	3	4	1	2	2	3	1	2	2	3	0	1	1	2
13	3	2	4	3	2	1	3	2	2	1	3	2	1	0	2	1
14	3	4	2	3	2	3	1	2	2	3	1	2	1	2	0	1
15	4	3	3	2	3	2	2	1	3	2	2	1	2	1	1	0

Оскільки у варіантах побудови можуть брати участь тільки перетворення, які мають мінімальну кодову відстань 2, видаливши не-

потрібні фрагменти таблиці, отримаємо таблицю вибору варіантів побудови (табл. 2).

Таблиця 2

Вибір варіантів побудови

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	3
5	4	4	5	2	3	3	2	2	3	3	2	5	4	4	5
6	7	7	6	7	6	5	4	4	5	6	7	6	7	7	6
9	8	8	9	8	9	10	11	11	10	9	8	9	8	8	9
10	11	11	10	13	12	12	13	13	12	12	13	10	11	11	10
12	13	14	15	14	15	15	14	14	15	15	14	15	14	13	12

При виборі варіантів побудови потрібно визначити таку операцію перетворення, щоб отримати гарантовано мінімальну кодову від-

стань за Хеммінгом, отже, досягти строгого лавинного ефекту.

Таблиця 3

Вибір варіантів побудови (варіант 1)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	3
5	4	4	5	2	3	3	2	2	3	3	2	5	4	4	5
6	7	7	6	7	6	5	4	4	5	6	7	6	7	7	6
9	8	8	9	8	9	10	11	11	10	9	8	9	8	8	9
10	11	11	10	13	12	12	13	13	12	12	13	10	11	11	10
12	13	14	15	14	15	15	14	14	15	15	14	15	14	13	12

Таблиця 4

Вибір варіантів побудови (варіант 2)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	3
5	4	4	5	2	3	3	2	2	3	3	2	5	4	4	5
6	7	7	6	7	6	5	4	4	5	6	7	6	7	7	6
9	8	8	9	8	9	10	11	11	10	9	8	9	8	8	9
10	11	11	10	13	12	12	13	13	12	12	13	10	11	11	10
12	13	14	15	14	15	15	14	14	15	15	14	15	14	13	12

Таблиця 5

Вибір варіантів побудови (варіант 3)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2	3
5	4	4	5	2	3	3	2	2	3	3	2	5	4	4	5
6	7	7	6	7	6	5	4	4	5	6	7	6	7	7	6
9	8	8	9	8	9	10	11	11	10	9	8	9	8	8	9
10	11	11	10	13	12	12	13	13	12	12	13	10	11	11	10
12	13	14	15	14	15	15	14	14	15	15	14	15	14	13	12

Розглянемо більш детально варіанти побудови, представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Варіант 1					Варіант 2					Варіант 3				
3	0	0	1	1	12	1	1	0	0	5	0	1	0	1
2	0	0	1	0	13	1	1	0	1	7	0	1	1	1
1	0	0	0	1	14	1	1	1	0	4	0	1	0	0
0	0	0	0	0	15	1	1	1	1	6	0	1	1	0
7	0	1	1	1	7	0	1	1	1	2	0	0	1	0
6	0	1	1	0	6	0	1	1	0	9	1	0	0	1
5	0	1	0	1	5	0	1	0	1	3	0	0	1	1
4	0	1	0	0	4	0	1	0	0	11	1	0	1	1
11	1	0	1	1	11	1	0	1	1	1	0	0	0	1
10	1	0	1	0	10	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	9	1	0	0	1	15	1	1	1	1
8	1	0	0	0	8	1	0	0	0	8	1	0	0	0
15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	10	1	0	1	0
14	1	1	1	0	1	0	0	0	1	14	1	1	1	0
13	1	1	0	1	2	0	0	1	0	13	1	1	0	1
12	1	1	0	0	3	0	0	1	1	12	1	1	0	0
$F_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$					$F_2 = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$					F_3				

$$F_3 = \begin{bmatrix} x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3 \vee x_2 \cdot x_4 \\ \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \\ \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_4 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_4 \vee x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \\ \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_4 \vee \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 \vee \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 \end{bmatrix}$$

Для побудови операцій строгого стійкого кодування необхідно визначити парну кількість розрядів ($k = 2n$). Оскільки в результаті перетворення мінімальна кодова відстань

за Хеммінгом має бути $\frac{1}{2}k$, то $\frac{1}{2}k = n$. Бу-

дуємо таблицю мінімальних кодових відстаней за Хеммінгом для k -розрядного коду.

Далі потрібно побудувати таблицю вибору варіантів побудови для мінімальної відстані n ; вибрати варіанти побудови 2^k цифр, при цьому коди цифр не повинні повторюватись; мінімізувати таблицю істинності для варіантів побудови; результати мінімізації представляють математичні моделі операцій, які забезпечують строге стійке кодування.

Висновки. Розроблено метод синтезу операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування. Представлення цих операцій дискретними моделями забезпечує мінімальний час їх реалізації як на апаратному, так і на програмному рівні. Крім того, слід відзначити, що ці операції забезпечать заміну таблиць підстановок дискретними моделями, що значно знизить вимоги до обсягу пам'яті спеціалізованих обчислювальних систем, оскільки втрачається необхідність збереження великої кількості таблиць перестановок.

Можливість синтезу великої кількості операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування забезпечує можливість вибирати моделі невеликої складності, які забезпечать криптографічне перетворення інформації з меншим часом при тих самих характеристиках результатів перетворення.

Список літератури

1. Венбо Мао. Современная криптография : теория и практика; пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 768 с.
2. Малець І. О. Роль та проблеми функціонування телекомунікаційних систем при надзвичайних ситуаціях. Електронний науковий архів Науково-технічної бібліотеки Національного університету «Львівська політехніка». 2011. Режим доступу до статті : <http://ena.lp.edu.ua>
3. Яковлев А. В., Безбогов А. А., Родин В. В., Шамкин В. Н. Криптографическая защита информации. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2006. 140 с.

4. Соколов В. Ю. Інформаційні системи і технології: навч. посіб. К. : Вид-во ДУІКТ, 2010. 138 с.
5. Бабенко В. Г., Рудницький С. В. Реалізація методу захисту інформації на основі матричних операцій криптографічного перетворення. *Системи обробки інформації* : зб. наук. праць. № 9 (107). Харків : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. С. 130–139.
6. Рудницький В. М., Бабенко В. Г., Жилиєв Д. А. Алгебраїчна структура множини логічних операцій кодування. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України* : науко-техн. журнал. Вип. 2 (6). Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2011. С. 112–114.
7. Рудницький В. М., Миронець І. В., Бабенко В. Г. Систематизація повної множини логічних функцій для криптографічного перетворення інформації. *Системи обробки інформації* : зб. наук. праць. Вип. 8 (98). Харків : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2011. С. 184–188.
8. Рудницький В. М., Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Синтез операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування. *Вісник інженерної академії України : часопис*. Київ, 2016. Вип. 3. С. 105–108.
9. Mollin, Richard A. Codes: the guide to secrecy from ancient to modern times. Chapman & Hall/CRC, 2005. P. 142.
10. Квасников В. П., Рудницький В. Н., Бабенко В. Г. Синтез таблиць мінімальних кодових відстаней по Хеммінгу. *Електроніка та системи управління*. 2006. № 3 (9). С. 47–52.

References

1. Venbo, Mao (2005). Modern cryptography: theory and practice. Moscow: Izdatelskiy dom "Williams", 768 p. [in Russian].
2. Malets, I. O. (2011). The role and problems of functioning of telecommunication systems in emergency situations. Electronic research archive for Scientific-technical library of National University «Lvivska politehnika» (Lviv). URL: <http://ena.lp.edu.ua>
3. Yakovlev, A. V., Bezbohov, A. A., Rodin, V. V. and Shamkin, V. N. (2006). Cryptographic protection of information. Tambov: Izd-vo TSTU. 140 p. [in Russian].

4. Sokolov, V. Y. (2010). Information systems and technology. Kyiv: Vyd-vo DUKT. 138 p. [in Ukrainian].
5. Babenko, V. G. and Rudnytskyi, S. V. (2012). Implementation of the method of information security based on matrix operations for cryptographic transformation. *Systemy obrobky informatsii* (Kharkiv), No. 9 (107), pp. 130–139 [in Ukrainian].
6. Rudnytskyi, V. M., Babenko, V. G. and Zhyliayev, D. A. (2011). The algebraic structure of the set of logical operations coding. *Nauko-tekhichniy zhurnal «Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy»* (Kharkiv), No. 2(6), pp. 112–114 [in Ukrainian].
7. Rudnytskyi, V. M., Babenko, V. G. and Myronets, I. V. (2011). Systematization of the complete set of Boolean functions for cryptographic transformation of information. *Systemy obrobky informatsii* (Kharkiv), No. 8 (98), pp. 184–188 [in Ukrainian].
8. Rudnytskyi, V. M., Shuvalova, L. A. and Nesterenko, O. B. (2016). The synthesis operations of cryptographic conversion according to the criterion of strict sustainable coding. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy* (Kyiv), No. 3, pp. 105–108 [in Ukrainian].
9. Mollin, Richard A. (2005). Codes: the guide to secrecy from ancient to modern times. Chapman & Hall/CRC, p. 142.
10. Kvasnykov, V. P., Rudnytskyi, V. N. and Babenko, V. H. (2006). Synthesis tables minimum code distance of the Hamming. *Electronics and control systems*, No. 3, pp. 47–52 [in Russian].

V. M. Rudnitsky¹, Dr. Tech. Sc., professor,
e-mail: rvn_2008@ukr.net

L. A. Shuvalova¹, Ph.D., associate professor,
e-mail: shuvalova-l2015@yandex.ru

O. B. Nesterenko²
e-mail: nesterenko.apb@gmail.com

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

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defense of Ukraine
Onopriienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

THE METHOD OF SYNTHESIS OF CRYPTOGRAPHIC CONVERSION OPERATIONS ACCORDING TO THE CRITERION OF STRICT SUSTAINABLE CODING

The development of cryptographic algorithms for information security that will provide the maximum encryption strength is currently topical.

This article aims at creating the method of synthesis of cryptographic transformation operations that meet strict criterion of sustainable coding, based on the minimum distance by Hemming.

Using the table of the minimum code distances by Hemming for building of the operations of cryptographic transformations that meet the criterion of strict sustainable coding, the building of operations with desired properties without the need for their study, based on complete enumeration, is secured.

Developed method of synthesis operations of cryptographic conversion according to the criterion of strict sustainable coding. The performance of these operations discrete model provides the minimum time for their implementation as hardware and software level. In addition, it should be noted that these operations will provide the replacement of the lookup tables discrete models, which will significantly reduce the amount of memory of specialized computing systems because it defeats the need to maintain a large number of tables of permutations. The possibility of the synthesis of a large number of operations of cryptographic conversion according to the criterion of strict sustainable coding provides the possibility to choose the model of small complexity, which will provide a cryptographic transformation of information with less time with the same characteristics of the conversion results.

Keywords: cryptographic transformation of information, criterion of strict sustainable coding, table of permutations, discrete model.

Статтю представляє В. М. Рудницький, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.

УДК 621.373.826.032:534.232.082.73

О. Н. Петрищев, д.т.н., профессор,
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
проспект Победы, 37, Киев, 03056, Украина

К. В. Базило, к.т.н., доцент
Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, Черкассы, 18006, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОСЕКЦИОННОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ ВО ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Актуальность применения различных функциональных элементов пьезоэлектроники в силовых и информационных системах объясняется, прежде всего, их высокой надежностью. Одним из основных элементов таких систем является пьезокерамический трансформатор. Однако в настоящее время отсутствуют надежные и достоверные методики построения математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов, которые могли бы использоваться в качестве теоретических основ расчета характеристик и параметров этого класса функциональных элементов современной пьезоэлектроники.

Основные положения настоящей статьи можно зафиксировать следующим образом. Впервые предлагается не содержащая внутренних противоречий схема построения математической модели четырехсекционного дискового пьезоэлектрического трансформатора. Предложенная схема сохраняет свою логическую конструкцию в широком диапазоне значений числа секций. Рассмотрены особенности построения математических моделей многосекционных трансформаторов, которые возникают при групповом включении секций. По мнению авторов, настоящая статья завершает построение теории пьезоэлектрических трансформаторов с радиальными колебаниями в тонких, поляризованных по толщине, пьезокерамических дисках.

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

Введение. Актуальность применения различных функциональных элементов пьезоэлектроники в силовых и информационных системах объясняется, прежде всего, их высокой надежностью [1]. Одним из основных элементов таких систем является пьезокерамический трансформатор [2].

Конечной целью математического моделирования физического состояния колеблющихся пьезокерамических элементов является качественное и количественное описание характеристик и параметров существующих в них электрических и упругих полей. В настоящее время отсутствует целостная методика построения математических моделей пьезоэлектрических трансформаторов, которые могли бы использоваться в качестве теоретических основ расчета их характеристик и параметров [3]. Таким образом, актуальность разработки физически содержательных математических моделей дисковых пьезоэлектри-

ческих трансформаторов сохраняется и в настоящее время.

Чрезвычайно широкие возможности пьезотрансформаторов позволяют использовать их при создании разнообразных аналоговых и дискретных устройств преобразования сигналов. Следует отметить, что на основе пьезотрансформаторов возможно создание разнообразных управляющих устройств, способных выполнять различные функции преобразования сигналов. Для этого в элемент пьезотрансформатора вводится дополнительная секция электродов, и связь между секциями осуществляется только механическим путем [4].

Целью данной статьи является показать особенности вычисления коэффициентов трансформации в трансформаторе с несколькими вторичными электрическими цепями, которые возникают из-за акустической связи радиальных колебаний в различных областях пьезокерамического диска.

1. Определение электрических потенциалов во вторичных электрических цепях многосекционного дискового пьезоэлектрического трансформатора

Рассмотрим дисковый пьезоэлектрический трансформатор, который имеет две и более вторичные электрические цепи. Такие трансформаторы в дальнейшем будем называть многосекционными.

На рис. 1 схематически изображен дисковый трансформатор с тремя кольцевыми электродами во вторичных электрических цепях. Электрод первичной электрической цепи имеет форму круга радиуса $R_1^{(2)}$. К нему подключен источник разности электрических потенциалов $U_0 e^{i\omega t}$ (U_0 – амплитуда разности электрических потенциалов; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; ω – круговая частота; t – время). Выходное сопротивление источника электрических потенциалов обозначено на рис. 1 символом Z_1 . Символами $Z_3, \dots, Z_7$ обозначены электрические импедансы нагрузок во вторичных электрических цепях трансформатора. Диск выполнен из поляризованной по толщине пьезокерамики типа ЦТС. Нижняя поверхность ($z = 0$) диска полностью электродирована и заземлена.

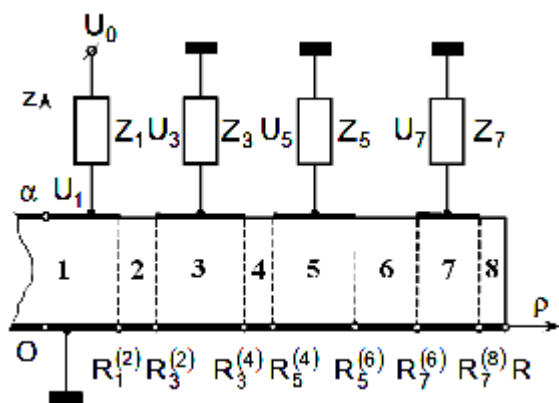


Рис. 1. Расчетная схема пьезоэлектрического трансформатора с тремя вторичными электрическими цепями

$$\sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) = c_{11}\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + c_{12}\varepsilon_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) - e_{31}^*E_z^{(2n+1)},$$

$$\sigma_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) = c_{12}\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + c_{11}\varepsilon_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) - e_{31}^*E_z^{(2n+1)}, \text{ и } n = 0, 1, 2, 3, \quad (2)$$

$$D_z^{(2n+1)}(\rho) = e_{31}^*[\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) + \varepsilon_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho)] + \chi_{33}^*E_z^{(2n+1)}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho)$ и $\sigma_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho)$ – механические напряжения сжатия-растяжения в области $2n + 1$ вдоль радиальной и окружной осей цилиндрической системы координат ρ, ϕ, z

Будем полагать, что амплитудное значение U_0 входного электрического воздействия невелико, т. е. минимум на три порядка меньше разности потенциалов, которая была использована в процессе электрической поляризации диска. При этом пьезоэлектрический трансформатор можно рассматривать как линейную физическую систему, т. е. электрические потенциалы во вторичных электрических цепях изменяются во времени также по гармоническому закону $e^{i\omega t}$. Очевидно, что математической моделью показанного на рис. 1 пьезокерамического трансформатора будет являться набор из трех функций

$$K_{2n+1}(\omega) = \frac{U_{2n+1}(\omega)}{U_0}, n = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где $K_{2n+1}(\omega)$ – коэффициент трансформации в n -й вторичной электрической цепи; $U_{2n+1}(\omega)$ – падение электрического напряжения на электрической нагрузке Z_{2n+1} в n -й вторичной электрической цепи.

Построим выражения для расчета электрических потенциалов $U_{2n+1}(\omega)$.

Будем полагать, что круговая частота ω принадлежит частотному диапазону, в пределах которого пьезокерамический диск можно считать тонким, и утверждать, что его напряженно-деформированное состояние определяется в основном радиальными смещениями материальных частиц. В этом случае физическое состояние пьезоэлектрика в областях под электродами на поверхности $z = \alpha$ определяется обобщенным законом Гука и законом электрической поляризации диэлектрика с пьезоэлектрическими свойствами, которые записываются следующими соотношениями [5].

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

$\varepsilon_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) = \partial u_{\rho}^{(2n+1)}(\rho) / \partial \rho$ и $\varepsilon_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) = u_{\rho}^{(2n+1)}(\rho) / \rho$ - деформации сжатия-растяжения вдоль радиальной и окружной оси; $u_{\rho}^{(2n+1)}(\rho)$ - радиальное смещение материальных частиц пьезокерамического диска. Символами $e_{31}^* = e_{31} - e_{33}c_{12}^E / c_{33}^E$ и $\chi_{33}^* = \chi_{33} + e_{33}^2 / c_{33}^E$ обозначены пьезоэлектрический модуль и диэлектрическая проницаемость для режима планарных колебаний. Символом $E_z^{(2n+1)}$ в соотношениях (2) и (3) обозначена напряженность электрического поля под $2n + 1$ -ым электродом; $D_z^{(2n+1)}(\rho)$ - аксиальный компонент вектора электрической индукции. Матрицы материальных констант $c_{\beta\lambda}^E$, $e_{k\beta}$ и χ_{ij} поляризованной в направлении координатной оси Oz пьезокерамики приведены в работе [5]. Там же показано, что $E_z^{(2n+1)} = -U_{2n+1}(\omega) / \alpha$.

Для кольцевых областей с четными номерами $m = 2, 4, 6, 8$, поверхности $z = \alpha$ не покрыты слоем металла, электрическая индукция $D_z^{(m)}(\rho) = 0$, а механические напряжения $\sigma_{\rho\rho}^{(m)}(\rho)$ и $\sigma_{\phi\phi}^{(m)}(\rho)$ определяются следующим образом:

$$\sigma_{\rho\rho}^{(m)}(\rho) = c_{11}^D \frac{\partial u_{\rho}^{(m)}(\rho)}{\partial \rho} + c_{12}^D \frac{u_{\rho}^{(m)}(\rho)}{\rho},$$

$$Q_{2n+1}(\omega) = 2\pi e_{31}^* \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right] - C_{2n+1}^* U_{2n+1}(\omega),$$

где $C_{2n+1}^* = \pi \left[\left(R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} \right)^2 \right] \chi_{33}^* / \alpha$ - электрическая емкость $(2n + 1)$ -го кольцевого электрода.

$$Q_{2n+1}(\omega) = \frac{2\pi e_{31}^* C_{2n+1}^*}{\chi_{33}^* \left[\left(R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} \right)^2 \right]} \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right] - C_{2n+1}^* U_{2n+1}(\omega). \quad (6)$$

Так как $U_{2n+1}(\omega) = I_{2n+1} Z_{2n+1}$ ($n = 1, 2, 3$), деление (5) электрического тока I_{2n+1} , можно то, после подстановки выражения (6) в опре- записать

$$U_{2n+1}(\omega) = \frac{2\pi e_{31}^* f_{2n+1}(\omega)}{\chi_{33}^* \left[\left(R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} \right)^2 \right]} \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} u_{\rho}^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right], \quad (7)$$

где $f_{2n+1}(\omega) = -i\omega C_{2n+1}^* Z_{2n+1} / [1 - i\omega C_{2n+1}^* Z_{2n+1}]$ - функция включения $(2n + 1)$ -го кольцевого

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

где $c_{11}^D = c_{11} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^*$, $c_{12}^D = c_{12} + (e_{31}^*)^2 / \chi_{33}^*$

- модули упругости тонкого пьезокерамического диска в режиме постоянства (равенства нулю) электрической индукции.

Амплитуды электрических токов $I_{2n+1}(\omega)$ во вторичных электрических цепях пьезоэлектрического трансформатора определяются скоростью изменения электрического заряда $Q_{2n+1}(\omega)$ на $(2n + 1)$ -ом кольцевом электроде, причем

$$I_{2n+1}(\omega) = -i\omega Q_{2n+1}(\omega), \quad n = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Амплитудные значения электрических зарядов

$$Q_{2n+1}(\omega) = 2\pi \int_{R_{2n+1}^{(2n)}}^{R_{2n+1}^{(2n+2)}} \rho D_z^{(2n+1)}(\rho) d\rho, \quad n = 1, 2, 3,$$

где $R_{2n+1}^{(2n)}$ и $R_{2n+1}^{(2n+2)}$ - левая и правая границы кольцевой области под электродом номера $2n + 1$ (рис. 1). Поскольку

$$D_z^{(2n+1)}(\rho) = e_{31}^* \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} [\rho u_{\rho}^{(2n+1)}(\rho)] - \chi_{33}^* \frac{U_{2n+1}(\omega)}{\alpha},$$

постольку

Выражение для расчета электрического заряда на $(2n + 1)$ -ом электроде можно записать в следующем виде

электрода во вторичную электрическую цепь.

Для того, чтобы наполнить соотношения (7) конкретным содержанием, необходи-

мо корректно определить радиальные смещения в различных областях пьезокерамического диска.

2. Определение радиальных смещений материальных частиц диска и построение математической модели многосекционного трансформатора

Радиальные смещения $u_p^{(k)}(\rho)$ ($k = 1, 2, \dots, 8$) во всех областях диска удовлетворяют одному и тому уравнению установившихся радиальных колебаний тонкого пьезокерамического диска, которое можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial \sigma_{pp}^{(k)}(\rho)}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} [\sigma_{pp}^{(k)}(\rho) - \sigma_{\phi\phi}^{(k)}(\rho)] + \rho_0 \omega^2 u_p^{(k)}(\rho) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, 8, \quad (8)$$

где ρ_0 – плотность пьезокерамики; $\sigma_{pp}^{(k)}(\rho)$ и $\sigma_{\phi\phi}^{(k)}(\rho)$ – нормальные механические напряжения в k -ой по номеру области пьезокерамического диска, определенные соотношениями (2) для областей нечетных номеров (рис. 1) и

$$\begin{aligned} \sigma_{pp}^{(2n+1)}(\rho) &= c_{11} \left[\frac{\partial u_p^{(2n+1)}(\rho)}{\partial \rho} + \xi \frac{u_p^{(2n+1)}(\rho)}{\rho} + \frac{e_{31}^*}{c_{11}\alpha} U_{2n+1}(\omega) \right], \\ \sigma_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) &= c_{11} \left[\xi \frac{\partial u_p^{(2n+1)}(\rho)}{\partial \rho} + \frac{u_p^{(2n+1)}(\rho)}{\rho} + \frac{e_{31}^*}{c_{11}\alpha} U_{2n+1}(\omega) \right], \end{aligned} \quad (10)$$

где $\xi = c_{12}/c_{11} < 1$ – безразмерный параметр.

Подставляя выражения (10) в уравнение

$$\rho^2 \frac{\partial^2 u_p^{(2n+1)}}{\partial \rho^2} + \rho \frac{\partial u_p^{(2n+1)}}{\partial \rho} + [k\rho^2 - 1] u_p^{(2n+1)} = 0, \quad (11)$$

где $k = \omega/\sqrt{c_{11}/\rho_0}$ – волновое число радиальных колебаний в $2n + 1$ -ой области под соответствующим электродом. Решение уравне-

$$u_p^{(1)}(\rho) = A_1 J_1(k\rho) \forall \rho \in [0, R_1^{(2)}], \quad u_p^{(3)}(\rho) = A_4 J_1(k\rho) + A_5 N_1(k\rho) \forall \rho \in [R_3^{(2)}, R_3^{(4)}],$$

$$u_p^{(5)}(\rho) = A_8 J_1(k\rho) + A_9 N_1(k\rho) \forall \rho \in [R_5^{(4)}, R_5^{(6)}], \quad u_p^{(7)}(\rho) = A_{12} J_1(k\rho) + A_{13} N_1(k\rho) \forall \rho \in [R_7^{(6)}, R_7^{(8)}], \quad (12)$$

где $A_1, \dots, A_{13}$ – подлежащие определению константы; $J_1(k\rho)$ и $N_1(k\rho)$ – функции Бесселя и Неймана первого порядка.

Подстановка выражений (4) в уравнение установившихся радиальных колебаний (8) позволяет привести его к следующему виду

$$\rho^2 \frac{\partial^2 u_p^{(m)}}{\partial \rho^2} + \rho \frac{\partial u_p^{(m)}}{\partial \rho} + [(\gamma\rho)^2 - 1] u_p^{(m)} = 0, \quad m = 2, 4, 6, 8, \quad (13)$$

формулами (4) для кольцевых областей с четными номерами.

Для единообразного описания механических напряжений $\sigma_{pp}^{(2n+1)}(\rho)$ и $\sigma_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho)$ ($n = 0, 1, 2, 3$) в областях под электродами, будем полагать, что амплитудное значение потенциала на электроде первичной электрической цепи является известной величиной U_1 , которая определяется стандартным соотношением:

$$U_1 = \frac{U_0 Z_{эл}^{(1)}}{Z_1 + Z_{эл}^{(1)}}, \quad (9)$$

где $Z_{эл}^{(1)}$ – электрический импеданс первой области пьезокерамического диска.

Так как $E_z^{(2n+1)} = -U_{2n+1}(\omega)/\alpha$ ($n = 0, 1, 2, 3$), а деформации $\varepsilon_{pp}^{(2n+1)}(\rho) = \partial u_p^{(2n+1)}(\rho)/\partial \rho$ и $\varepsilon_{\phi\phi}^{(2n+1)}(\rho) = u_p^{(2n+1)}(\rho)/\rho$, то выражения (2) можно записать в следующем виде

(8), получаем следующую конструкцию

ния (11) для областей электрического диска под электродами имеют следующий вид:

где $\gamma = \omega/\sqrt{c_{11}^D/\rho_0}$ – волновое число радиальных колебаний в неэлектродированных кольцевых областях диска. Решения уравнения (13) для этих областей имеют вид:

$$u_p^{(2)}(\rho) = A_2 J_1(\gamma\rho) + A_3 N_1(\gamma\rho) \forall \rho \in [R_1^{(2)}, R_3^{(2)}],$$

$$u_p^{(4)}(\rho) = A_6 J_1(\gamma\rho) + A_7 N_1(\gamma\rho) \forall \rho \in [R_3^{(4)}, R_5^{(4)}],$$

$$u_p^{(6)}(\rho) = A_{10} J_1(\gamma\rho) + A_{11} N_1(\gamma\rho) \forall \rho \in [R_5^{(6)}, R_7^{(6)}],$$

$$u_p^{(8)}(\rho) = A_{14} J_1(\gamma\rho) + A_{15} N_1(\gamma\rho) \forall \rho \in [R_7^{(8)}, R], \quad (14)$$

где $A_2, \dots, A_{15}$ – подлежащие определению

константы; $J_1(\gamma\rho)$ и $N_1(\gamma\rho)$ - по-прежнему функции Бесселя и Неймана.

Единственное (однозначное) описание смещений $u_p^{(2n+1)}(\rho)$ ($n = 0, 1, 2, 3$) и $u_p^{(m)}(\rho)$ ($m = 2, 4, 6, 8$) предполагает корректное определение всех пятнадцати констант $A_1, \dots, A_{15}$.

На условных границах разделения областей, т. е. на окружностях $R_{2n+1}^{(m)}$

$$\begin{aligned} u_p^{(2n+1)}(\rho) - u_p^{(m)}(\rho) &= 0 \quad \forall \rho = R_{2n+1}^{(m)}, \\ \sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) - \sigma_{\rho\rho}^{(m)}(\rho) &= 0 \quad \forall \rho = R_{2n+1}^{(m)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Не трудно подсчитать (рис. 1), что условных границ раздела $R_{2n+1}^{(m)}$ кольцевых областей диска всего семь. Следовательно, условия сопряжения (15) образуют всего четырнадцать уравнений, в которых содержится пятнадцать искомым констант $A_1, \dots, A_{15}$. Недостающее, пятнадцатое, уравнение доставляет условие на границе $\rho = R$ пьезокерамического диска. Будем полагать, что на контуре

($n = 0, 1, 2, 3$; $m = 2, 4, 6, 8$) должны выполняться условия кинематического и динамического сопряжения напряженно-деформированного состояния в области под электродом и в области без электродирования верхней поверхности $z = \alpha$ пьезоэлектрического диска. Эти условия записываются следующими соотношениями:

$\rho = R$ реализовано абсолютно мягкое закрепление диска. При этом, согласно третьему закону Ньютона, должно выполняться условие

$$\sigma_{\rho\rho}^{(8)}(R) = 0. \quad (16)$$

Подставляя решения (12) и (14) в соотношения (2) и (4), получаем следующие выражения для расчета нормальных напряжений $\sigma_{\rho\rho}^{(k)}(\rho)$:

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho\rho}^{(1)}(\rho) &= c_{11}k \left\{ A_1 \left[J_0(k\rho) - \frac{1-\xi}{k\rho} J_1(k\rho) \right] + \frac{e_{31}^* U_1}{c_{11}k\alpha} \right\}, \\ \sigma_{\rho\rho}^{(2n+1)}(\rho) &= c_{11}k \left\{ A_{4n} \left[J_0(k\rho) - \frac{1-\xi}{k\rho} J_1(k\rho) \right] + \right. \\ &+ A_{4n+1} \left[N_0(k\rho) - \frac{1-\xi}{k\rho} N_1(k\rho) \right] + \frac{e_{31}^* U_{2n+1}}{c_{11}k\alpha} \left. \right\}, \quad n = 1, 2, 3, \\ \sigma_{\rho\rho}^{(2m)}(\rho) &= c_{11}^D \gamma \left\{ A_{4m-2} \left[J_0(\gamma\rho) - \frac{1-\xi_1}{\gamma\rho} J_1(\gamma\rho) \right] + \right. \\ &+ A_{4m-1} \left[N_0(\gamma\rho) - \frac{1-\xi_1}{\gamma\rho} N_1(\gamma\rho) \right] \left. \right\}, \quad m = 1, 2, 3, 4, \end{aligned} \quad (17)$$

где $\xi = c_{12}/c_{11}$; $\xi_1 = c_{12}^D/c_{11}^D$.

Подставляя решения (12), (14) и определения (17) в условия (15) и (16), получаем неоднородную систему из пятнадцати линейных алгебраических уравнений, в которых содержится пятнадцать искомым констант $A_1, \dots, A_{15}$. Очевидно, что эта система уравнений разрешается относительно искомым констант единственным образом. В общем виде эта система уравнений может быть записана следующим образом:

$$m_j^{(k)} A_k = P_j, \quad j, k = 1, 2, \dots, 15, \quad (18)$$

где предполагается суммирование по дважды повторяющемуся индексу k .

Определитель D_0 системы уравнений (18) является определителем ленточной матрицы $M_0 = \|m_j^{(k)}\|$, ненулевые элементы $m_j^{(k)}$ (j - номер строки; k - номер столбца) которой сосредоточены в окрестности диагонали, проведенной из левого верхнего угла в правый нижний угол. Ненулевые элементы матрицы M_0 определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} m_1^{(1)} &= J_1(kR_1^{(2)}); \quad m_1^{(2)} = -J_1(\gamma R_1^{(2)}); \\ m_1^{(3)} &= -N_1(\gamma R_1^{(2)}); \\ m_2^{(1)} &= J_0(kR_1^{(2)}) - \frac{1-\xi}{kR_1^{(2)}} J_1(kR_1^{(2)}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_2^{(2)} &= -\eta \left[J_0(\gamma R_1^{(2)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_1^{(2)}} J_1(\gamma R_1^{(2)}) \right]; & m_{10}^{(8)} &= \left[J_0(kR_5^{(6)}) - \frac{1-\xi}{kR_5^{(6)}} J_1(kR_5^{(6)}) \right]; \\
m_2^{(3)} &= -\eta \left[N_0(\gamma R_1^{(2)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_1^{(2)}} N_1(\gamma R_1^{(2)}) \right]; \quad \eta = \frac{c_{11}^D \gamma}{c_{11} k}; & m_{10}^{(9)} &= \left[N_0(kR_5^{(6)}) - \frac{1-\xi}{kR_5^{(6)}} N_1(kR_5^{(6)}) \right]; \\
m_3^{(2)} &= J_1(\gamma R_3^{(2)}); \quad m_3^{(3)} = N_1(\gamma R_3^{(2)}); & m_{10}^{(10)} &= -\eta \left[J_0(\gamma R_5^{(6)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_5^{(6)}} J_1(\gamma R_5^{(6)}) \right]; \\
m_3^{(4)} &= -J_1(kR_3^{(2)}); \quad m_3^{(5)} = -N_1(kR_3^{(2)}); & m_{10}^{(11)} &= -\eta \left[N_0(\gamma R_5^{(6)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_5^{(6)}} N_1(\gamma R_5^{(6)}) \right]; \\
m_4^{(2)} &= \eta \left[J_0(\gamma R_3^{(2)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_3^{(2)}} J_1(\gamma R_3^{(2)}) \right]; & m_{11}^{(10)} &= J_1(\gamma R_7^{(6)}); \quad m_{11}^{(11)} = N_1(\gamma R_7^{(6)}); \\
m_4^{(3)} &= \eta \left[N_0(\gamma R_3^{(2)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_3^{(2)}} N_1(\gamma R_3^{(2)}) \right]; & m_{11}^{(12)} &= -J_1(kR_7^{(6)}); \quad m_{11}^{(13)} = -N_1(kR_7^{(6)}); \\
m_4^{(4)} &= -\left[J_0(kR_3^{(2)}) - \frac{1-\xi}{kR_3^{(2)}} J_1(kR_3^{(2)}) \right]; & m_{12}^{(10)} &= \eta \left[J_0(\gamma R_7^{(6)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_7^{(6)}} J_1(\gamma R_7^{(6)}) \right]; \\
m_4^{(5)} &= -\left[N_0(kR_3^{(2)}) - \frac{1-\xi}{kR_3^{(2)}} N_1(kR_3^{(2)}) \right]; & m_{12}^{(11)} &= \eta \left[N_0(\gamma R_7^{(6)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_7^{(6)}} N_1(\gamma R_7^{(6)}) \right]; \\
m_5^{(4)} &= J_1(kR_3^{(4)}); \quad m_5^{(5)} = N_1(kR_3^{(4)}); & m_{12}^{(12)} &= -\left[J_0(kR_7^{(6)}) - \frac{1-\xi}{kR_7^{(6)}} J_1(kR_7^{(6)}) \right]; \\
m_5^{(6)} &= -J_1(\gamma R_3^{(4)}); \quad m_5^{(7)} = -N_1(\gamma R_3^{(4)}); & m_{12}^{(13)} &= -\left[N_0(kR_7^{(6)}) - \frac{1-\xi}{kR_7^{(6)}} N_1(kR_7^{(6)}) \right]; \\
m_6^{(4)} &= \left[J_0(kR_3^{(4)}) - \frac{1-\xi}{kR_3^{(4)}} J_1(kR_3^{(4)}) \right]; & m_{13}^{(12)} &= J_1(kR_7^{(8)}); \quad m_{13}^{(13)} = N_1(kR_7^{(8)}); \\
m_6^{(5)} &= \left[N_0(kR_3^{(4)}) - \frac{1-\xi}{kR_3^{(4)}} N_1(kR_3^{(4)}) \right]; & m_{13}^{(14)} &= -J_1(\gamma R_7^{(8)}); \quad m_{13}^{(15)} = -N_1(\gamma R_7^{(8)}); \\
m_6^{(6)} &= -\eta \left[J_0(\gamma R_3^{(4)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_3^{(4)}} J_1(\gamma R_3^{(4)}) \right]; & m_{14}^{(12)} &= \left[J_0(kR_7^{(8)}) - \frac{1-\xi}{kR_7^{(8)}} J_1(kR_7^{(8)}) \right]; \\
m_6^{(7)} &= -\eta \left[N_0(\gamma R_3^{(4)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_3^{(4)}} N_1(\gamma R_3^{(4)}) \right]; & m_{14}^{(13)} &= \left[N_0(kR_7^{(8)}) - \frac{1-\xi}{kR_7^{(8)}} N_1(kR_7^{(8)}) \right]; \\
m_7^{(6)} &= J_1(\gamma R_5^{(4)}); \quad m_7^{(7)} = N_1(\gamma R_5^{(4)}); & m_{14}^{(14)} &= -\eta \left[J_0(\gamma R_7^{(8)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_7^{(8)}} J_1(\gamma R_7^{(8)}) \right]; \\
m_7^{(8)} &= -J_1(kR_5^{(4)}); \quad m_7^{(9)} = -N_1(kR_5^{(4)}); & m_{14}^{(15)} &= -\eta \left[N_0(\gamma R_7^{(8)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_7^{(8)}} N_1(\gamma R_7^{(8)}) \right]; \\
m_8^{(6)} &= \eta \left[J_0(\gamma R_5^{(4)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_5^{(4)}} J_1(\gamma R_5^{(4)}) \right]; & m_{15}^{(14)} &= \left[J_0(\gamma R) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R} J_1(\gamma R) \right]; \\
m_8^{(7)} &= \eta \left[N_0(\gamma R_5^{(4)}) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R_5^{(4)}} N_1(\gamma R_5^{(4)}) \right]; & m_{15}^{(15)} &= \left[N_0(\gamma R) - \frac{1-\xi_1}{\gamma R} N_1(\gamma R) \right]. \\
m_8^{(8)} &= -\left[J_0(kR_5^{(4)}) - \frac{1-\xi}{kR_5^{(4)}} J_1(kR_5^{(4)}) \right]; & & \\
m_8^{(9)} &= -\left[N_0(kR_5^{(4)}) - \frac{1-\xi}{kR_5^{(4)}} N_1(kR_5^{(4)}) \right]; & & \\
m_9^{(8)} &= J_1(kR_5^{(6)}); \quad m_9^{(9)} = N_1(kR_5^{(6)}); & & \\
m_9^{(10)} &= -J_1(\gamma R_5^{(6)}); \quad m_9^{(11)} = -N_1(\gamma R_5^{(6)}); & &
\end{aligned}$$

Правые части P_j системы уравнений

(18) определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}
P_1 &= P_3 = P_5 = P_7 = P_9 = P_{11} = P_{13} = P_{15} = 0; \\
P_2 &= -e_{31}^* U_1 / (c_{11} k \alpha); \quad P_4 = e_{31}^* U_3 / (c_{11} k \alpha); \\
P_6 &= -e_{31}^* U_3 / (c_{11} k \alpha); \quad P_8 = e_{31}^* U_5 / (c_{11} k \alpha); \\
P_{10} &= -e_{31}^* U_5 / (c_{11} k \alpha); \quad P_{12} = e_{31}^* U_7 / (c_{11} k \alpha); \\
P_{14} &= -e_{31}^* U_7 / (c_{11} k \alpha).
\end{aligned}$$

Решения системы уравнений (18) для коэффициентов A_1 , A_{4n} и A_{4n+1} ($n = 1, 2, 3$), которые определяют радиальные смещения материальных частиц пьезокерамического

диска в областях номера $2n + 1$ записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} [U_1 M_1^{(2)} + U_3 N_1^{(4,6)} + U_5 N_1^{(8,10)} + U_7 N_1^{(12,14)}], \\ A_{4n} &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} [-U_1 M_{4n}^{(2)} + U_3 N_{4n}^{(4,6)} + U_5 N_{4n}^{(8,10)} + U_7 N_{4n}^{(12,14)}], \\ A_{4n+1} &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} [U_1 M_{4n+1}^{(2)} + U_3 N_{4n+1}^{(4,6)} + U_5 N_{4n+1}^{(8,10)} + U_7 N_{4n+1}^{(12,14)}], \end{aligned} \quad (19)$$

где $M_j^{(k)}$ - алгебраическое дополнение, которое получается из матрицы M_0 путем вычеркивания j -ой строки и k -го столбца;

$$\begin{aligned} N_1^{(4,6)} &= -M_1^{(4)} + M_1^{(6)}; & N_1^{(8,10)} &= -M_1^{(8)} + M_1^{(10)}; \\ N_1^{(12,14)} &= -M_1^{(12)} + M_1^{(14)}; & N_{4n}^{(4,6)} &= M_{4n}^{(4)} - M_{4n}^{(6)}; \\ N_{4n}^{(4,6)} &= M_{4n}^{(4)} - M_{4n}^{(6)}; & N_{4n}^{(8,10)} &= M_{4n}^{(8)} - M_{4n}^{(10)}; \\ N_{4n}^{(12,14)} &= M_{4n}^{(12)} - M_{4n}^{(14)}; & N_{4n+1}^{(4,6)} &= -M_{4n+1}^{(4)} + M_{4n+1}^{(6)}; \\ N_{4n+1}^{(8,10)} &= -M_{4n+1}^{(8)} + M_{4n+1}^{(10)}; \\ N_{4n+1}^{(12,14)} &= -M_{4n+1}^{(12)} + M_{4n+1}^{(14)}. \end{aligned}$$

Из записи соотношений (19) отчетливо видно, что все коэффициенты A_1 , A_{4n} и A_{4n+1} зависят от всех электрических потенциалов U_{2n+1} ($n = 0, 1, 2, 3$). Из этого факта

$$U_{2n+1} = U_1 F_1^{(2n+1)}(k, R) + U_3 F_3^{(2n+1)}(k, R) + U_5 F_5^{(2n+1)}(k, R) + U_7 F_7^{(2n+1)}(k, R), \quad (20)$$

где

$$F_1^{(2n+1)}(k, R) = F_0^{(2n+1)} \left[-J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) M_{4n}^{(2)} + N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) M_{4n+1}^{(2)} \right];$$

$$F_0^{(2n+1)} = \frac{2K_{31}^2 f_{2n+1}(\omega)}{\left\{ 1 - \left[R_{2n+1}^{(2n)} / R_{2n+1}^{(2n+2)} \right]^2 \right\} k R_{2n+1}^{(2n+2)} D_0};$$

$$K_{31}^2 = \frac{(e_{31}^*)^2}{\chi_{33} c_{11}} - \text{квадрат коэффициента электромеханической связи для режима радиальных колебаний в тонком пьезокерамическом диске};$$

трехмеханической связи для режима радиальных колебаний в тонком пьезокерамическом диске;

$$\begin{aligned} J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) &= J_1(k R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} J_1(k R_{2n+1}^{(2n)}) / R_{2n+1}^{(2n+2)}; \\ N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) &= N_1(k R_{2n+1}^{(2n+2)}) - R_{2n+1}^{(2n)} N_1(k R_{2n+1}^{(2n)}) / R_{2n+1}^{(2n+2)}; \\ F_3^{(2n+1)}(k, R) &= F_0^{(2n+1)} \left[J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n}^{(4,6)} + N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n+1}^{(4,6)} \right]; \\ F_5^{(2n+1)}(k, R) &= F_0^{(2n+1)} \left[J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n}^{(8,10)} + N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n+1}^{(8,10)} \right]; \\ F_7^{(2n+1)}(k, R) &= F_0^{(2n+1)} \left[J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n}^{(12,14)} + N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) N_{4n+1}^{(12,14)} \right]. \end{aligned}$$

Систему из трех соотношений (20) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_3 [F_3^{(3)}(k, R) - 1] + U_5 F_5^{(3)}(k, R) + U_7 F_7^{(3)}(k, R) &= -U_1 F_1^{(3)}(k, R), \\ U_3 F_3^{(5)}(k, R) + U_5 [F_5^{(5)}(k, R) - 1] + U_7 F_7^{(5)}(k, R) &= -U_1 F_1^{(5)}(k, R), \end{aligned}$$

$$U_3 F_3^{(7)}(k, R) + U_5 F_5^{(7)}(k, R) + U_7 [F_7^{(7)}(k, R) - 1] = -U_1 F_1^{(7)}(k, R). \quad (21)$$

Совершенно ясно, что система уравнений (21) позволяет единственным образом определить потенциалы U_3 , U_5 и U_7 через потенциал U_1 . Решение системы уравнений (21) можно записать в следующем виде:

$$U_{2n+1} = -U_1 \Psi_{2n+1}(k, R), \quad n = 1, 2, 3, \quad (22)$$

где безразмерная частотно зависящая функция $\Psi_{2n+1}(k, R) = \Xi_{2n+1}(k, R) / \Xi_0(k, R)$; функции $\Xi_0(k, R)$ и $\Xi_{2n+1}(k, R)$ определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \Xi_0(k, R) &= \det \begin{vmatrix} F_3^{(3)}(k, R) - 1 & F_5^{(3)}(k, R) & F_7^{(3)}(k, R) \\ F_3^{(5)}(k, R) & F_5^{(5)}(k, R) - 1 & F_7^{(5)}(k, R) \\ F_3^{(7)}(k, R) & F_5^{(7)}(k, R) & F_7^{(7)}(k, R) - 1 \end{vmatrix}; \\ \Xi_3(k, R) &= \det \begin{vmatrix} F_1^{(3)}(k, R) & F_5^{(3)}(k, R) & F_7^{(3)}(k, R) \\ F_1^{(5)}(k, R) & F_5^{(5)}(k, R) - 1 & F_7^{(5)}(k, R) \\ F_1^{(7)}(k, R) & F_5^{(7)}(k, R) & F_7^{(7)}(k, R) - 1 \end{vmatrix}; \\ \Xi_5(k, R) &= \det \begin{vmatrix} F_3^{(3)}(k, R) - 1 & F_1^{(3)}(k, R) & F_7^{(3)}(k, R) \\ F_3^{(5)}(k, R) & F_1^{(5)}(k, R) & F_7^{(5)}(k, R) \\ F_3^{(7)}(k, R) & F_1^{(7)}(k, R) & F_7^{(7)}(k, R) - 1 \end{vmatrix}; \\ \Xi_7(k, R) &= \det \begin{vmatrix} F_3^{(3)}(k, R) - 1 & F_5^{(3)}(k, R) & F_1^{(3)}(k, R) \\ F_3^{(5)}(k, R) & F_5^{(5)}(k, R) - 1 & F_1^{(5)}(k, R) \\ F_3^{(7)}(k, R) & F_5^{(7)}(k, R) & F_1^{(7)}(k, R) \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Для того, чтобы определить потенциал U_1 , необходимо рассчитать электрический импеданс $Z_{\text{эл}}^{(1)}$ области №1, т. е. круговой области пьезокерамического диска под электродом первичной электрической цепи.

Очевидно, что $Z_{\text{эл}}^{(1)} = U_1 / I_1$, где I_1 - амплитуда электрического тока в первичной электрической цепи. Ранее [5] было показано, что $I_1 = -i\omega Q_1(\omega)$, где $Q_1(\omega)$ - амплитудное значение электрического заряда на электроде первичной электрической цепи. Так как

$$Q_1(\omega) = 2\pi \int_0^{R_1^{(2)}} \rho D_z^{(1)}(\rho) d\rho = 2\pi \int_0^{R_1^{(2)}} \rho \left\{ \frac{e_{31}^*}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} [\rho u_\rho^{(1)}(\rho)] - \chi_{33}^* \frac{U_1}{\alpha} \right\} d\rho,$$

то, принимая во внимание, что $u_\rho^{(1)}(\rho) = A_1 J_1(k\rho)$, можно записать

$$Q_1(\omega) = C_1^* \left[\frac{2e_{31}^* \alpha}{\chi_{33}^* R_1^{(2)}} A_1 J_1(k R_1^{(2)}) - U_1 \right] = C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1], \quad (23)$$

где $C_1^* = \pi (R_1^{(2)})^2 \chi_{33}^* / \alpha$ - динамическая электрическая емкость области под круговым электродом первичной электрической цепи;

$\Psi_1(k, R)$ - безразмерная функция, числовые значения которой рассчитываются по формуле

$$\Psi_1(k, R) = \frac{2K_{31}^2 J_1^2(k R_1^{(2)})}{k R_1^{(2)} D_0} [M_1^{(2)} - \Psi_3(k, R) N_1^{(4,6)} - \Psi_5(k, R) N_1^{(8,10)} - \Psi_7(k, R) N_1^{(12,14)}].$$

Подставляя выражение (23) в определение амплитудного значения тока I_1 , а полученный результат - в формулу для расчета электрического импеданса $Z_{\text{эл}}^{(1)}$, получаем

$$Z_{\text{эл}}^{(1)} = \frac{1}{-i\omega C_1^* [\Psi_1(k, R) - 1]}. \quad (24)$$

Подставляя выражение (24) в определение (9) потенциала U_1 , получаем следующую расчетную формулу

$$U_1 = \frac{U_0}{1 - i\omega C_1^* Z_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}.$$

Подставляя последнее выражение в формулу (22), получаем

$$U_{2n+1}(\omega) = - \frac{U_0 \Psi_{2n+1}(k, R)}{1 - i\omega C_1^* Z_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}, \quad n = 1, 2, 3.$$

Из последних равенств следуют опреде-

$$K_{2n+1}(\omega) = - \frac{\Psi_{2n+1}(k, R)}{1 - i\omega C_1^* Z_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}, \quad n = 1, 2, 3. \quad (25)$$

Выражение (25) отличается от всех известных, полученных другими авторами результатов, тем, что оно построено с учетом акустической обратной связи, которая существует между областью под электродом первичной электрической цепи и всеми без исключения областями, расположенными под электродами вторичных электрических цепей.

3. Математическое моделирование многосекционного дискового пьезоэлектрического трансформатора при групповом включении секций

В некоторых случаях оказывается целесообразным групповое включение секций многосекционного дискового пьезоэлектрического трансформатора.

Рассмотрим возникающие в этих ситуациях особенности расчета коэффициентов трансформации.

На рис. 2, а показана расчетная схема четырехсекционного пьезоэлектрического трансформатора, у которого в первичную электрическую цепь включены два электрода. Подобное включение позволяет, в принципе, увеличить мощность сигналов во вторичных электрических цепях. Два других кольцевых электрода включены в две различные вторичные электрические цепи.

Расчет коэффициентов трансформации $K_{2n+1}(\omega)$ ($n = 1; 3$) трансформатора, показанного на рис. 2, а, выполняется по схеме, которая описана в разделе 2.

Прежде всего, вводим потенциал U_1 (рис. 2, а), который, очевидно, определяется следующим образом

$$U_1 = \frac{U_0 Z_{эл}^{(1,5)}}{Z_1 + Z_{эл}^{(1,5)}}, \quad (26)$$

где $Z_{эл}^{(1,5)}$ – электрический импеданс, образованный параллельным включением электрических импедансов $Z_{эл}^{(1)}$ и $Z_{эл}^{(5)}$ областей №1 и

ления компонентов $K_{2n+1}(\omega)$ математической модели многосекционного пьезоэлектрического трансформатора:

№5 дискового трансформатора. Очевидно, что $Z_{эл}^{(1,5)} = Z_{эл}^{(1)} Z_{эл}^{(5)} / (Z_{эл}^{(1)} + Z_{эл}^{(5)})$.

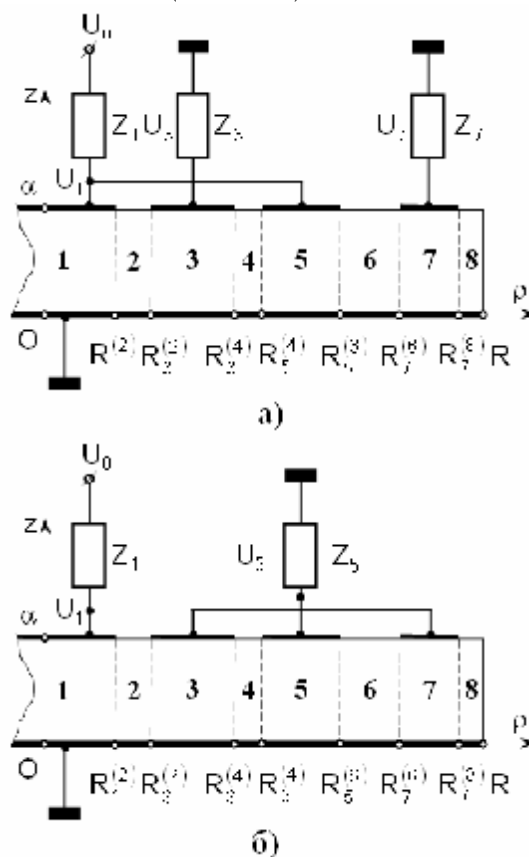


Рис. 2. Расчетные схемы многосекционных пьезоэлектрических трансформаторов с групповыми включениями секций

Затем определяются коэффициенты A_1 , A_{4n} и A_{4n+1} ($n = 1, 2, 3$), которые формируют общие решения (12), т. е. радиальные смещения $u_p^{(2n+1)}(\rho)$ ($n = 0, 1, 2, 3$) материальных частей в областях диска под электродами. Коэффициенты A_1 , A_{4n} и A_{4n+1} ($n = 1, 2, 3$) задаются следующими выражениями

$$\begin{aligned}
A_1 &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} \left[U_1 (M_1^{(2)} + N_1^{(8,10)}) + U_3 N_1^{(4,6)} + U_7 N_1^{(12,14)} \right], \\
A_{4n} &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} \left[U_1 (-M_{4n}^{(2)} + N_{4n}^{(8,10)}) + U_3 N_{4n}^{(4,6)} + U_7 N_{4n}^{(12,14)} \right], \\
A_{4n+1} &= \frac{e_{31}^*}{c_{11}k\alpha D_0} \left[U_1 (M_{4n+1}^{(2)} + N_{4n+1}^{(8,10)}) + U_3 N_{4n+1}^{(4,6)} + U_7 N_{4n+1}^{(12,14)} \right],
\end{aligned} \quad (27)$$

где величины D_0 , $M_k^{(2)}$, $N_k^{(4,6)}$, $N_k^{(8,10)}$ и $N_k^{(12,14)}$ ($k = 1; 4n; 4n + 1$; $n = 1, 2, 3$) определены в комментариях к выражениям.

Подстановка коэффициентов A_1 , A_{4n} и

$$U_{2n+1} = U_1 F_1^{(2n+1)}(k, R) + U_3 F_3^{(2n+1)}(k, R) + U_7 F_7^{(2n+1)}(k, R), \quad (28)$$

где

$$F_1^{(2n+1)}(k, R) = F_0^{(2n+1)} \left[-J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) (M_{4n}^{(2)} + N_{4n}^{(8,10)}) + N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) (M_{4n+1}^{(2)} + N_{4n+1}^{(8,10)}) \right];$$

функции $F_3^{(2n+1)}(k, R)$ и $F_7^{(2n+1)}(k, R)$ описаны в комментариях к формуле (20).

Из общего определения (28) следует, что

$$U_3 [F_3^{(3)}(k, R) - 1] + U_7 F_7^{(3)}(k, R) = -U_1 F_1^{(3)}(k, R), \quad \text{где}$$

$$\Psi_3(k, R) = \frac{1}{D_2} \{ F_1^{(3)}(k, R) [F_7^{(7)}(k, R) - 1] - F_1^{(7)}(k, R) F_7^{(3)}(k, R) \};$$

$$\Psi_7(k, R) = \frac{1}{D_2} \{ F_1^{(7)}(k, R) [F_3^{(3)}(k, R) - 1] - F_3^{(7)}(k, R) F_1^{(3)}(k, R) \};$$

$$D_2 = [F_3^{(3)}(k, R) - 1][F_7^{(7)}(k, R) - 1] - F_7^{(3)}(k, R) F_3^{(7)}(k, R).$$

Электрические импедансы $Z_{эл}^{(1)}$ и $Z_{эл}^{(5)}$ определяются стандартным образом: $Z_{эл}^{(k)} = U_1 / I_k$ ($k = 1, 5$), где амплитудные значения токов $I_k = -i\omega Q_k$. При этом электрические заряды Q_1 и Q_5 на электродах первичной электрической цепи задаются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
Q_1 &= 2\pi \int_0^{R_1^{(2)}} \rho D_z^{(1)}(\rho) d\rho = 2\pi \int_0^{R_1^{(2)}} \rho \left\{ \frac{e_{31}^*}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} [\rho u_\rho^{(1)}(\rho)] - \chi_{33}^* \frac{U_1}{\alpha} \right\} d\rho = \\
&= C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1]; \\
Q_5 &= 2\pi \int_{R_5^{(4)}}^{R_5^{(6)}} \rho D_z^{(5)}(\rho) d\rho = 2\pi e_{31}^* [R_5^{(6)} u_\rho^{(5)}(R_5^{(6)}) - R_5^{(4)} u_\rho^{(5)}(R_5^{(4)})] - \\
&- \pi \left[(R_5^{(6)})^2 - (R_5^{(4)})^2 \right] \chi_{33}^* \frac{U_1}{\alpha} = C_5^* U_1 [\Psi_5(k, R) - 1],
\end{aligned} \quad (31)$$

где $C_1^* = \pi (R_1^{(2)})^2 \chi_{33}^* / \alpha$ и $C_5^* = \pi \left[(R_5^{(6)})^2 - (R_5^{(4)})^2 \right] \chi_{33}^* / \alpha$ — электрические емкости областей диска под электродами №1 и №5; частотно зависимые безразмерные функции $\Psi_1(k, R)$ и $\Psi_5(k, R)$ рассчитываются по формулам:

$$\Psi_1(k, R) = \frac{2K_{31}^2}{kR_1^{(2)}D_0} J_1(kR_1^{(2)}) [M_1^{(2)} + N_1^{(8,10)} - \Psi_3(k, R) N_1^{(4,6)} - \Psi_7(k, R) N_1^{(12,14)}];$$

$$\Psi_5(k, R) = \frac{2K_{31}^2}{kR_5^{(6)}D_0 \left[1 - (R_5^{(4)}/R_5^{(6)})^2 \right]} \left\{ J_1(k, R_5^{(4)}, R_5^{(6)}) \left[-M_8^{(2)} + N_8^{(8,10)} - \right. \right. \\ \left. \left. - \Psi_3(k, R)N_8^{(4,6)} - \Psi_7(k, R)N_8^{(12,14)} \right] + N_1(k, R_5^{(4)}, R_5^{(6)}) \times \right. \\ \left. \times \left[M_9^{(2)} + N_9^{(8,10)} - \Psi_3(k, R)N_9^{(4,6)} - \Psi_7(k, R)N_9^{(12,14)} \right] \right\};$$

D_0 - определитель системы уравнений (18);

остальные величины определены в комментариях к выражениям (19) и (20).

Так как

$$Z_{3n}^{(1)} = \frac{1}{-i\omega C_1^* [\Psi_1(k, R) - 1]},$$

$$Z_{3n}^{(5)} = \frac{1}{-i\omega C_5^* [\Psi_5(k, R) - 1]},$$

то

$$Z_{3n}^{(1,5)} = \frac{1}{-i\omega C_1^* \left\{ \Psi_1(k, R) - 1 + (C_5^*/C_1^*) [\Psi_5(k, R) - 1] \right\}},$$

и потенциал

$$U_1 = \frac{U_0}{1 - i\omega C_1^* Z_1 \left\{ \Psi_1(k, R) - 1 + (C_5^*/C_1^*) [\Psi_5(k, R) - 1] \right\}}. \quad (32)$$

Подстановка выражения (32) в соотношения (30), позволяет записать их в следующем виде

$$U_{2n+1} = - \frac{U_0 \Psi_{2n+1}(k, R)}{1 - i\omega C_1^* Z_1 \left\{ \Psi_1(k, R) - 1 + (C_5^*/C_1^*) [\Psi_5(k, R) - 1] \right\}}, \quad (n = 1; 3).$$

Из последней записи следует, что

$$K_{2n+1}(\omega) = - \frac{\Psi_{2n+1}(k, R)}{1 - i\omega C_1^* Z_1 \left\{ \Psi_1(k, R) - 1 + (C_5^*/C_1^*) [\Psi_5(k, R) - 1] \right\}}, \quad (n = 1; 3).$$

Математическая модель конструкции, расчетная схема которой показана на рис. 2, б, определяется, очевидно, следующим образом

$$K_5(\omega) = U_5/U_0, \quad (33)$$

где $U_5 = Z_5 I$ - потенциал на электрической нагрузке во вторичной электрической цепи, в которую включены три кольцевых электрода. При этом амплитуда тока I во вторичной электрической цепи определяется следующим

$$I = -i\omega(Q_3 + Q_5 + Q_7), \quad (34)$$

где Q_{2n+1} ($n = 1, 2, 3$) - электрические заряды

на кольцевых электродах, величины которых определяются радиальными смещениями $u_p^{(2n+1)}(\rho)$ материальных частиц пьезоэлектрика.

Радиальные смещения $u_p^{(2n+1)}(\rho)$, в свою очередь, определяются следующим образом

$$u_p^{(2n+1)}(\rho) = A_{4n} J_1(k\rho) + A_{4n+1} N_1(k\rho), \quad (n = 1, 2, 3), \quad (35)$$

где коэффициенты A_{4n} и A_{4n+1} задаются выражениями:

$$A_{4n} = \frac{e_{31}^*}{c_{11} k \alpha D_0} \left\{ -U_1 M_{4n}^{(2)} + U_5 \left[N_{4n}^{(4,6)} + N_{4n}^{(8,10)} + N_{4n}^{(12,14)} \right] \right\}, \\ A_{4n+1} = \frac{e_{31}^*}{c_{11} k \alpha D_0} \left\{ U_1 M_{4n+1}^{(2)} + U_5 \left[N_{4n+1}^{(4,6)} + N_{4n+1}^{(8,10)} + N_{4n+1}^{(12,14)} \right] \right\}. \quad (36)$$

Следуя формуле (6), можно записать, что

$$Q_{2n+1} = \frac{2\alpha e_{31}^* C_{2n+1}^*}{\chi_{33}^* \left[(R_{2n+1}^{(2n+2)})^2 - (R_{2n+1}^{(2n)})^2 \right]} \left[R_{2n+1}^{(2n+2)} u_p^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n+2)}) - \right. \\ \left. - R_{2n+1}^{(2n)} u_p^{(2n+1)}(R_{2n+1}^{(2n)}) \right] - C_{2n+1}^* U_5, \quad n = 1, 2, 3, \quad (37)$$

где $C_{2n+1}^* = (\pi \chi_{33}^* / \alpha) \left[(R_{2n+1}^{(2n+2)})^2 - (R_{2n+1}^{(2n)})^2 \right]$ - электрическая емкость $(2n+1)$ -ой кольцевой области диска.

После подстановки в соотношение (37) коэффициентов A_{4n} и A_{4n+1} , заданных выражениями (36), можно записать, что

$$Q_{2n+1} = C_{2n+1}^* [\beta_{2n+1} U_1 + (\lambda_{2n+1} - 1) U_5], \quad n = 1, 2, 3, \quad (38)$$

где

$$\beta_{2n+1} = \frac{2K_{31}^2}{kR_{2n+1}^{(2n+2)} \left[1 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} / R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 \right] D_0} \left[-M_{4n}^{(2)} J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) + \right. \\ \left. + M_{4n+1}^{(2)} N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) \right]; \lambda_{2n+1} = \frac{2K_{31}^2}{kR_{2n+1}^{(2n+2)} \left[1 - \left(R_{2n+1}^{(2n)} / R_{2n+1}^{(2n+2)} \right)^2 \right] D_0} \left[S_{4n} J_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) + \right. \\ \left. + S_{4n+1} N_1(k, R_{2n+1}^{(2n)}, R_{2n+1}^{(2n+2)}) \right]; \\ S_{4n} = N_{4n}^{(4,6)} + N_{4n}^{(8,10)} + N_{4n}^{(12,14)}; S_{4n+1} = N_{4n+1}^{(4,6)} + N_{4n+1}^{(8,10)} + N_{4n+1}^{(12,14)}.$$

Подставляя амплитудные значения электрических зарядов Q_{2n+1} , заданные соотношениями (38), в определение (34) электрического тока во вторичной электрической цепи, можно записать, что

$$U_5 = Z_5 I = -i\omega Z_5 C_5^* q(\omega) U_1 - i\omega Z_5 C_5^* p(\omega) U_5,$$

$$\text{где } q(\omega) = \frac{C_3^*}{C_5^*} \beta_3 + \beta_5 + \frac{C_7^*}{C_5^*} \beta_7;$$

$$p(\omega) = \frac{C_3^*}{C_5^*} (\lambda_3 - 1) + \lambda_5 - 1 + \frac{C_7^*}{C_5^*} (\lambda_7 - 1).$$

Из последнего уравнения можно записать, что

$$U_5 = -\Psi_5(k, R) U_1, \quad (39)$$

где

$$\Psi_5(k, R) = \frac{i\omega Z_5 C_5^* q(\omega)}{1 + i\omega Z_5 C_5^* p(\omega)}.$$

Для завершения вычислений, как всегда, необходимо определить потенциал U_1 в явном виде.

$$A_1 = \frac{e_{31}^*}{c_{11} k \alpha D_0} \left\{ U_1 M_1^{(2)} + U_5 \left[N_1^{(4,6)} + N_1^{(8,10)} + N_1^{(12,14)} \right] \right\} = \\ = \frac{e_{31}^* U_1}{c_{11} k \alpha D_0} \left\{ M_1^{(2)} - \Psi_5(k, R) \left[N_1^{(4,6)} + N_1^{(8,10)} + N_1^{(12,14)} \right] \right\}.$$

Подставляя определение константы A_1 в формулу для расчета тока I_1 , получаем

$$\Psi_1(k, R) = \frac{2 K_{31}^2}{k R_1^{(2)} D_0} \left\{ M_1^{(2)} - \Psi_5(k, R) \left[N_1^{(4,6)} + N_1^{(8,10)} + N_1^{(12,14)} \right] \right\}.$$

Из определения (41) следует, что

$$Z_{\text{эл}}^{(1)} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{1}{-i\omega C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1]},$$

а потенциал на электроде первичной электрической цепи

$$U_1 = \frac{U_0}{1 - i\omega C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}. \quad (42)$$

С учетом выражения (42), соотношение (39) можно записать в следующем виде

Очевидно, что

$$U_1 = \frac{U_0 Z_{\text{эл}}^{(1)}}{Z_1 + Z_{\text{эл}}^{(1)}}, \quad (40)$$

где $Z_{\text{эл}}^{(1)} = U_1 / I_1$ - электрический импеданс круговой области №1. Амплитуда электрического тока I_1 в первичной электрической цепи определяется стандартным способом:

$$I_1 = -i\omega Q_1 = -i\omega 2\pi \int_0^{R_1^{(2)}} \rho D_z^{(1)}(\rho) d\rho = \\ = -i\omega C_1^* \left\{ \frac{2e_{31}^* \alpha}{\chi_{33}^* R_1^{(2)}} A_1 J_1(k R_1^{(2)}) - U_1 \right\},$$

где $C_1^* = \pi (R_1^{(2)})^2 \chi_{33}^* / \alpha$ - электрическая емкость кругового электрода первичной электрической цепи. Константа A_1 рассчитывается по формуле

$$I_1 = -i\omega C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1], \quad (41)$$

где

$$U_5 = -\frac{U_0 \Psi_5(k, R)}{1 - i\omega C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}.$$

Из последней записи следует определение математической модели трансформатора, расчетная схема которого показана на рис. 2, б:

$$K_5(\omega) = -\frac{\Psi_5(k, R)}{1 - i\omega C_1^* U_1 [\Psi_1(k, R) - 1]}.$$

Рассмотренных в настоящем разделе двух примеров вполне достаточно для того, чтобы понять особенности математического моделирования многосекционных пьезоэлектрических трансформаторов, которые возникают при групповом включении секций.

Выводы

Основные положения настоящей статьи можно зафиксировать следующим образом.

1. Впервые предлагается не содержащая внутренних противоречий схема построения математической модели четырехсекционного дискового пьезоэлектрического трансформатора.

2. Предложенная схема сохраняет свою логическую конструкцию в широком диапазоне значений числа секций. Если обозначить число секций символом M , то можно утверждать, что предложенная схема работоспособна на бесконечном интервале $M \geq 2$.

3. Рассмотрены особенности построения математических моделей многосекционных трансформаторов, которые возникают при групповом включении секций.

4. По мнению авторов, настоящая статья завершает построение теории пьезоэлектрических трансформаторов с радиальными колебаниями в тонких, поляризованных по толщине, пьезокерамических дисках.

Список литературы

1. Джагупов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. СПб.: Политехника, 1994. 608 с.
2. Богдан А. В., Петрищев О. Н., Якименко Ю. И., Яновская Ю. Ю. Исследование характеристик пьезоэлектрического трансформатора на основе радиальных колебаний в тонких пьезокерамических дисках. *Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»*. 2009. Ч. 1. С. 269–274.
3. Петрищев О. Н., Базило К. В. Принципы и методы расчета передаточных характеристик дисковых пьезоэлектрических трансформаторов. Часть 2. Методика расчета параметров и характеристик простейшего дискового пьезоэлектрического трансформатора. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2015. № 4. С. 10–23.
4. Сенник Н. А. Моделирование и расчет электроупругих полей пьезокерамических оболочек и пластин [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-raschet-elektrouprugikh-polei-pezoeramicheskikh-obolochek-i-plastin>
5. Петрищев О. Н., Базило К. В. Принципы математического моделирования трансформаторов, работающих на планарных осесимметричных колебаниях пьезокерамических дисков. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2015. № 3. С. 10–20.

References

1. Dzhangupov, R. G. and Erofeev, A. A. (1994). Piezoelectronic device of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politehnika, 608 p. [in Russian].
2. Bogdan, A. V., Petrishchev, O. N., Yakimenko, Yu. I. and Yanovskaya, Yu. Yu. (2009). Investigation of the characteristics of the piezoelectric transformer on the basis of the radial oscillations in a thin piezoceramic disks. *Elektronika i svyaz. Tematicheskii. vypusk "Elektronika i nanotekhnologiyi"*, P. 1, pp. 269–274 [in Russian].
3. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2015). Principles and methods of the calculation of transfer characteristics of disk piezoelectric transformers. Part 2. The procedure of calculation of parameters and characteristics of the simplest disk piezoelectric transformer. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 10–23 [in Russian].
4. Senik, N. A. Simulation and calculation of electroelastic fields of piezoceramic shells and plates, URL: <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-raschet-elektrouprugikh-polei-pezoeramicheskikh-obolochek-i-plastin>
5. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2015) Principles of mathematical modeling of transformers that operate on planar axisymmetric vibrations of piezoceramic disks. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 10–20 [in Russian].

O. N. Petrishchev, *Dr.Tech.Sc., professor*,
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine
C. V. Bazilo, *Ph.D. (Eng.), associated professor*
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF MULTISECTIONAL PIEZOELECTRIC TRANSFORMER WITH RING ELECTRODES IN SECONDARY ELECTRICAL CIRCUITS

Within power electronic electromagnetic transformers have been the dominating component for converting and transforming of electrical power. The trend of power converters goes in the direction of higher efficiency and smaller volume. Research has shown that piezoelectric transformers can compete with traditional electromagnetic transformers on both efficiency and power density.

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 final goal of mathematical modeling of the vibrating piezoelectric elements physical condition is a qualitative and quantitative description of characteristics and parameters of existing electrical and elastic fields.

The main provisions of this article can be fixed as follows. For the first time the scheme of mathematical model constructing of the four sectional disk piezoelectric transformer, which does not contain internal contradictions, is proposed. Proposed scheme maintains its logical structure in the wide range of the number of sections. The features of mathematical models constructing of multisectional transformers, which arise at group connected sections, are considered. According to the authors this article completes construction of the theory of piezoelectric transformers with radial oscillations in thin, polarized across the thickness, piezoelectric disks.

Key words: *piezoelectric transformer, radial oscillations, physical processes, mathematical model.*

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

Р. В. Трембовецька, к.т.н., доцент,

В. Я. Гальченко, д.т.н., професор,

В. В. Тичков, ст. викладач

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна, rustsur@rambler.ru

ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

В роботі показано необхідність встановлення достовірності результатів вимірювань на основі концепції «оцінювання невизначеності вимірювань» оскільки методики розрахунку невизначеності вже запроваджені в міжнародній практиці. В роботі для прикладу наводиться послідовний виклад оцінки розширеної невизначеності результатів вимірювання розміру деталі для рівня довіри $p=0,95$ за допомогою компаратора ІЗА-2. Основна задача після проведення експерименту - оцінювання достовірності отриманих результатів. З цією метою проведено аналіз складових невизначеності, оцінено складові невизначеності за типом В із допущенням про рівномірний закон розподілу. Досліджено невизначеність за типом А, що зумовлена дією випадкових факторів із допущенням про нормальний закон розподілу. Складено бюджет невизначеності при вимірюванні лінійного розміру деталі за допомогою компаратора ІЗА-2.

Ключові слова: достовірність результатів вимірювання; невизначеність вимірювань; стандартна невизначеність; сумарна стандартна невизначеність (комбінована); розширена невизначеність; невизначеність за типом А; невизначеність за типом В.

Постановка проблеми

Після постановки експерименту та проведення будь-яких вимірювань виникає питання оцінювання результатів, встановлення достовірності отриманих даних із врахуванням зовнішніх факторів впливу. Сучасні вимоги щодо встановлення достовірності результатів вимірювання ґрунтуються на концепції «оцінювання невизначеності вимірювань», яка є більш точною та дозволяє врахувати майже всі впливи на результат вимірювання, порівняно з концепцією «оцінювання похибки», що застосовувалася до нині [1-3]. Між двома концепціями «невизначеності результату вимірювання» і «похибки результату вимірювання» є суттєві відмінності, які необхідно враховувати, складаючи методики обробки дослідних даних і подаючи кінцевий результат.

Перехід від оцінки похибок вимірювання до оцінки невизначеностей не впроваджується широко не тільки через відсутність чітких державних вимог, але і через необізнаність науковців з цим питанням. Тому, готуючи наукові кадри другого рівня вищої освіти зі спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», проектна група та розробники освітньо-професійної програми,

передбачили здобуття магістром поглиблених теоретичних та практичних знань, вмінь, навичок з оцінювання невизначеності результатів вимірювання в межах вивчення дисципліни «Основи теорії похибок».

В результаті магістр набуває професійної компетентності «Вибрати оптимальні методи та розроблювати програми експериментальних досліджень та випробувань, проводити вимірювання з вибором сучасних технічних засобів та обробкою результатів вимірювання».

Аналіз джерел досліджень і публікацій

У 1993 році Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) прийняла документ під назвою «Guide for estimation of uncertainty in measurements» (Керівництво з оцінки невизначеності вимірювань), а в 2001 році Міждержавною радою зі стандартизації, метрології і сертифікації було прийнято міждержавний документ [1, 2], учасником якого є Україна. Міжнародні метрологічні організації розробили, узгодили та затвердили принципово новий підхід до оцінки якості вимірювання на заміну традиційних методів розрахунку систематичної і випадкової похибки. Як відомо [3, 4], для багатьох вимірювальних задач систематична і випадкова похибки не можуть адекватно ві-

добразити якість вимірювання і, відповідно, оцінити придатність результату для практичного застосування. При оцінці випадкової похибки існує таке поняття, як «істинне значення» вимірюваної величини, яке може бути знайдене лише тільки після серії вимірювань і обробки результатів. Також ніколи не можна мінімізувати випадкову похибку до нуля. Ще один із недоліків традиційної оцінки похибки полягає в тому, що досить часто неможливо чітко розмежувати систематичну і випадкову похибки. Тобто коли джерел систематичної похибки декілька, і всі вони вносять співвимірний вклад в кінцевий результат, то вимірювана величина буде змінюватися випадковим чином без яскраво виражених ознак систематичних відхилень.

В рекомендаціях міжнародних метрологічних організацій однією із головних причин переходу до нових методів оцінки якості вимірювання вказується той факт, що оцінка систематичної похибки за границею допустимої знижує точність результату [4].

Також існує некоректність застосування поняття «похибка» при змішуванні його з іншими за змістом поняттями «характеристики похибки результату вимірювання», «довірчі границі похибки».

Як відомо у переважній більшості практичних вимірювальних задач похибка вимірювання описується як алгебраїчна сума (зі своїми знаками) всіх її складових в певному експерименті з конкретним екземпляром засобу вимірювання, коли кожна зі складових впливає на сумарну через певний коефіцієнт впливу C_i :

$$\Delta = \sum_{i=1}^n C_i \cdot |\Delta_i|.$$

Виникає задача оцінювання характеристик сумарної похибки, якщо відомі характеристики складових.

За невеликої кількості складових похибки, визначають верхню оцінку похибки вимірювання, як її безумовне граничне значення. При цьому обчислюють суму граничних похибок аргументів (помножених на модулі коефіцієнтів впливу $|C_i|$):

$$\Delta_{zp.} = \pm \sum_{i=1}^n |C_i| \cdot |\Delta_{i.zp.}|.$$

Якщо похибка вимірювання містить велику кількість складових, то мало імовірно, щоб усі вони одночасно прийняли своє найбі-

льше (граничне) значення та ще й всі з погодженими знаками.

При оцінці «характеристики похибок» оперують великою кількістю можливих значень похибок у віртуальних чи реальних експериментах з різноманітними екземплярами засобів вимірювання даного типу при допустимій варіації умов вимірювання. Тому загальноприйнятій оцінці середнього квадратичного відхилення, невиключеної систематичної похибки і довірчих границь множини похибок результатів вимірювання вже не відповідають поняттю похибки. Ці оцінки фактично характеризують не похибку, а розкид значень, що приписується вимірюваній величині на основі використаної інформації, тобто маємо «невизначеність» [1-4].

Таким чином, «невизначеність вимірювання», як параметр, характеризує розсіювання множини можливих значень результатів вимірювання в певній вимірювальній ситуації, але це не похибка конкретного результату вимірювання.

Таким чином при розробці нових підходів до оцінки якості вимірювання закладалися наступні основоположні принципи [4]:

- В багатьох випадках поняття систематичної і випадкової похибки нероздільні, тому їх поділ не відповідає вимогам до якості вимірювання;

- Оцінка систематичної похибки потребує формулювання сурових норм та правил; до них також повинні бути застосовані ймовірнісні оцінки;

- Оцінка якості вимірювання повинна проводитися за міжнародними правилами, єдиними для всіх країн – учасниць Метричної конвенції.

Документ [2, п.3.1] встановлює наступні основні поняття для опису результату вимірювання:

невизначеність результату вимірювання – невід’ємний параметр, пов’язаний з результатом вимірювання, який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині;

стандартна невизначеність u – невизначеність (непевність), що виражається як стандартне середньоквадратичне відхилення (СКВ).

сумарна стандартна невизначеність (комбінована) u_c – невизначеність (непевність), що отримується шляхом підсумову-

вання всіх складових стандартних невизначеностей, пов'язаних з вимірюваною величиною.

розширена невизначеність U – інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині.

Невизначеність (непевність) вимірювання можна систематизувати за наступними ознаками [2, 3]:

- За способами оцінювання;
- За формами подання.

Метою поділу на тип А та В є показ двох різних способів оцінювання компонентів невизначеності, і він використовується тільки для зручності обговорення. Обидва типи оцінювання базуються на розподілах ймовірностей, і компоненти невизначеності кожного типу кількісно визначаються дисперсією або стандартним відхиленням.

За типом А оцінюються невизначеності, що підлягають повторним вимірюванням, до яких можна застосувати статистичні методи.

За типом В оцінюються невизначеності, до яких статистичні методи застосувати неможливо. В таких випадках використовують інші відомі способи.

Мета роботи – побудова моделі оцінювання невизначеності результатів лабораторного експерименту на прикладі вимірювання лінійного розміру деталі за допомогою оптичного вимірювального приладу безпосередньої оцінки (горизонтального компаратора) та формування навичок спеціалістів, які працюють у сфері вимірювань, із застосуванням нового підходу до обробки даних і подання результату вимірювання.

Постановка задачі

Узагальнюючи рекомендації [1-3] алгоритм обробки результатів прямих вимірювань з багаторазовим спостереженнями буде наступний:

1. Аналіз складових невизначеностей вимірювання.
2. Обчислити оцінку значення вимірюваної величини.
3. Оцінити стандартну невизначеність результату вимірювання:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

де x_i – результати окремих спостережень.

4. Вилучити систематичні ефекти, що призводять до появи стандартних невизначеностей.

5. Вилучити промахи з результатів вимірювання.

Для цього розраховують співвідношення:

$$v_1 = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{u_A}; v_2 = \frac{\bar{x} - x_{\max}}{u_A}. \quad (2)$$

Необхідно задати довірчий рівень α та розрахувати надійність $q = 1 - \alpha$ і, залежно від кількості проведених вимірювань n , вибирати допустиме значення v_α .

Якщо розраховані значення v_1 та v_2 менші за допустиме значення v_α , то гіпотезу про наявність аномальних результатів в ряді спостережень відкидають. Якщо ж одне із значень v_1 або v_2 більше за v_α , то це означає, що в результатах вимірювань присутні промахи. Промахи вилучають із результатів вимірювань.

6. Оцінити стандартну невизначеність середнього арифметичного:

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3)$$

7. Оцінити складові $u_i(y)$ комбінованої невизначеності середнього арифметичного. Розрахувати комбіновану невизначеність типу В:

$$u_{cB}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)}. \quad (4)$$

8. Оцінити комбіновану невизначеність результату вимірювання:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_{cB}^2(y)}. \quad (5)$$

9. Оцінити розширену невизначеність результату вимірювання:

$$U = k \cdot u_c(y). \quad (6)$$

10. Записати результат вимірювання із зазначенням розширеної невизначеності:

$$X = \bar{x} \pm U, P = \%.$$

Приклад оцінювання невизначеності

Необхідно оцінити розширену невизначеність результатів вимірювання розміру деталі для рівня довіри $p=0,95$.

Методика контролю [5, 6] передбачає вимірювання розміру деталі за допомогою компаратора ІЗА-2 з ціною поділки 0,001 мм

та границею допустимої похибки $\left(1 + \frac{l}{200}\right)$, мкм в діапазоні температур $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Відомо, що номінальне значення розміру деталі згідно з технологічним кресленням має складати 40 мм. Вимірний розмір деталі складає 40,0005 мм. Компаратор ІЗА-2 повірений.

Побудова модельного рівняння

Для побудови модельного рівняння ідентифікуємо основні істотні джерела невизначеності результату вимірювання розміру деталі. В даному випадку такими є:

- Основна допустима похибка компаратора $(1 + l/200)$, мкм;
- Похибка зчитування по шкалі;
- Можливе відхилення температури деталі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- Вплив випадкових факторів.

З урахування всіх джерел модельне рівняння матиме вигляд:

$$L = l + \Delta_{\text{зчит}} + \Delta_t + \Delta_0,$$

l – покази компаратора під час вимірювання розміру деталі;

Δ_0 – похибка компаратора;

$\Delta_{\text{зчит}}$ – поправка до показів компаратора через неточність (похибку) зчитування показів оператором;

Δ – поправка до показів, обумовлена дією випадкових факторів;

Δ_t – поправка до показів, обумовлена відхиленням температури деталі від 20°C .

Оцінювання складових невизначеності за типом В

- Оцінювання стандартної невизначеності $u(\Delta_0)$.

Невизначеність величини l обумовлена тим, що компаратор не є абсолютно точним, тобто має похибку. Отже:

$$l = l_{\text{іст}} + \Delta_0,$$

де $l_{\text{іст}}$ – істинне значення розміру деталі.

Вклад можливої похибки компаратора у невизначеність вимірювання розміру деталі оцінимо за типом В. Згідно з технічним паспортом на компаратор його гранична похибка знаходиться в межах $\left(1 + \frac{l}{200}\right) = 1,2$ мкм, l – вимірювана довжина в (мм). Так як реальний закон розподілу похибки невідомий, прийма-

ємо його за рівномірний. В цьому випадку складова невизначеності результату, що зумовлена конструктивними особливостями компаратора, оцінюється через основну похибку при допущенні рівномірного закону розподілу можливих її значень в певних границях [3]:

$$u(\Delta_0) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.6928 \text{ мкм}.$$

- Оцінювання стандартної невизначеності $\Delta_{\text{зчит}}$.

Неточність (похибка) зчитування показів компаратора оператором не перевищує половини ціни поділки, тобто $\frac{0,001}{2} = 0,0005$ мм. Тоді стандартна невизначеність, що зумовлена похибкою зчитування показів визначається:

$$u(\Delta_{\text{зчит}}) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.2887 \text{ мкм}.$$

- Оцінювання стандартної невизначеності Δ_t .

Матеріал з якого виготовлена деталь, має температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 29 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Оскільки можливе максимальне відхилення температури від 20°C складає 5°C , то йому відповідає можливе відхилення розміру:

$$\Delta_t = \alpha \cdot l \cdot \Delta t = 5.8 \text{ мкм}.$$

Якби температура в приміщенні, де проводиться контроль, регулювалася кондиціонером, під час розрахунку стандартної невизначеності необхідно прийняти антимодальний розподіл [5]. Оскільки в даному випадку температура не регулювалася, приймаємо рівномірний розподіл. Таким чином відповідна стандартна невизначеність від впливу зміни температури буде:

$$u(\Delta_t) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 3.3486 \text{ мкм}.$$

Із врахуванням складових $u(\Delta_0)$, $u(\Delta_{\text{зчит}})$, Δ_t визначаємо комбіновану невизначеність типу В за формулою (4):

$$u_{cB}(\Delta) = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(\Delta_0) + c_2^2 \cdot u^2(\Delta_{\text{зчит}}) + c_3^2 \cdot u^2(\Delta_t)},$$

де c_1, c_2, c_3 – коефіцієнти впливу, визначаємо як частинні похідні,

$$c_1 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_0} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_{зчит}} = 1, \quad c_3 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_{зчит}} = 1.$$

Тоді маємо комбіновану невизначеність типу В:

$$u_{cB}(\Delta) = 3,4317 \text{ мкм}.$$

Оцінювання невизначеності Δ , що обумовлена дією випадкових факторів

Будь-яка апіорна інформація для оцінювання Δ за типом В відсутня. Виробник не наводить в паспорті на компаратор нормоване значення випадкової похибки через те, що вона в даному випадку не є інструментальною, адже більшою мірою залежить від властивостей об'єкту та умов вимірювання. Тому дане джерело невизначеності необхідно дослідити.



a_1	b_1	$\Delta x_1 = a_1 - b_1$
a_2	b_2	$\Delta x_2 = a_2 - b_2$
...	...	
a_n	b_n	$\Delta x_n = a_n - b_n$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i), \quad (7)$$

де $u(x_i)$ – стандартна невизначеність (типу А або В) для кожного параметру, вимірюного прямим методом.

Тобто у загальному вигляді можна записати за формулою (5):

$$u_c(l) = \sqrt{u_A^2(\Delta) + u_{cB}^2(\Delta)} = 3.4938 \text{ мкм}.$$

Оцінку розширеної невизначеності результату вимірювання виконуємо для заданого рівня довіри $p=0,95$ за формулою (6):

$$U = k \cdot u_c(y),$$

де $k = t_p(v_{eff}) = 1.9596$ – квантиль розподілу Стюдента з ефективним числом ступенів

Для оцінки невизначеності вимірювання, зумовленої вкладом випадкових ефектів, було проведено 16 повторних вимірювань розміру деталі одним і тим же оператором за одних і тих же умов. Відповідно до правил експлуатації компаратора [6] виконано: підготовка до роботи, встановлення вимірювального об'єкту та перевірка його розміщення у горизонтальній та вертикальній площині та безпосереднє виконання 16 вимірювань.

За результатами яких отримана стандартна невизначеність результату вимірювання за типом А формула (3):

$$u_A\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) = 0.6557 \text{ мкм}.$$

Тоді комбіновану невизначеність результату вимірювання можна оцінити [2]:

свободи v_{eff} і довірчою ймовірністю (рівнем довіри) p .

Ефективне число ступенів свободи визначається за формулою Велча-Саттерствейта [2]:

$$v_{eff} = \frac{(n-1) \cdot u_c^4}{u_A^4\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)} = 1117.$$

Тоді:

$$k = t_p(v_{eff}) = t_{0.95}(\infty) = 1.9596.$$

$$U(l) = k \cdot u_c(l) = 1,9596 \cdot 0.003494 = 0,006846 \text{ мм}.$$

Записуємо результат із розширеною невизначеністю:

$$L = (40.0005 \pm 0,0068) \text{ мм}, P = 95 \text{ \%}.$$

Складаємо бюджет невизначеності (табл. 1).

Таблиця 1

**Бюджет невизначеності при вимірюванні лінійного розміру деталі
за допомогою компаратора ІЗА-2**

Величина	Оцінка величини, мм	Стандартна невизначеність	Число ступенів свободи	Розподіл ймовірності	Коефіцієнт чутливості	Внесок у невизначеність
1	40,0005	$u(\Delta_0) = 0.6928 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	0,6928 мкм
Δ_0						
$\Delta_{зчит}$		$u(\Delta_{зчит}) = 0.2887 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	0,2887 мкм
Δ		$u_A\left(\Delta\right) = 0.6557 \text{ мкм}$	15	нормальний	1	0,6557 мкм
Δ_t		$u(\Delta_t) = 3.3486 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	3,3486 мкм
1	40,0005	$u_c(l) = 3.4938 \text{ мкм}$	∞	нормальний	$U(l) = 0,0068 \text{ мм}, p = 0,95$	

Висновки

Суттєві зміни в метрології, що пов'язані із впровадженням в метрологічну практику поняття «невизначеність» для характеристики якості вимірювання, потребують детального аналізу умов вимірювання, схеми вимірювання, технічних характеристики приладу. Це є попередня робота (складання специфікації вимірювання), яка необхідна для всебічного врахування всіх можливих джерел невизначеності при вимірюванні. Використання фонду доступної інформації для оцінювання невизначеності за типом В потребує інтуїції, що заснована на досвіді та загальних знаннях, і є майстерністю, яка набувається практикою.

Оскільки в процедуру контролю та вимірювання введено нову термінологію, тому необхідно особливо ретельно аналізувати і розраховувати «невизначеність», що відповідно підвищує вимоги до персоналу, який має знати та застосовувати методики опрацювання отриманих дослідних даних. Тому на етапі підготовки фахівців із спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» необхідно сформулювати навички із застосуванням нового підходу до обробки дослідних даних та подання результату вимірювань.

Сформовані професійні компетентності допоможуть студентам у майбутньому бути конкурентоспроможними на сучасному ринку праці.

В результаті виконання роботи отримано:

1. Модель оцінювання невизначеності результатів лабораторного експерименту на прикладі вимірювання лінійного розміру деталі за допомогою оптичного вимірювального приладу безпосередньої оцінки (горизонтального компаратора).

2. Оцінку складової невизначеності за типом В, яка складається із: стандартної невизначеності, що зумовлена конструктивними особливостями компаратора, при допущенні рівномірного закону розподілу можливих її значень в певних границях $u(\Delta_0) = 0.6928 \text{ мкм}$; стандартної невизначеності, що зумовлена похибкою зчитування показів $u(\Delta_{зчит}) = 0.2887 \text{ мкм}$; стандартної невизначеності від впливу зміни температури $u(\Delta_t) = 3.3486 \text{ мкм}$. Із врахуванням всіх складових визначена комбінована невизначеність типу В $u_{cB}(\Delta) = 3,4317 \text{ мкм}$.

3. Оцінку невизначеності вимірювання, зумовленої вкладом випадкових ефектів. За результатами серії вимірювань отримана стандартна невизначеність результату вимірювання за типом А $u_A\left(\Delta\right) = 0.6557 \text{ мкм}$ із допущенням про нормальний закон розподілу.

4. Оцінку розширеної невизначеності результату вимірювання для заданого рівня

довіри $p=0,95$ та ефективного числа ступенів свободи $\nu_{eff} = 1117$ $U(I) = 0,006846$ мм.

В подальшому необхідно впровадити в навчальний процес: методику оцінку невизначеності групи прямих вимірювань з багаторазовим незалежним спостереженнями на основі дисперсійного аналізу; оцінювання невизначеності опосередкованих корельованих та некорельованих вхідних величин із порівняльним аналізом двох підходів до вираження характеристик точності вимірювання.

Список літератури

1. Guide to expression of uncertainty in measurement. First edition. ISO. Switzerland, 1993.
2. ДСТУ – Н РМГ 43:2006. Застосування "Руководства по выражению неопределенностей измерений" (РМГ 43:2001, IDT).
3. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 230 с.
4. Ишанин Г. Г., Козлов М. Г., Томский К. А. Основы светотехники. СПб. : Береста, 2004. 292 с.
5. Коцюба А. М. Оцінювання невизначеності вимірювання розміру металічної деталі з допомогою мікрометра [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://metrology.com.ua/neopredelennost/pri-mery-prakticheskikh-zadach/rasshirennaya-neopredelennost-izdeliya>.
6. Інструкція з експлуатації горизонтального компаратора ІЗА-2.
7. РМГ 91-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы.
8. КООМЕТ R/GM/21:2011 Использование понятий “погрешность измерения” и “неопределенность измерения”. Общие принципы.
9. Походун А. И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределённости измерений: учебное пособие. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2006.

10. Шантир А. С. Оцінювання складових невизначеності при калібруванні растрових електронних наноскопів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. ISSN 1729-3774 1/9 (61), 2013.
11. EA-4/02 М:2013 Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні.

References

1. Guide to expression of uncertainty in measurement (1993): First edition. ISO. Switzerland.
2. DSTU - N RMG 43: 2006. The use of "Guide to measurement uncertainty expression" (RMG 43: 2001, IDT).
3. Vasilevsky, A. M., Kucheruk, V. Yu., Volodarsky, E. T. (2015). Basic theory of measurement uncertainty: a textbook. Vinnitsa: VNTU, 230 p.
4. Ishanyin, G. G., Kozlov, M. G., Tomsky, K. A. (2004). Fundamentals of lighting technology. SPb.: Beresta, 2004. 292 p.
5. Kotsyuba, A. M. Evaluation of measurement uncertainty of sized metallic parts using a micrometer. URL: [<http://metrology.com.ua/neopredelennost/pri-mery-prakticheskikh-zadach/rasshirennaya-neopredelennost-izdeliya>].
6. The Instruction for operating horizontal comparator IZA-2.
7. RMG 91-2009 State system for ensuring the uniformity of measurements. Joint use of concepts “error of measurement” and “uncertainty of measurement”. General principles.
8. COOMET R/GM/21:2011 Use of concepts “error of measurement” and “uncertainty of measurement”. General principles.
9. Pokhodun A. I. (2006). Experimental research methods. Errors and measurement uncertainty. Tutorial. St Petersburg: ITMO.
10. Shantyr, A. S. (2013). Evaluation of uncertainty components in the calibration of scanning electron nanoscopes [Internet]. *Eastern European advanced technology magazine*. ISSN 1729-3774 1/9 (61).
11. EA-4 / M 02: 2013 Expression of measurement uncertainty in the calibration.

R. V. Trembovetska, Ph.D., associate professor,
 V. Ya. Halchenko, Dr. Sc., professor,
 V. V. Tychkov, senior lecturer
 Cherkasy State Technological University
 Shevchnko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
 rustsur@rambler.ru

DETERMINATION AND EVALUATION OF THE UNCERTAINTY OF THE RESULT OF LINEAR DIMENSION MEASURING BY CONTACTLESS METHOD

The work demonstrates the need to establish the reliability of measurement results based on the concept "evaluation of measurement uncertainty" as uncertainty calculation methods are implemented internationally.

The paper purpose is the construction of model uncertainty assessment results of laboratory experiments on the example of linear dimensions of parts using an optical measuring device of direct assessment (horizontal comparator).

In this paper, an example is given consistent presentation of evaluation expanded uncertainty of measurement results for the size of the trust details $p = 0.95$ using comparator IZA-2. In this example demonstrates the use of a new approach to data processing and presenting the measurement result, the skills to help professionals working in the field of measurement.

In the application of new approaches to quality assessment measurements take into account the following basic principles: in many cases, the concept of systematic and random error are inseparable, so their separation does not meet the quality measurement; estimation bias severe requires formulating rules and regulations, they also have to be applied probabilistic assessment; Assessment of quality measurement should be carried out according to international rules, the same for all countries - participants of Metric Convention.

The main task after the experiment is to assess the credibility of the results. For this purpose, the analysis of the components of uncertainty, uncertainty components evaluated by Type B: Standard uncertainty caused by the design of the comparator, assuming uniform of the distribution of possible values within certain boundaries $u(\Delta_0) = 0.6928 \mu\text{m}$; Standard uncertainty that caused an error reading impressions $u(\Delta_{\text{зчит}}) = 0.2887 \mu\text{m}$, Standard uncertainty of the impact of temperature changes $u(\Delta_t) = 3.3486 \mu\text{m}$.

In light of all components defined combined uncertainty of type $B u_{c_B}(\Delta) = 3.4317 \mu\text{m}$.

For the estimation of measurement uncertainty, due to the contribution of random effects, a series of repeated measurements of the size of parts by the same operator under the same conditions. According to the rules of operation of the comparator fulfilled: preparation for work, installation of the measuring object and check its placement in the horizontal and vertical planes and performing a series of measurements. The results obtained are standard uncertainty of the measurement result by type A $u_A\left(\Delta\right) = 0.6557 \mu\text{m}$ with the assumption of the normal distribution.

The estimations expanded uncertainty of the measurement result for a given level of confidence $p = 0.95$ and an effective number of degrees of freedom $\nu_{\text{eff}} = 1117$ $U(l) = 0.006846 \text{ mm}$.

Compiled budget uncertainty in the measurement of linear dimensions of parts using the comparator YZA-2.

Keywords: measurement results reliability; uncertainty of measurement; standard uncertainty; total standard uncertainty (combined); expanded uncertainty; uncertainty of the type A; uncertainty of the type B.

Статтю представляє В. Я. Гальченко, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.

М. М. Медведський¹, к.ф.-м.н.

М. Т. Арібжанов², магістр

О. С. Гавриш², к.ф.-м.н., доцент

¹ Головна астрономічна обсерваторія НАН України
вул. академіка Заболотного, 27, м. Київ, 03680, Україна

² Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна, тел. (0472) 730261

ЛІДАРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО СТАНУ АТМОСФЕРИ

В роботі розроблено лідарний комплекс для дистанційного зондування атмосфери, що є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосіїв. Синтезована установка дозволяє проводити панорамне зондування атмосфери для кутів підвищення від 20 до 80 градусів з розрізняювальною здатністю 0,1 мкс або 15 метрів. Дана установка призначена для виявлення концентрації домішок в атмосфері в певному секторі простору.

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

Вступ. Ефективним інструментом дослідження метеорологічного стану атмосфери протягом останніх 50 років є дистанційне зондування за допомогою лідару [1-4]. Існує багато методів лідарного зондування, які ґрунтуються на різних ефектах взаємодії лазерного випромінювання з атмосферою, наприклад, розсіяння, флуоресценції, поглинання і пропускання [2, 5]. При цьому ці методи постійно удосконалюються, що призводить до підвищення їх ефективності і розширення кола розв'язуваних задач [6, 7]. Сучасні лідарні системи зондування атмосфери дозволяють контролювати такі її фізичні параметри як тиск, температуру, швидкість вітру, а також кількісний та якісний склад домішок [4, 8]. Перевагами лідарних методів зондування атмосфери є висока просторова та часова розрізняювальна здатність, оперативність при проведенні вимірювань, можливість досліджувати великий сектор простору [8]. Проте є і обмежуючі фактори, такі як час доби; щільна хмарність або туман, які значно послаблюють лазерне випромінювання внаслідок поглинання, що зменшує висоту дослідження.

Перспективним напрямком лідарного зондування є моніторинг екологічного стану атмосфери. При проведенні таких досліджень можна виміряти концентрацію багатьох газових домішок, скласти «карти» забруднень повітря газів в промислових центрах [4, 5, 8].

Постановка задачі. В даній роботі синтезується установка для дослідження атмосфери Землі за методом лазерного зондування.

Принцип її роботи оснований на тому, що лазерний промінь під час зустрічі на своєму шляху аерозолів чи хмар диму частково або повністю розсіюється в різні сторони, в тому числі і в зворотному напрямку.

Ресстрація відбитого випромінювання відбувається за допомогою приймального пристрою – оптичного дзеркального телескопа системи Кассегрена. Всі фотони, які повернулися, реєструються фотоелектронним множувачем і далі обробляються. Чим інтенсивніший відбитий сигнал, тим більша концентрація в повітрі домішок – такий основний принцип аналізу отриманих даних. Вихідними даними виступають кути телескопа (азимут та висота над горизонтом), знаючи крок зчитування даних з пристрою (в нашому випадку 0.1 мкс або 15 м), можна побудувати контурні діаграми отриманих даних.

Мета роботи полягає в розробці функціональної схеми установки для дослідження розподілу в атмосфері хмар з різною концентрацією домішок вздовж променя зондування та її технічної реалізації.

Результати роботи. На рис. 1 зображена узагальнена схема лідару, який використовується для проведення дослідження, і схожа на принцип роботи аналогічних пристроїв [4, 9]. Лазерний передавач випромінює короткі імпульси (65 пс) на довжині хвилі зеленого спектру (532 нм).

Важливим блоком в цій схемі є, так званий, модулятор, який представляє собою дзеркальний диск з отвором, що обертається [12].

Він призначений для того, щоб використовувати один телескоп для передачі та прийому сигналу. Запуск лазера налаштований так, що він випромінює імпульс лише в момент, коли отвір знаходиться на головній оптичній осі. В цей момент промінь безперешкодно проходить через модулятор в телескоп і далі в атмосферу. Отвір у модуляторі лише частково перекриває сигнал зворотнього розсіяння, тому на фотоприймач поступають відбиті атмосферою фотони, котрі можуть бути зареєстровані. На рис. 2 наведена схема модулятора.

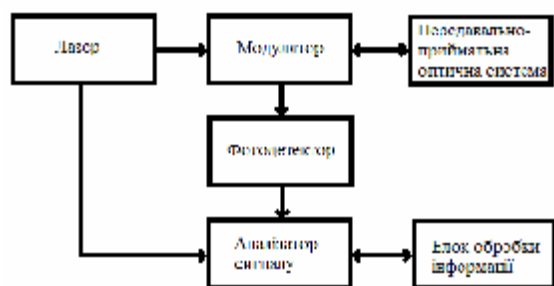


Рис. 1. Структурна схема лідару

Розглянемо детально принцип роботи розробленого лідару, функціональна схема якого наведена на рис. 3 [11]. Основну роль виконує мікросхема пам'яті, яка виконує буферну функцію між лічильником та комп'ютером. Саме ця мікросхема забезпечує необхідну роздільну здатність 0,1 мкс або 30 м. Ця цифра з'являється з тих міркувань, що



Рис. 3. Блок-схема лідару

Важливе місце в установці займає приймально-передавальний пристрій. В даному випадку це телескоп ТПЛ-1М супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосіїв системи Кассегрена з діаметром головного дзеркала 1 м [10].

В якості фотодетектора застосовується фотоелектронний помножувач ФЭУ-79 з еле-

частота запису інформації в мікросхему становить 10 МГц, звідси і крок між сусідніми комірками 0,1 мкс.

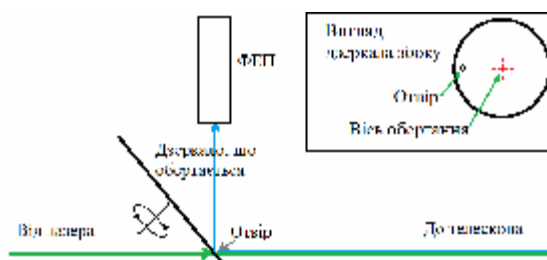


Рис. 2. Принцип роботи модулятора

Розглянемо зв'язки і сигнали між блоками функціональної схеми лідару (рис. 3):
 START puls from LASER – сигнал старту від лазера;
 R (Reset) – сигнал скидання в нуль лічильника адреси;
 R/W (Read/Write) – сигнал, який перемикає мікросхему пам'яті в режим читання або запису;
 CLK (clock) – сигнал тактової частоти запису;
 DATA to PC – передає інформацію до ПК;
 END of measure – сигнал від лічильника адреси про закінчення процесу запису;
 CLK for READ – тактова частота читання з пам'яті;
 SYNC.GEN – сигнал синхронізації генератора для запису в пам'ять.

ктронним фокусуванням електронів для вимірювання малих світлових потоків в широкій області спектра.

Пристрій часової прив'язки служить для прийому, підсилення сигналу до рівня ТТЛ зі слідуючим порогом дискримінатора. На рис. 4 зображено два графіки з однаковими тривалістю імпульсами, але різною ампліту-

дою. Аналізуючи графіки, можна зробити висновки про необхідність застосування даного пристрою, в іншому випадку ніякої точності при зондуванні ми не отримаємо. Зауважимо, що для такої прив'язки вхідний сигнал піддається лініями затримки, інвертування, послаблення.

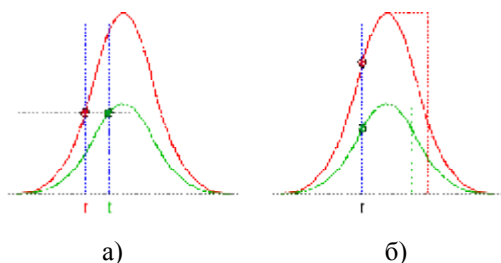


Рис. 4. Принцип роботи часової прив'язки:
а) без прив'язки, б) з прив'язкою

Всі інші блоки, крім ПК відносяться до одного електронного пристрою, але на схемі їх зображено окремо для кращого пояснення принципу роботи всієї системи в цілому.

В загальному описі можна сказати, що пристрій працює як частотомір, який рахує відбиті лазерні імпульси і записує в свою пам'ять число цих імпульсів. По завершенні цього запису комп'ютер зчитує ці дані і записує в файл. Причина застосування додаткової пам'яті в тому, що швидкодія комп'ютерного порта не дозволяє робити такі записи безпосередньо.

Лічильник події рахує відбиті імпульси і передає їх для запису в мікросхему статичної пам'яті. Даний лічильник має граничну частоту рахування 25 МГц. Слід зауважити, що було проведено вимірювання денного фону неба і частота фону, вона ж і гранична частота вхідного тракту становила 25 МГц. Це значить, що за період одного вимірювання (100 нс) в лічильник може бути записано 2,5 імпульси при максимальному числі рахування 16. З цього можна зробити висновок, що лічильник не буде перевантажено під час проведення дослідження.

Лічильник адреси реалізовано на чотирьох синхронних лічильниках K555IE10. Лічильники підключені послідовно таким чином, що максимальне записане число становить 8192 – рівно стільки, скільки комірок в пам'яті. Подаючи на вхід частоту від генератора 10 МГц, цей лічильник буде звертатися до кожної комірки пам'яті від першої до

останньої і цим самим дасть змогу записати в неї всі отримані дані. Після заповнення всіх комірок лічильника останній імпульс буде обнуляти стан лічильника адреси. Важливо те, що лічильник адреси синхронний, тому код на виході всіх чотирьох лічильників буде з'являтися одночасно, що значною мірою збільшує надійність порівняно з несинхронними лічильниками, в яких код на виході міг бути не одночасним і отримані дані могли бути записані не в ту комірку пам'яті.

Генератор тактової частоти зібраний на логічній мікросхемі TM2. ця мікросхема має в одному корпусі 2 D-тригера. В генераторі використано кварцовий резонатор 10 МГц і працює на першій гармоніці. Даний генератор застосовується лише для запису інформації в пам'ять. Для зчитування даних з пам'яті використовується частота з комп'ютерного порту. Частота зчитування близько 1 мс, що є на 4 порядки нижчою за частоту запису. Саме тому пряме зчитування даних неможливе.

В установці застосована пам'ять HM65764. Вона відноситься до високошвидкісної пам'яті типу CMOS. Максимальний об'єм пам'яті 8192×8 бітів.

Система контролю призначення для контролю процесу запису та зчитування інформації з лічильника в пам'ять, а з пам'яті в комп'ютер. На вхід системи подається сигнал старту лазера і система подає сигнали обнулення всіх мікросхем і запускає лічильник адреси. Одночасно із запуском лічильника адреси на комп'ютер подається стартовий сигнал. Цей сигнал через паралельний порт сприймається програмою зняття та обробки даних і в комп'ютері запускається таймер очікування. Таймер чекає 819,2 мкс, саме такий час потрібний для заповнення всіх комірок пам'яті. По завершенні запису лічильник адреси обнуляється останнім розрядом і готовий до нового процесу перебору адресів, на цей час вже з тактовою частотою від комп'ютера. Час зчитування близько 81,92 мс. Комп'ютер записує зчитані дані на електронний диск і по завершенні читання очікує нового сигналу старту. Після проведення 10 вимірювань дані додаються і з електронного диска записуються в файл. Під час запису в файл комп'ютер додає інформацію про час дослідження та додає два кути положення телескопа.

Враховуючи максимальний об'єм пам'яті в 8192 комірки, ми теоретично можемо зондувати до 122880 м, що є далеко за межами атмосфери.

Ще система контролю перемикає режими роботи мікросхеми з читання на запис і навпаки, перемикає тактову частоту під час запису на тактову частоту генератора, а під час зчитування на тактову частоту від комп'ютера.

В дослідній установці застосовується лазер LOTIS ТП з довжиною хвилі випромінювання – 532 нм, енергією випромінювання – до 10 мДж і тривалістю випромінювання – 65 пс.

Лазер має функцію зовнішнього запуску і запускається оптопарою від модулятора. Коли отвір знаходиться між фотодіодом та фототранзистором, лазер запускається. Дзеркало обертається кроковим двигуном і у випадку неспівпадання променя і отвору достатньо змінити фазу обертання двигуна ручкою змінного резистора і промінь буде потрапляти прямо в отвір.

Висновки. В результаті проведення аналізу засобів дистанційного зондування атмосфери синтезовано функціональну схему лідару для отримання експериментальних даних про концентрацію домішок в атмосфері. Проведено апаратну та програмну реалізацію лідарної установки для панорамного зондування атмосфери сигналом з фіксованою частотою. Синтезований лідар є складовою частиною супутникової лазерної локаційної станції Київ-Голосієво. Розрізнявальна здатність лідару становить 0,1 мкс або 15 метрів, при цьому зондування потенційно може проводитися для всього масиву точок напівкулі радіусом 122,88 км з кроком 1 кутова секунда по двох координатах і кроком 15 метрів по лінійній координаті. Загальна кількість вибірових значень при цьому становить $8\,192 \times 360 \times 90 = 265\,420\,800$. Такий об'єм інформації складно опрацьовувати навіть за допомогою сучасної обчислювальної техніки, тому для вирішення практичних завдань звужують діапазон значень по всіх координатах. Дана установка призначена для визначення розподілу в атмосфері хмар з різною концентрацією домішок вздовж променя зондування і може використовуватися, наприклад, для екологічного моніторингу або дослідження метеорологічного стану атмосфери.

Список літератури

1. Костко О. Лазер исследует атмосферу. *Наука и жизнь*. 2002. № 12. С. 47–54.
2. Лазерный контроль атмосферы. Под ред. Э. Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. 416 с.
3. Зуев В. Е., Зуев В. В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 232 с.
4. Козинцев В. И., Орлов В. М., Белов М. Л. и др. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды.: учеб. пособие для вузов. Под ред. В. Н. Рождествина. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 528 с.
5. Матвиенко Г. Г., Банах В. А., Бобровников С. М. и др. Развитие технологий лазерного зондирования атмосферы. *Оптика атмосферы и океана*. 2009. 22, № 10. С. 915–929.
6. Соломатин В. А. Методические указания к выполнению расчетных заданий по курсу «Лидары и сканеры»: учебное пособие. М.: Изд-во МИИГАиК, 2015. 23 с.
7. Веселовский И. А. Дистанционная лазерная диагностика аэрозольных и газовых составляющих атмосферы методами рамановского и упругого рассеяния: дис. доктора физ.-мат. наук: М., 2005. 384 с.
8. Бурков В. Д., Перминов С. В., Щукин Д. Г., Шалаев В. С. Лидарные методы контроля воздушного бассейна крупного промышленного центра в условиях чрезвычайной ситуации. *Лесной вестник*. 2013. № 7. С. 46–51.
9. Kirchner G., Koidl F., Kucharski D. Graz kHz SLR LIDAR: First results. *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*.
10. Bolotina, O. V., Hluschenko, Yu. M., Medvedsky, M. M. et al. Satellite laser ranging station 'Golosiiv-Kiev'. Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2001, 17 (6).
11. Medvedsky, M. M., Hluschenko, Yu. M., Aribjanov, M. T. Lidar system on Kiev SLR 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging "The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network"*. Potsdam, Germany, 2016.
12. Medvedsky, M. M. New external calibration target on 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging "The*

Path toward the Next Generation Laser Ranging Network". Potsdam, Germany, 2016.

References

1. Kostko, O. (2002) Laser exploring the atmosphere, *Nauka i zhizn'*, 12, pp. 47–54 [in Russian].
2. Hinkli, E. D. (ed.) (1979) Laser monitoring of the atmosphere. Moscow: Mir, p. 416 [in Russian].
3. Zuev, V. E. (1992) Remote optical sensing of the atmosphere. Edited by V. E. Zuev and V. V. Zuev. St. Petersburg: Gidrometeoizdat [in Russian].
4. Kozincev, V. I., Orlov, V. M. and Belov, M. L. (2002) Opto-electronic systems of ecological monitoring of the natural environment: a training manual for universities. Edited by V. N. Rozhdestvin. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, p. 528 [in Russian].
5. Matvienko, G. G., Banah, V. A. and Bobrovnikov, S. M. (2009) The technological development of laser sensing of the atmosphere. *Optika atmosfery i okeana*, 10, pp. 915–929 [in Russian].
6. Solomatin, V. A. (2015) Methodical instructions to performance of settlement and assignments for the course "Lidar and scanners". Tutorial. Moscow: Izd-vo MIIGAiK, p. 23 [in Russian].
7. Veselovskii, I. A. (2005) Remote laser diagnostics of atmospheric aerosol and gas constituents by the methods of Raman and elastic scattering: the thesis for doctor in physical and mathematical sciences, p. 384 [in Russian].
8. Burkov, V. D., Perminov, S. V., Shchukin, D. G. and Shalaev, V. S. (2013) Lidar methods of control of air pool in a large industrial center in an emergency situation. *Lesnoj vestnik*, 7, pp. 46–51 [in Russian].
9. Kirchner, G., Koidl, F. and Kucharski, D. (no date) Graz kHz SLR LIDAR: First Results. *Proceedings of the 16th International Workshop on Laser Ranging*.
10. Bolotina, O. V., Hluschenko, Y. M., Medvedsky, M. M. et al. (2001) Satellite laser ranging station "Golosiiv-Kiev". Technical characteristics and results of observations of 2001. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 17 (6).
11. Medvedsky, M. M., Hluschenko, Y. M. and Aribjanov, M. T. (2016) Lidar system on Kiev SLR 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging 'The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network'*. Potsdam, Germany.
12. Medvedsky, M. M. (2016) New external calibration target on 1824. *Proceedings of the 20th International Workshop on Laser Ranging 'The Path toward the Next Generation Laser Ranging Network'*. Potsdam, Germany.

M. M. Medvedsky¹, Ph.D.,

M. T. Aribzhanov², student,

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

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

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

LIDAR COMPLEX FOR MONITORING OF ATMOSPHERE METEOROLOGICAL CONDITION

To study the atmospheric parameters using remote sensing methods using LIDAR. It provides prompt results, their high reliability and precision. The principle of LIDAR is based on laser back scattering effect of aerosols in the atmosphere and the registration number of the reflected photons using photomultiplier tube and telescope.

The aim is to develop a functional diagram of LIDAR industry and its hardware and software implementation. LIDAR remote study the impurity concentration in the atmosphere is part of the

satellite laser ranging station Kyiv-Golosiiv to impose certain technical limitations but also facilitates its implementation. The source of radiation is a laser with a wavelength of 532 nm radiation energy - up to 10 mJ and the pulse duration of radiation - 65 ps. To use a telescope to transmit and receive signal modulator is used, which is a rotating mirror disk with a hole. The synthesized panoramic setting allows sensing of the atmosphere at a resolution of 0.1 microseconds or 15 meters for elevation from 20 to 80 degrees.

This setting can be used for the distribution of the impurity concentration in the atmosphere for the purpose of environmental monitoring or to determine the meteorological parameters of the atmosphere.

Keywords: *lidar, laser, remote sensing, the concentration of pollutants in the atmosphere.*

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

Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент,

В. А. Прокопенко, студент

Черкаський державний технологічний університет

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

tatianaalexandr@yandex.ru

КОГНІТИВНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

В статті розглядається питання управління ризиками технологічного комплексу неперервного типу. У новій концепції управління невизначеність та ризики займають особливе місце. Проаналізувавши характер і розглянувши особливості технологічних комплексів неперервного типу, автори класифікували ризики та виділили внутрішні ризики, які безпосередньо впливають на технологічну складову прибутку. Авторами запропоновано математичні моделі ідентифікації ризиків технологічних комплексів неперервного типу. Також запропонована нечітка когнітивна модель управління ризиками технологічного комплексу в галузі харчової промисловості.

Ключові слова: технологічний комплекс неперервного типу, ризики, управління ризиками, когнітивна модель.

Вступ. В нинішніх умовах жорсткої конкуренції підприємство має бути динамічним та стійким до змін та впливів зовнішнього та внутрішнього оточення. Середовище характеризується високим ступенем невизначеності і не завжди сприяє діяльності підприємства. Для того щоб вижити та розвиватися в сучасних умовах, підприємство має не тільки пристосовуватись до зовнішнього середовища шляхом адаптації своєї внутрішньої структури та зовнішньої поведінки. Підприємство має навпаки активно формувати зовнішні умови своєї діяльності, постійно виявляючи в зовнішньому середовищі загрози та потенційні можливості, що є особливо важливим в умовах невизначеності та ризиків [1]. Тому першочерговою вимогою до виробництва є забезпечення гнучкості, мобільності, універсальності при забезпеченні високої продуктивності виробництва, тобто вимога швидкості і адекватності прийняття рішень, а також їх реалізації відповідно стратегіям зовнішнього оточення та внутрішньої динаміки для своєчасного досягнення запланованих стратегічних показників [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливого значення в управлінні різними об'єктами, в тому числі технологічними комплексами (ТК) неперервного типу, набуває дослідження умов та причин виникнення ризикових подій, розробка заходів зниження ймовірності ризику, уникнення настання ризику або зменшення витрат в результаті на-

стання ризику. Вітчизняні та зарубіжні вчені Кунцевич В.М. [3], Сікора Л.С. [4], Грабовський Г.Г., Богаєнко І.М., Архангельський В.І. [5], Бурков В.Н., Новіков Д.А. [6], Малиницький Г. Г., Трахтенгерц Є. А. досягли значних успіхів в дослідженні питань, пов'язаних з невизначеністю та ризиками в різних видах діяльності. Однак, управлінню ризиками ТК неперервного типу в галузі харчової, хімічної та ін. промисловості, аналізу та врахуванню факторів, що їх викликають, визначенню можливих втрат у виробництві, розробці заходів, що запобігають виникненню ризикової події, не приділено достатньо уваги.

Метою даної статті є розробка когнітивної моделі управління ризиками технологічних комплексів неперервного типу в галузі харчової, хімічної та ін. промисловості, що забезпечить зменшення перевитрати ресурсів та втрати цільового продукту у виробництві.

Викладення основного матеріалу дослідження. Технологічний комплекс неперервного типу розглядається як послідовність з'єднаних підсистем, що перетворюють вихідну сировину та матеріали в готовий продукт [7]. Кожна з підсистем має значні матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки, а також зворотні зв'язки. В результаті взаємодії неперервних потоків речовини та енергії, фізико-хімічних перетворень на різних стадіях виробничий процес та технологічне обладнання є інтегроване, тобто взаємопов'язані та узгоджені оперативно в часі.

Технологічні комплекси неперервного типу та їх підсистеми в певний момент часу характеризується станом, що виражається рівняннями:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i + D_1 w_i \\ y_i = Cx_i + D_2 w_i \end{cases} \quad (1)$$

де x – вектор стану системи, u – управління, y – вихід системи, w – вхідні сигнали (зовнішні збурення), A, B, C, D_i – матриці [7].

Дана математична модель в координатах стану дає змогу отримати оцінку таких показників як керованість та спостережливість системи в ході оперативного управління.

Для технологічних комплексів неперервного типу характерні такі властивості як наявність підсистем, що пов'язані між собою складними структурними та функціональними відношеннями; наявність ієрархічної структури, що обумовлена існуванням глобальної цілі та локальних цілей підсистем; необхідність адаптації до зміни внутрішніх умов функціонування та зовнішнього середовища; велика розмірність задачі управління. Технологічні процеси є слабо організованими та залежать від впливу факторів зовнішнього та внутрішнього середовища, наприклад якості сировини та навантажень, що характеризується виробничими ситуаціями.

Функціонування ТК неперервного типу в харчовій та хімічній промисловості відрізняється наступними особливостями: сезонність виробництва або збуту продукції, залежність від сировини, залежність від енергоносіїв, необхідність забезпечення мінімальних втрат цільового продукту при жорстких обмеженнях ресурсів, нестаціонарність процесів. Ефективність ТК неперервного типу залежить від наступних основних факторів: сировини, тривалості виробничого сезону, концентрації виробництва, територіального розміщення підприємств. Тому, як в стратегічному, так і в оперативному управлінні ТК неперервного типу важливим є врахування факторів, що породжують ризики, дослідження умов та причин виникнення ризикових подій, а також вироблення заходів їх уникнення, що забезпечить зменшення втрат цільового продукту у виробництві та зменшить перерви та фінансових ресурсів.

Ризики породжуються різними факторами зовнішнього середовища та виробничої діяльності ТК неперервного типу [8]. В загальному вигляді ризики ТК неперервного типу можна класифікувати наступним чином:

1. Внутрішні ризики, що породжуються факторами внутрішнього стану ТК:

- виробничі ризики, що пов'язані з настанням проблемних ситуацій в ході технологічного процесу;
- ризики, що пов'язані з енергетичними ресурсами (наявність, перевитрати);
- ризики, що характеризуються сировинним фактором;

2. Зовнішні ризики, які породжуються факторами зовнішнього середовища системи:

- ринкові ризики, які пов'язані зі зміною ринкової ситуації в зовнішньому середовищі;
- політичні ризики, що пов'язані зі зміною політичної ситуації в зовнішньому середовищі;
- форм-мажорні ризики, які важко передбачити.

В ході дослідження проблеми управління ризиками використовуються різні моделі та методи, що характеризуються наявністю та повнотою вихідної інформації. В залежності від повноти вихідної інформації ризикові ситуації прийнято ділити на три групи:

- ситуації з достатнім обсягом статистичних даних для визначення закону розподілення ймовірностей (в тому числі перевірки необхідних статистичних гіпотез) настання ризикової події;
- ситуації з недостатнім обсягом статистичних даних для визначення закону розподілення ймовірностей настання ризикової події;
- ситуації з відсутністю статистичної інформації про можливість настання ризикової події.

Існуючі методи управління, такі як «метод дерева рішень», метод «платіжної матриці», різні ігрові моделі і таке інше, надають можливості прийняття рішення в ситуаціях, коли можлива ймовірнісно-статистична оцінка наслідків рішень, тобто в умовах повної інформованості. Тому їх неможливо застосувати при наявності ризикових ситуацій третього типу. Виникає необхідність застосування для дослідження задач управління ризиками експертної інформації, яка надасть можливості оцінки за допомогою порядкових рангів шкал виникнення ризикових ситуацій, ступінь впливу факторів ризику різної природи на цільові показники ефективності, а також виявити найбільш значимі фактори ризику.

ТК неперервного типу характеризуються слабкою організацією технологічного процесу, залежністю від зовнішніх та внутрішніх збурень, необхідністю адаптації до умов зовнішнього середовища та внутрішнього стану.

Тому на технологічну складову прибутку найбільше впливають наступні ризики.

Ризик втрат цільового продукту у виробництві:

$$Risk^{\Pi} = \sum_{i=1}^k P_i^{\Pi} \cdot V_i^{\Pi}, \quad (2)$$

де i – номер стадії технологічного процесу, $i = \overline{1, k}$, k – загальна кількість стадій технологічного процесу; P_i^{Π} – імовірність втрат цільового продукту у виробництві; V_i^{Π} – вартість витрат, пов'язаних втратами цільового продукту у виробництві.

Ризик перевитрати теплової енергії:

$$Risk^{V_3} = \sum_{i=1}^k (P_i^{G_T} \cdot V_i^{V_3} + P_i^{N_{T.T.}} \cdot V_i^{V_3}) \quad (3)$$

де i – номер стадії технологічного процесу, $i = \overline{1, k}$, k – загальна кількість стадій технологічного процесу; $P_i^{G_T}$ – імовірність збільшення показника витрат на теплову енергію для i -ї стадії технологічного процесу; $P_i^{N_{T.T.}}$ – імовірність збільшення показника витрати умовного палива на відпущені т.ккал. теплової енергії для i -ї стадії технологічного процесу; $V_i^{V_3}$ – вартість витрат, пов'язаних зі збільшенням значення показника витрат на теплову енергію.

Ризик перевитрати допоміжних матеріалів:

$$Risk^{V_2} = \sum_{i=1}^k P_i^{V_2} \cdot V_i^{V_2} \quad (4)$$

де i – номер стадії технологічного процесу, $i = \overline{1, k}$, k – загальна кількість стадій технологічного процесу; $P_i^{V_2}$ – імовірність збільшення показника витрат допоміжних матеріалів для i -ї стадії технологічного процесу; $V_i^{V_2}$ – вартість витрат, пов'язаних зі збільшенням значення показника витрат допоміжних матеріалів.

Ризик перевитрати електроенергії:

$$Risk^{V_4} = \sum_{i=1}^k P_i^{V_4} \cdot V_i^{V_4} \quad (5)$$

де i – номер стадії технологічного процесу, $i = \overline{1, k}$, k – загальна кількість стадій технологічного процесу; $P_i^{V_4}$ – імовірність збільшення показника витрат електроенергії для i -ї стадії технологічного процесу; $V_i^{V_4}$ – вартість

витрат, пов'язаних зі збільшенням значення показника витрат електроенергії.

Загальний ризик на всіх стадіях технологічного процесу можемо представити у вигляді:

$$Risk = \sum_{n=1}^m Risk^n \quad (6)$$

де $Risk^n$ – міра ризику від ризикованої події n -го виду на всіх стадіях технологічного процесу, грн. $n = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, k}$, m – кількість видів ризикових подій, $m = 4$; k – загальна кількість операцій технологічного процесу.

$$Risk \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$Risk = \sum_{n=1}^m Risk^n \rightarrow \min$$

$$n = \overline{1, m}$$

де n – номер ризику, $n = \overline{1, m}$, m – загальна кількість ризиків.

Таким чином, маємо наступну цільову функцію математичної моделі ризиків технологічного процесу:

$$\sum_{n=1}^m (\sum_{i=1}^k P_i^{\Pi} \cdot V_i^{\Pi} + \sum_{i=1}^k (P_i^{G_T} \cdot V_i^{V_3} + P_i^{N_{T.T.}} \cdot V_i^{V_3}) + \sum_{i=1}^k P_i^{V_2} \cdot V_i^{V_2} + \sum_{i=1}^k P_i^{V_4} \cdot V_i^{V_4}) \rightarrow \min$$

$$0 < P_i^{\Pi} < 1,$$

$$0 < P_i^{G_T} < 1,$$

$$0 < P_i^{N_{T.T.}} < 1,$$

$$0 < P_i^{V_2} < 1,$$

$$0 < P_i^{V_4} < 1.$$

Функція величини витрат має обмеження:

$$V_i^n \geq 0, \quad i = \overline{1, k}, \quad n = \overline{1, m},$$

де i – номер стадії технологічного процесу $i = \overline{1, k}$, k – загальна кількість стадій технологічного процесу; n – номер ризику, $n = \overline{1, m}$, m – загальна кількість ризиків.

Управління ризиками ТК неперервного типу реалізується в два етапи:

1. Виявлення найбільш значущих ризиків - факторів зовнішнього середовища та внутрішнього стану ТК.

2. Визначення початкового набору ефективних заходів щодо зниження можливості виникнення ризикових ситуацій або мінімізації їх наслідків.

Для реалізації першого етапу доцільним є застосування підходу, який базується на понятті когнітивна карта та називається когнітивним моделюванням. Формально, когнітивна карта представляє орієнтований граф, ребрам (або вершинам) якого поставлені у відповідність ваги. Вона задається матрицею суміжності $W = [w_{ij}]_{n \times n}$, де n – число вершин, w_{ij} – вага ребра (i, j) , $w_{ij} = 0$ означає, що ребро (i, j) відсутнє [9].

Для рішення задач з якісними й погано визначеними параметрами більш адекватним є підхід, запропонований Б. Коско [10], що увів нечіткі когнітивні карти (НКК). У загальному випадку НКК – це зважений орієнтований граф з множиною вершин S і множиною ребер E , у якому вершини представляють фактори, а ребра – зв'язки між факторами, які інтерпретуються як причинно-наслідкові (каузальні) зв'язки [10].

Побудуємо в узагальненому вигляді нечітку когнітивну карту управління ризиками для технологічних комплексів неперервного типу в галузі харчової промисловості.

Вершини когнітивної карти відповідають факторам (концептам), що визначають (рис. 1):

- джерела виникнення ризикових ситуацій у зовнішньому і внутрішньому середовищі ТК неперервного типу, тобто фактори зовнішнього ($3\Phi_1, \dots, 3\Phi_n$) та внутрішнього середовища ($B\Phi_1, \dots, B\Phi_m$);
- ризики, викликані визначеними факторами що впливають на реалізацію певного стратегічного рішення ($P_{3\Phi_1}, P_{B\Phi_1}, \dots, P_{3\Phi_n}, P_{B\Phi_m}$), що виражені через показники (індикатори) прогнозування виникнення та розвитку ризикових ситуацій;
- показник наслідку виникнення ризикових ситуацій для ТК ($V_1, \dots, V_n$);
- заходи, що необхідні для запобігання або зниження рівня різних видів ризиків ($M_{P_{3\Phi_1}}, M_{P_{B\Phi_1}}, \dots, M_{P_{3\Phi_n}}, M_{P_{B\Phi_m}}$);
- показники ефективності функціонування ТК ($E_{p1}, \dots, E_{p4}$).

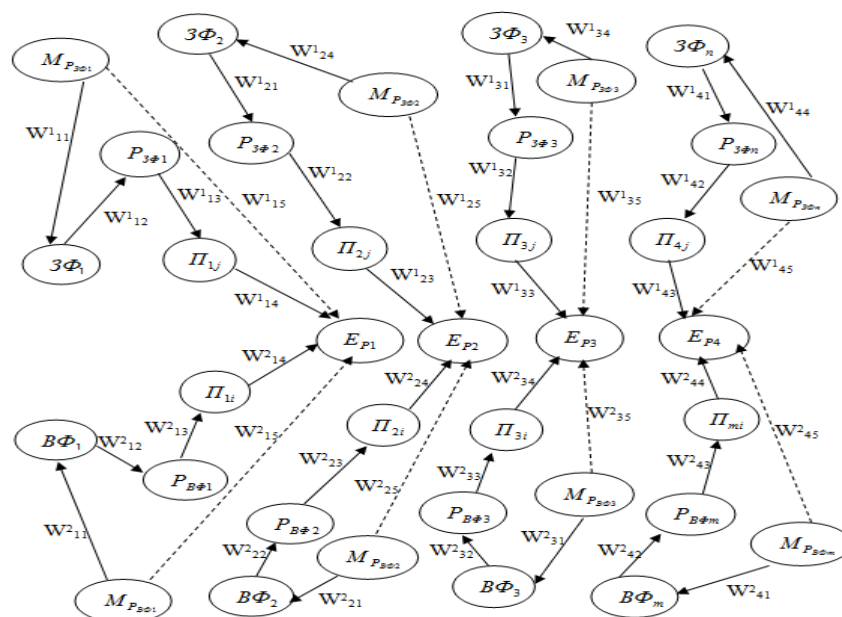


Рис. 1. Узагальнена нечітка когнітивна карта управління ризиками для ТК неперервного типу

Ребра графа (рис. 1) відображають силу впливу факторів зовнішнього середовища з одного боку та факторів внутрішнього стану ТК з іншого боку на виникнення ризикових ситуацій. Настання ризикової події спричиняє певні наслідки, які в свою чергу впливають на значення показників ефективності ТК.

На етапі моніторингу ризикових ситуацій проводиться оцінювання ймовірності настання ризику і обчислюється агреговане значення величини ризику як згортка нечіткої оцінки можливості i – небезпечної події і величини збитку від цієї події. Для кожного інтервалу значень ризику $P_{3\Phi_1}$, які можуть,

наприклад, відповідати, допустимому, прийнятному і неприйнятному рівню ризику, вибираються ефективні основні та резервні заходи, які мають найбільший вплив на ймовірність настання ризику.

Для визначення ефективних профілактичних заходів здійснюється послідовне включення в модель відповідних вузлів - концептів ($M_{P_{\Phi 1}}, M_{P_{\Phi 2}}, \dots, M_{P_{\Phi n}}, M_{P_{\Phi m}}$). Для побудованих нечітких когнітивних карт визначають ступінь комплексного (у тому числі опосередкованого) впливу заходів на показники прогнозування ризикових ситуацій, і вибирають ті заходи, які з найменшими витратами забезпечують найбільший вплив на рівень ризику і його можливі наслідки.

При функціонуванні ТК неперервного типу значення всіх концептів побудованої нечіткої когнітивної карти міняються, що неминує призводить до зміни значень показників ризику. При цьому попадання даних значень в заздалегідь задані інтервали визначає доцільність реалізації відповідних заходів щодо зниження рівня ризику або його можливих негативних наслідків.

Висновки. Розроблена когнітивна модель управління ризиками дає можливість виявлення джерел ризикових подій в зовнішньому та внутрішньому середовищах ТК неперервного типу, ступеню їх впливу на показники ефективності, а також визначення заходів уникнення ризиків. Дана модель застосовується в ході розробки альтернативних стратегічних сценаріїв досягнення цілей, що дозволяє здійснити вибір найбільш ефективного сценарію стратегічного управління згідно врахованих ризиків.

Список літератури

1. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: [монографія]. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2015. 224 с.
2. Прокопенко Т. А., Ладанюк А. П. Информационная модель управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе организационно-технических систем. *Проблемы управления и информатики*: международный научно-технический журнал. 2014. № 5. С. 64–70.
3. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и иденти-

фикации: [монография]. К.: Наук. думка, 2006. 264 с.

4. Сікора Л. С. Когнітивні моделі та логіка оперативного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику: [монографія]. Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009. 432 с.
5. Архангельский В. И., Богаенко И. В., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. Интегрированное управление производством: организационные и технологические аспекты менеджмента предприятиями. К.: Техніка, 2005. 328 с.
6. Novikov D., Ashimov A., Sultanov B., Adilov Z., Borovskiy Y., Alshanov R., Ashimov A. Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 2013. 288 p.
7. Ладанюк А. П., Шумигай Д. А., Бойко Р. О. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа. *Проблемы управления и информатики*. 2013. № 4. С. 117–122.
8. Ladaniuk A., Prokopenko T., Reshetiuk V. The model of strategic management of organizational and technical systems, taking into account risk-based cognitive approach. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*. 2014. № 63. P. 97–104.
9. Кузнецов А. П., Кулинич А. А., Марковский А. В. Анализ влияния при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт. Человеческий фактор в управлении; под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. М.: КомКнига, 2006. С. 313–344.
10. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal Man-Machine Studies*. 1986. Vol. 11. P. 65–67.

References

1. Prokopenko, T. O., Ladanyuk, A. P. (2015) Information technologies of management by organizational and technological systems. Cherkasy: Vertical, publisher Kandych S. H., 224 p. [in Ukrainian].
2. Prokopenko, T. A., Ladanyuk, A. P. (2014). Information model of management by technological complexes of continuous type in the class of organizational and technical systems. *Problemy upravleniya i informatiki*, No. 5, pp. 64–70 [in Russian].

3. Kuntsevych, V. M. (2006) Management in terms of uncertainty: guaranteed results in the problems of management and authentication. Kyiv: Nauk. dumka, 264 p. [in Ukrainian].
4. Sikora, L. S. (2009) Cognitive models and logic in hierarchical operational management of integrated systems at risk. L'viv: TSSD «EBTES», 432 p. [in Ukrainian].
5. Arkhangelskiy, V. I., Bogaenko, I. V., Grabowskiy, G. G., Ryumshyn, N. A. (2005) Integrated production management: organizational and technological aspects of enterprise management. Kiev: Tekhnika, 328 p. [in Russian].
6. Novikov, D., Ashimov, A., Sultanov, B., Adilov, Z., Borovskiy, Y., Alshanov, R., Ashimov, A. (2013) Macroeconomic analysis and parametric control of national economy. New York: Springer, 288 p.
7. Ladanyuk, A. P., Shumigay, D. A., Boyko, R. O. (2013) Case coordination of subsystems of technological systems of continuous type. *Problemy upravleniya i informatiki*, (4), pp. 117–122.
8. Ladaniuk, A., Prokopenko, T., Reshетиuk, V. (2014) The model of strategic management of organizational and technical systems, taking into account risk-based cognitive approach. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*, (63), pp. 97–104.
9. Kuznetsov, A. P., Kulinich, A. A., Markovskii, A. V. (2006) Analysis of the effects at the management by semistructured situations on the basis of cognitive maps. *The human factor in management*. O. N. Abramova, K. S. Ginsberg, D. A. Novikov (eds). Moscow: KomKniga, pp. 313–344.
2. Kosko, B. (1986) Fuzzy cognitive maps. *International Journal Man-Machine Studies*, (11), pp. 65–67.

T. O. Prokopenko, *Dr.Tech.Sc, accociate professor,*

V. A. Prokopenko, *student*

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

tatianaalexandr@yandex.ru

COGNITIVE MODEL OF RISK MANAGEMENT BY TECHNOLOGICAL COMPLEX OF CONTINUOUS TYPE

The article discusses the main issues of risk management of the continuous type technological complexes. In the new concept the uncertainties and risks deserve special attention. In conventional control logic uncertainty regarded as inevitable losses that may be visible or hidden. Manager tries to avoid or to minimize the uncertainty and risks through detailed planning, regulation and precise execution of the plan. With the new approach to the management of uncertainty is explicitly recognized as part of the real world and regarded as the most important part of management and planning.

The purpose of this article is to develop a cognitive model of risk management of the continuous type technological complexes in the food, chemical and others industry.

After analyzing and considering the specialty of the continuous type technological complexes, the authors highlighted the internal risks that directly affect the technological component of profit.

The authors propose a mathematical model of risks identification of the continuous type technological complexes, which directly affect the technological component of profit. Also, the authors propose a fuzzy cognitive model of risk management of the continuous type technological complexes in food industry. This model makes it possible to identify the sources of risk events in the external and internal environment of the company, the degree of their effect on business performance, as well as the definition of actions to avoid risks.

Keywords: *continuous type technological complexes, risk, risk management, cognitive model.*

Статтю представляє Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет.

О. С. Гавриш, к.ф.-м.н., доцент,

О. В. Бурдукова, аспірант,

А. О. Іващенко, аспірант,

Р. О. Безпалій, магістр

Черкаський державний технологічний університет

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

ПОЛІНОМІАЛЬНІ АЛГОРИТМИ ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ГАРМОНІЧНОГО СИГНАЛУ З ФЛУКТУЮЧОЮ ЧАСТОТОЮ ПРИ КОГЕРЕНТНОМУ ПРИЙОМІ І АСИМЕТРИЧНО-ЕКСЦЕСНІЙ ЗАВАДИ

В роботі синтезовано алгоритми вимірювання амплітуди гармонічного сигналу з флюктууючою частотою при когерентному прийомі, що приймається на фоні негауссівських завад, які достатньо повно описуються коефіцієнтами асиметрії та ексцесу. Показано, що при нелінійній оцінці обчислювальні алгоритми залежать від кумулянтних коефіцієнтів 3-го та 4-го порядків, що дозволяє враховувати негауссівський характер розподілу адитивної завади.

На основі отриманих поліноміальних алгоритмів можна будувати пристрої вимірювання амплітуди гармонічного сигналу з флюктууючою частотою і відомою початковою фазою при апіорно відомих статистичних параметрах негауссівської завади.

Ключові слова: амплітуда, флуктуація частоти, гармонічний сигнал, когерентний прийом, негауссівська завада, асиметрично-ексцесна завада, оцінка параметра, метод максимізації полінома, дисперсія, коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

Вступ. При прийомі гармонічного сигналу необхідно враховувати, що його частота може зазнавати випадкові зсуви (флуктуації), які ще називають фазовим шумом [1-3]. Наприклад, якщо на вході супутникового конвертора присутній немодульований синусоїдальний сигнал частотою 4 ГГц, то на його виході повинен виділятися такий же синусоїдальний сигнал з частотою точно 1,15 ГГц. Однак, частота гетеродина конвертора нестала, вона випадково змінюється (флюктує) в певній області навколо номінальної частоти. Таким чином, в довільний момент часу миттєва частота вихідного сигналу буде знаходитися в смузі шириною, наприклад, 10 МГц з центральною частотою 1,15 ГГц [2]. Крім фазового шуму [3] неодмінно буде присутня адитивна завада, що також негативно впливає на якість прийому сигналу, зокрема на точність оцінки його параметрів.

В більшості робіт, наприклад [4], припускається, що адитивна завада має нормальний (гауссівський) закон розподілу. Проте „зручна” гіпотеза гауссовості завади не завжди отримує експериментальне підтвердження, і як наслідок, її використання приводить до неоптимального прийому. В даній роботі пропонується синтезувати нелінійний алгоритм оцінювання параметру гармонічного си-

гналу з флюктууючою частотою, що оптимальний для певного класу негауссівських завад, які за своїми стохастичними властивостями близькі до гауссівських. В роботі розглядається випадок когерентного прийому сигналу, при якому використовуються відомості про початкову фазу сигналу.

Постановка задачі. Припустимо, що існує вибірка $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ обсягом n незалежних неоднаково розподілених значень із генеральної сукупності значень випадкової величини ξ_v виду

$$\xi_v = S_v + n_v, \quad v = \overline{1, n} \quad (1)$$

де n_v – негауссівська завада, яка описується кінцевою послідовністю кумулянтів χ_2, χ_3, χ_4 . Згідно з класифікацією, наведеною в роботі [5, 6], така завада називається асиметрично-ексцесною випадковою величиною.

У виразі (1) перший доданок S_v – корисний гармонічний сигнал виду

$$S_v = A \cdot \cos[(\omega_0 + \Delta) \cdot \delta \cdot v + \varphi_0]. \quad (2)$$

Частота ω і початкова фаза φ_0 є відомими параметрами, Δ – флуктуація частоти, яка має гауссівський закон розподілу з параметрами $(0; \sigma^2)$. У виразі (2) множник δv характеризує моменти часу спостереження, в

якому величина δ – крок дискретизації, що вибирається згідно з теоремою Котельникова, а v – номер вибіркового значення, причому $v = \overline{1, n}$.

Метою роботи є синтез поліноміальних алгоритмів оцінки амплітуди гармонічного сигналу A , оптимальних при асиметрично-ексцесній заваді.

Математичні моделі сигналів та завад. Знайдемо початкові моменти випадкової величини S_v .

$$\alpha_{iv} = E \cdot \{\cos[(\omega_0 + \Delta)\delta v + \varphi_0]\}^i, \quad (3)$$

де E – символ математичного сподівання.

Згідно визначення математичного сподівання [8]:

$$E\eta = \int_{-\infty}^{+\infty} x\rho_\eta(x)dx, \quad (4)$$

де $\rho_\eta(x)$ – щільність розподілу випадкової величини η .

Тоді початковий момент першого порядку дорівнює

$$\alpha_{1v} = ES_v = E\{\cos[(\omega_0 + \Delta)\delta v + \varphi_0]\}. \quad (5)$$

Використавши формулу Ейлера

$$\cos a = \frac{e^{ja} + e^{-ja}}{2},$$

Маємо :

$$\begin{aligned} \alpha_{iv} &= \frac{1}{2} \cdot E\{\exp[j(\omega_0 + \Delta)\delta v + \varphi_0] + \\ &+ \exp[-j((\omega_0 + \Delta)\delta v + \varphi_0)]\} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot e^{j(\omega_0\delta v + \varphi_0)} \cdot E\{e^{j\Delta\delta v}\} + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot e^{-j(\omega_0\delta v + \varphi_0)} \cdot E\{e^{-j\Delta\delta v}\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Легко помітити, що у виразі (6) множник

$$E\{e^{j\Delta\delta v}\} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\Delta\delta v} p_\Delta(y)dy = f(\delta v) \quad (7)$$

представляє собою характеристичну функцію.

Для випадкової величини з нормальним розподілом зі щільністю

$$p_\Delta(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(y-a)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

характеристична функція має вид [7]:

$$f(t) = \exp\left\{jat - \frac{\sigma^2 t^2}{2}\right\}.$$

При $a = 0$:

$$E\{e^{j\Delta\delta v}\} = f(\delta v) = e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}}.$$

Очевидно, що

$$Ee^{-j\Delta\delta v} = f^*(\delta v) = e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}}, \quad (8)$$

де $f^*(\delta v)$ – спряжена характеристична функція.

Отже, маємо:

$$\begin{aligned} \alpha_{1v} &= \frac{1}{2} e^{j(\omega_0\delta v + \varphi_0)} e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} + \\ &+ \frac{1}{2} e^{-j(\omega_0\delta v + \varphi_0)} e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} = \\ &= \frac{1}{2} e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} [e^{j(\omega_0\delta v + \varphi_0)} + e^{-j(\omega_0\delta v + \varphi_0)}] \end{aligned}$$

Використавши формули

$$e^{ja} = \cos a + j \sin a;$$

$$e^{-ja} = \cos a - j \sin a,$$

отримаємо кінцевий вираз для початкового моменту 1-го порядку

$$\alpha_{1v} = e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} \cos(\omega_0\delta v + \varphi_0). \quad (9)$$

Аналогічно можна знайти початкові моменти більш високих порядків. Маємо:

$$\alpha_{2v} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-2\sigma^2 \delta^2 v^2} \cos 2(\omega_0\delta v + \varphi_0), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{3v} &= \frac{3}{4} e^{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} \cos(\omega_0\delta v + \varphi_0) + \\ &+ \frac{1}{4} e^{-\frac{9\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}} \cos 3(\omega_0\delta v + \varphi_0), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{4v} &= \frac{3}{8} + \frac{1}{2} e^{-2\sigma^2 \delta^2 v^2} \cos 2(\omega_0\delta v + \varphi_0) + \\ &+ \frac{1}{8} e^{-8\sigma^2 \delta^2 v^2} \cos 4(\omega_0\delta v + \varphi_0). \end{aligned} \quad (12)$$

Для спрощення запису виразів (9)-(12) введемо позначення

$$b = \exp\left\{-\frac{\sigma^2 \delta^2 v^2}{2}\right\}, \quad \cos \alpha = \cos(\omega_0\delta v + \varphi_0).$$

Тоді, враховуючи амплітуду гармонічного сигналу A , початкові моменти випадкової величини S_v запишуться у вигляді

$$\alpha_{1v} = Ab \cos \alpha, \quad \alpha_{2v} = \frac{A^2}{2} (1 + b^4 \cos 2\alpha),$$

$$\alpha_{3v} = \frac{A^3}{4} (3b \cos \alpha + b^9 \cos 3\alpha),$$

$$\alpha_{4v} = \frac{A^4}{8} (3 + 4b^4 \cos 2\alpha + b^{16} \cos 4\alpha).$$

Легко показати, що початкові моменти для випадкової величини виду (1) запишуться у вигляді [8]

$$\begin{aligned} m_{1v} &= \alpha_{1v}; \quad m_{2v} = \alpha_{2v} + \chi_2; \\ m_{3v} &= \alpha_{3v} + 3\alpha_{1v}\chi_2 + \chi_2^{1.5}\gamma_3; \\ m_{4v} &= \alpha_{4v} + 6\alpha_{2v}\chi_2 + 4\alpha_{1v}\chi_2^{1.5}\gamma_3 + \chi_2^2(\gamma_4 + 3). \end{aligned} \quad (13)$$

де $\gamma_q = \chi_q \chi_2^{-0.5q}$, $q = 3, 4$ – кумулянтні коефіцієнти, які відповідно мають назву коефіцієнтів асиметрії та ексцесу.

Використовуючи початкові моменти виду (13), можна легко знайти вирази для центрованих корелянтів випадкової величини ξ_v

$$\begin{aligned} F_{(1,1)v} &= \frac{A^2}{2} (1 + b^4 \cos 2\alpha - 2b^2 \cos^2 \alpha) + \chi_2; \\ F_{(1,2)v} &= F_{(2,1)v} = \frac{A^3}{4} (b \cos \alpha + b^9 \cos 3\alpha - 2b^5 \cos \alpha \cos 2\alpha) + 2Ab \cos \alpha \chi_2 + \chi_2^{1.5}\gamma_3; \\ F_{(2,2)v} &= \frac{A^4}{8} (1 + b^{16} \cos 4\alpha - 2b^8 \cos^2 2\alpha) + 2A^2 \chi_2 (1 + b^4 \cos 2\alpha) + 4Ab \cos \alpha \chi_2^{1.5}\gamma_3 + \chi_2^2(\gamma_4 + 2). \end{aligned} \quad (14)$$

Для обчислення оптимальних вагових коефіцієнтів рівнянь максимізації поліному також необхідні вирази похідних від початкових моментів по амплітуді гармонічного сигналу A .

$$\begin{aligned} \frac{d}{dA} m_{1v}(A) &= b \cos \alpha; \\ \frac{d}{dA} m_{2v}(A) &= A(1 + b^4 \cos 2\alpha). \end{aligned} \quad (15)$$

Результати роботи. Відповідно з методом максимізації поліному [5] оцінка амплітуди гармонічного сигналу A при ступені полінома $s = 1$ знаходиться з розв'язку рівняння

$$\sum_{v=1}^n k_{1v}(A)(x_v - m_{1v}(A)) \Big|_{A=\hat{A}} = 0, \quad (16)$$

де ваговий коефіцієнт $k_{1v}(A)$ знаходиться з розв'язку лінійного алгебраїчного рівняння виду

$$k_{1v}(A)F_{(1,1)v}(A) = \frac{d}{dA} m_{1v}(A). \quad (17)$$

Тоді, використовуючи вирази (14) і (15) легко показати, що коефіцієнт $k_{1v}(A)$ дорівнює

$$k_{1v}(A) = \frac{b \cos \alpha}{\frac{A^2}{2} (1 + b^4 \cos 2\alpha - 2b^2 \cos^2 \alpha) + \chi_2}. \quad (18)$$

Підставляючи коефіцієнт виду (18) в рівняння максимізації поліному (16), отримаємо рівняння, з розв'язку якого знаходиться оцінка параметра A чисельними методами

$$\sum_{v=1}^n \frac{b \cos \alpha (x_v - Ab \cos \alpha)}{\frac{A^2}{2} (1 + b^4 \cos 2\alpha - 2b^2 \cos^2 \alpha) + \chi_2} \Big|_{A=\hat{A}} = 0.$$

Отримане рівняння залежить від параметрів гармонічного сигналу і від дисперсії завади χ_2 і не залежить від кумулянтних коефіцієнтів γ_3 , γ_4 і т.д., відповідно не враховує негауссовості розподілу завади.

Рівняння максимізації полінома при $s = 2$ для знаходження оцінки амплітуди гармонічного сигналу A запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} \sum_{v=1}^n k_{1v}(A)(x_v - m_{1v}(A)) + \\ + \sum_{v=1}^n k_{2v}(A)(x_v^2 - m_{2v}(A)) \Big|_{A=\hat{A}} = 0, \end{aligned} \quad (19)$$

де вагові коефіцієнти $k_{1v}(A)$ і $k_{2v}(A)$ знаходяться з сумісного розв'язку двох лінійних алгебраїчних рівнянь виду

$$k_{1v}(A)F_{(1,1)v}(A) + k_{2v}(A)F_{(1,2)v}(A) = \frac{d}{dA} m_{1v}(A) \quad (20)$$

$$k_{1v}(A)F_{(1,2)v}(A) + k_{2v}(A)F_{(2,2)v}(A) = \frac{d}{dA} m_{2v}(A)$$

Використовуючи центровані корелянти $F_{(i,j)v}(A)$ виду (14), а також вирази для похідних виду (15), знаходимо методом Крамера вирази для шуканих вагових коефіцієнтів

$$\begin{aligned} k_{1v}(A) &= \frac{1}{\Delta_2} \left(\frac{A^4}{4} a_{41} + A \chi_2^{\frac{3}{2}} \gamma_3 a_{11} + \right. \\ &\quad \left. + \chi_2^2 (2b \cos \alpha + b \cos \alpha \gamma_4) \right), \end{aligned} \quad (21)$$

$$k_{2v}(A) = \frac{1}{\Delta_2} \left(\frac{A^3}{4} a_{32} + A \chi_2 a_{12} - b \cos \alpha \chi_2^{\frac{3}{2}} \gamma_3 \right)$$

де головний визначник системи алгебраїчних рівнянь має вигляд

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \frac{1}{16} A^6 a_{60} + A^4 \chi_2 a_{40} + A^3 \chi_2^{\frac{3}{2}} \gamma_3 a_{30} + \\ &\quad + A^2 \chi_2^2 a_{20} + \chi_2^3 (2 - \gamma_3^2 + \gamma_4). \end{aligned} \quad (22)$$

Для спрощення запису введені позначення, в яких кожний індекс складається з двох цифр, перша цифра індексу вказує на степінь амплітуди, друга – на приналежність до певного коефіцієнта, цифра 0 використовується для позначення елементів головного визначника системи рівнянь

$$\begin{aligned} a_{60} &= b^{20} \cos 2\alpha \cos 4\alpha - 2b^{18} \cos^2 \alpha \cos 4\alpha + \\ &+ b^{16} \cos 4\alpha + 4b^{14} \cos 3\alpha \cos \alpha \cos 2\alpha - \\ &- 2b^{10} \cos \alpha \cos 3\alpha + 4b^6 \cos^2 \alpha \cos 2\alpha - \\ &- b^{18} \cos^2 3\alpha - 3b^2 \cos^2 \alpha + b^4 \cos 2\alpha - \\ &- 2b^8 \cos^2 2\alpha - 2b^{12} \cos^3 2\alpha + 1; \\ a_{40} &= \left(\frac{1}{8}b^{16} \cos 4\alpha + 2b^4 \cos 2\alpha + 3b^2 \cos^2 \alpha + \right. \\ &+ \left.\frac{3}{4}b^8 \cos^2 2\alpha - b^{10} \cos \alpha \cos 3\alpha + \frac{9}{8}\right); \\ a_{30} &= 3b^5 \cos 2\alpha \cos \alpha - \frac{1}{2}b^9 \cos 3\alpha - \\ &- 4b^3 \cos^3 \alpha + \frac{3}{2}b \cos \alpha; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\sum_{v=1}^n \left(\frac{1}{\Delta_2} \left(\frac{A^4}{4} (b^{17} \cos \alpha \cos 4\alpha - \frac{1}{2}b \cos \alpha - b^9 \cos 3\alpha - b^{13} \cos 3\alpha \cos 2\alpha + b^9 \cos \alpha \cos^2 2\alpha + \right. \right. \\ &+ \left. \left. b^5 \cos \alpha \cos 2\alpha) + A\chi_2^{1.5} \gamma_3 (4b^2 \cos^2 \alpha - 1 - b^4 \cos 2\alpha) + \chi_2^2 (2b \cos \alpha + b \cos \alpha \gamma_4) \right) (x_v - A b \cos \alpha) + \right. \\ &+ \left. \sum_{v=1}^n \frac{1}{\Delta_2} \left[\frac{A^3}{4} (2b^8 \cos^2 2\alpha + 4b^4 \cos 2\alpha - 5b^2 \cos^2 \alpha + 2 - 2b^6 \cos^2 \alpha \cos 2\alpha - b^{10} \cos \alpha \cos 3\alpha) + \right. \right. \\ &+ \left. \left. A\chi_2 (b^4 \cos 2\alpha + 1 - 2b^2 \cos^2 \alpha) - b \cos \alpha \chi_2^{1.5} \gamma_3 \right] (x_v^2 - \frac{A^2}{2} (1 + b^4 \cos 2\alpha) - \chi_2) \right) \Big|_{A=\mathbb{F}} = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Рівняння максимізації поліному при степені $s=2$ виду (23) на відмінну від рівняння при степені $s=1$ додатково залежить від коефіцієнтів асиметрії γ_3 та ексцесу γ_4 , тобто оцінка параметра A враховує тонку структуру завади у вигляді кінцевої послідовності кумулянтних коефіцієнтів.

Висновки. Лінійні (відносно вибірових значень) алгоритми вимірювання амплітуди гармонічного сигналу з флюктуючою частотою і когерентному прийомі є оптимальними для адитивної гауссівської завади. Квадратичний алгоритм вимірювання амплітуди гармонічного сигналу, отриманий за допомогою методу максимізації поліному, дозволяє враховувати негауссівський характер розподілу адитивної завади у вигляді кумулянтних коефіцієнтів 3-го та 4-го порядків, що в кінцевому підсумку приведе до підвищення точнісних характеристик цього алгоритму.

$$\begin{aligned} a_{20} &= 3 + \frac{1}{2}\gamma_4 - 6b^2 \cos^2 \alpha + 3b^4 \cos 2\alpha - \\ &- b^2 \cos^2 \alpha \gamma_4 + \frac{1}{2}b^4 \cos 2\alpha \gamma_4. \end{aligned}$$

Множники першого коефіцієнта

$$\begin{aligned} a_{41} &= b^{17} \cos \alpha \cos 4\alpha - \frac{1}{2}b \cos \alpha - b^9 \cos 3\alpha - \\ &- b^{13} \cos 3\alpha \cos 2\alpha + b^9 \cos \alpha \cos^2 2\alpha + \\ &+ b^5 \cos \alpha \cos 2\alpha; \\ a_{11} &= 4b^2 \cos^2 \alpha - 1 - b^4 \cos 2\alpha. \end{aligned}$$

Множники другого коефіцієнта

$$\begin{aligned} a_{32} &= 2b^8 \cos^2 2\alpha + 4b^4 \cos 2\alpha - 5b^2 \cos^2 \alpha + \\ &+ 2 - 2b^6 \cos^2 \alpha \cos 2\alpha - b^{10} \cos \alpha \cos 3\alpha; \\ a_{12} &= b^4 \cos 2\alpha + 1 - 2b^2 \cos^2 \alpha. \end{aligned}$$

Підставляючи вагові коефіцієнти (21) в початкове рівняння (19) і, розв'язуючи його відносно параметра A , можна знайти остаточний вираз для оцінки, оптимальної в класі поліноміальних перетворень другого ступеня.

Список літератури

1. Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
2. Что такое фазовый шум конвертора и какова его допустимая величина? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://roks.com.ua/ru/faq/television/page548/>
3. Бельчиков С. Фазовый шум: как спуститься ниже 120 дБн/Гц на отстройке 10 кГц в диапазоне частот до 14 ГГц, или Борьба за децибелы. *Компоненты и технологии*. 2009. № 5. С. 139–146.
4. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.
5. Кунченко Ю. П. Полиномиальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Часть 1. Стохастические полиномы, их свойства и применение для

- нахождения оценок параметров. Черкассы: ЧИТИ, 2001. 133 с.
6. Kunchenko Yu. Polynomial parameter estimations of close to Gaussian random variables. Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002. 396 p.
 7. Корольук В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 1985. 640 с.
 8. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ негауссовских случайных процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
 - frequency range up to 14 GHz, or the struggle for decibels. *Components & Technologies*, (5), pp. 139–146 [in Russian].
 4. Sosulin, Yu. G. (1992) Theoretic bases of radiolocation and radionavigation. Moscow: Radio i svyaz', 304 p. [in Russian].
 5. Kunchenko, Yu. P. (2001) Polynomial estimations of parameters of close to Gaussian random variables. Part 1. Stochastic polynomials, their properties and application for parameters estimations. Cherkassy: CHITI, 133 p. [in Russian].
 6. Kunchenko, Yu. (2002) Polynomial parameter estimations of close to Gaussian random variables. Germany, Aachen: Shaker Verlag, 396 p.
 7. Korolyuk, V. S., Portenko, N. I., Skorohod, A. V., Turbin, A. F. (1985) Handbook of probability theory and mathematical statistics. Moscow: Nauka, 640 p. [in Russian].
 8. Malahov, A. N. (1978) Cumulant analysis of the non-Gaussian random processes and their transformations. Moscow: Sov. radio, 376 p. [in Russian].

References

O. S. Havrysh, *Ph.D., associate professor*,

O. V. Burdukova, *Ph.D.*,

A. O. Ivashchenko, *Ph.D.*,

R. O. Bezpalii, *student*

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

POLYNOMIAL ALGORITHMS FOR MEASUREMENT OF THE AMPLITUDE OF A HARMONIC SIGNAL WITH FLUCTUATED FREQUENCY AND COHERENT DETECTION AT SKEWNESS-KURTOSIS INTERFERENCE

The important task while remote probing is to measure amplitude of a harmonic signal. Herewith frequency of the signal might randomly change (fluctuate) within the specification limits of rated frequency. Desired signal may be received in admixture with additive noise with non-Gaussian distribution.

The purpose of the work is to synthesize polynomial estimation algorithms of amplitude of a harmonic signal with fluctuated frequency, which are optimal in a skewness-kurtosis noise results. Computational algorithms for amplitude measurement are proceed through to polynomial maximization method. Non-Gaussian interference is described by the finite sequence of cumulants with a priori known quantity.

In this article mathematical model, which consider both Gaussian fluctuated frequency and non-Gaussian coherent detection additive interference properties are offered. Both linear and quadratic amplitude of a harmonic signal with fluctuated frequency measurement algorithms are synthesized. It is shown, that the difference between the algorithms goes in the fact, that the higher polynomial processing degree gives more complete consideration of non-Gaussian properties of the additive interference.

Obtained results allow us to construct more accurate measuring set for amplitude of a harmonic signal, which considers fluctuated frequency.

Key words: *amplitude, frequency fluctuation, harmonic signal, coherent detection, non-Gaussian interference, skewness-kurtosis interference, parameter estimation, polynomial maximization method, dispersion, coefficient of skewness-kurtosis.*

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

Н. М. Битько, к.т.н., доцент,

e-mail: bitkonm@mail.ru

О. В. Кузнецова, ассистент,

e-mail: kuznes-68@mail.ru

В. В. Бойко, старший преподаватель,

e-mail: boykin.valentina@gmail.com

Черкасский государственный технологический университет

б-р Шевченко, 460, г. Черкасы, 18006, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕКУЩЕГО МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ НАГРУЗКОЙ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Изложены результаты экспериментально-статистических исследований секущего модуля деформаций тяжелого бетона при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности. На основании статистической обработки результатов длительных испытаний тяжелого бетона, установлена линейная корреляционная зависимость между секущим модулем полных деформаций $E'_{\eta,t,\tau}$ и начальным уровнем напряжений η_τ при длительном центральном сжатии с постоянными во времени напряжениями σ_τ .

Исходя из линейных зависимостей $E'_{\eta,t,\tau}$ - η_τ получены теоретические значения секущих модулей деформаций $E'_{\eta,t,\tau}$ при относительных начальных уровнях напряжений $\eta_\tau = 0$ - $E'_{o,t,\tau}$ и $\eta_\tau = f_{cd}$ - $E'_{R,t,\tau}$ которым соответствуют начальное $\Phi_{o,t,\tau}$ и предельное $\Phi_{R,t,\tau}$ значение характеристик ползучести.

Получена аналитическая зависимость для теоретического определения секущего модуля полных деформаций тяжелого бетона $E'_{\eta,t,\tau}$ при действии сжимающей загрузки начального уровня напряжений $\eta_\tau < 0,9f_{cd}$ в любой момент ее действия $(t - \tau)$.

Численные значения параметров входящих в аналитическую зависимость получены на основе корреляционного анализа зависимостей $E'_{\eta,t,\tau}$ - η_τ и аппроксимации опытных корреляционных кривых $\Phi_{o,t,\tau}$ и $\Phi_{R,t,\tau}$ во времени.

Ключевые слова: тяжелый бетон, секущий модуль, напряжения, уровень напряжений, характеристика ползучести.

Введение. В практике строительства в настоящее время основным строительным материалом служат железобетонные конструкции. Исходя из этого, большое значение уделяется вопросу расчета и проектирование таковых конструкций. Одним из важных является вопрос оценки напряженно-деформированного состояния конструкций при длительном сжатии нагрузкой различной интенсивности.

Актуальность. Бетон обладает важным свойством – это ползучесть. Ползучесть бетона оказывает существенное влияние на работу железобетонных конструкций под нагрузкой

при расчете трещиностойкости и деформативности конструкций, определении внутренних усилий в статически неопределимых конструкциях [1].

Это явление может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на надежную работу железобетонных конструкций. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих методик определения напряженно-деформированного состояния бетонов, в том числе секущего модуля деформаций, является одной из главных задач по дальнейшему совершенствованию методов расчета железобетонных конструкций.

Анализ результатов исследований. Напряженно-деформированное состояние тяжелого бетона является функцией многих переменных, поэтому описание общих зависимостей между напряжениями и деформациями, при действии длительной нагрузки, можно получить на базе построения уравнений. Эти уравнения описывают процессы, происходящие в бетоне с учетом изменения во времени многих факторов. В свое время имелись попытки построения таких зависимостей [2]. Однако, мы еще далеки от построения зависимости «напряжение-деформации», которая учитывала бы весь комплекс физических явлений и условий, определяющих эти зависимости.

Поэтому в данное время разработаны феноменологические зависимости между напряжениями и деформациями, полученными из опыта при определенных режимах длительных испытаний.

Цель. Разработка на основе результатов экспериментально-статистических исследований упрощенных феноменологических зависимостей для определения напряженно-деформативного состояния тяжелого бетона.

Изложения основного материала. Для решения этой задачи была забетонирована серия образцов близнецов в виде призм размером 100x100x750 мм. На каждый начальный уровень обжатия ($\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau} = 0; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$) загружались по три образца. Кроме этого, имелось три образца не подвергавшихся загрузке, предназначенные для определения деформаций свободной усадки $\varepsilon_{o,t,\tau}^{cr}$, значения которых вычитались из деформаций развивающихся под нагрузкой.

Деформации опытных образцов в процессе их длительных испытаний фиксировались через 0, 2ч, 12ч, 1с, 4с, 7с, 15с, 30с, 60с, 120с, 180с, 240с, 300с, 480с, 660 суток.

Исходя из определения ползучести бетонов, его полная относительная деформация при любом начальном уровне действия сжимающей нагрузки η_τ в любой момент времени $(t - \tau)$ $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ равна сумме начальной деформации $\varepsilon_{\eta\tau}^{el}$, возникшей в момент приложе-

ния нагрузки, и деформации ползучести $\varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}$, развивающейся во времени, т.е.

$$\varepsilon_{\eta,t,\tau} = \varepsilon_{\eta\tau}^{el} + \varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\eta,t,\tau}$ – полная деформация бетона в момент времени $(t - \tau)$, загруженного в возрасте τ до относительного уровня $\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau}$;

$\varepsilon_{\eta\tau}^{el}$ – начальная (упругая) деформация бетона в момент загрузки τ до относительного уровня η_τ ;

$\varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}$ – деформации ползучести бетона к моменту времени $(t - \tau)$, загруженного в возрасте τ до относительного уровня η_τ .

В большинстве случаев за упругие деформации бетонов $\varepsilon_{\eta\tau}^{el}$, пренебрегая его пластическими деформациями в момент загрузки, принимают начальные деформации бетона, в момент окончания приложения сжимающей нагрузки, т.е. $\varepsilon_{\eta\tau}^{el} \approx \varepsilon_{\eta\tau}$.

Для количественной оценки деформаций ползучести бетона, при действии постоянной сжимающей нагрузки различной интенсивности, служит характеристика $\varphi_{\eta,t,\tau}$ или мера ползучести $c_{\eta,t,\tau}$, которые равны:

$$\varphi_{\eta,t,\tau} = \frac{\varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}}{\varepsilon_{\eta,\tau}^{el}}; \quad c_{\eta,t,\tau} = \frac{\varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}}{\sigma_\tau}, \quad (2)$$

где σ_τ – напряжение.

Задача установления зависимости между напряжениями и деформациями в тяжелом бетоне при длительном действии нагрузки решалась авторами путем исследования изменения во времени секущего модуля упругопластичности с учетом деформаций ползучести, значение которого определялось по формуле:

$$E'_{\eta,t,\tau} = \frac{\sigma_\tau}{\varepsilon_{\eta,\tau} + \varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}}, \quad (3)$$

где $E'_{\eta,t,\tau}$ – секущий модуль упругопластичности бетона в момент времени $(t - \tau)$, загруженного в возрасте τ на начальный относительный уровень сжимающей нагрузки η_τ .

Ранее [3] было доказано, что зависимость между секущим модулем деформаций $E'_{\eta,\tau}$ и напряжениями σ_τ , или уровнем напряжений η_τ в тяжелом бетоне при кратковременном сжатии является линейной корреляционной.

Как показала статистическая обработка результатов испытаний тяжелого бетона, а также опытов К.С. Карапетяна [4] и Р.А. Мельника [5] для тяжелого бетона, зависимости «секущий модуль деформаций – начальный уровень напряжений», можно также аппроксимировать линейными уравнениями регрессии как при кратковременном нагружении с постоянной скоростью приложения сжимающей нагрузки, так и при последующем длительном центральном сжатии с постоянными во времени напряжениями σ_τ или начальными уровнями напряжений η_τ .

Корреляционные зависимости $(E'_{\eta,\tau} - \sigma_\tau)$ при кратковременном нагружении имеют вид:

$$E'_{\eta,\tau} = \frac{\sigma_\tau}{\varepsilon_{\eta\tau}} = E_{o,\tau} \left[1 - \left(1 - \frac{E'_{R,\tau}}{E_{o,\tau}} \right) \eta_\tau \right], \quad (4)$$

где $E'_{\eta,\tau}$ – секущий модуль деформаций в момент загрузки τ при относительном уровне напряжений η_τ ;

$E_{o,\tau}$ и $E'_{R,\tau}$ – предельные опытно-корреляционные (теоретические) значения секущего модуля деформаций в момент загрузки τ при относительном уровне напряжений $\eta_\tau = 0$ и $\eta_\tau = 1$.

Корреляционные зависимости $(E'_{\eta,t,\tau} - \sigma_\tau)$ при длительном нагружении:

$$\begin{aligned} E'_{\eta,t,\tau} &= \frac{\sigma_\tau}{\varepsilon_{\eta,t,\tau}} = \\ &= E_{o,t,\tau} \left[1 - \left(1 - \frac{E'_{R,t,\tau}}{E_{o,t,\tau}} \right) \eta_\tau \right], \end{aligned} \quad (5)$$

Для теоретического определения значения секущего модуля деформаций $E'_{\eta,t,\tau}$ в любой момент времени t и продолжительности действия сжимающей нагрузки $(t - \tau)$ на любом начальном уровне η_τ , приложенных

постоянных напряжений, было использовано соотношение опытно-корреляционных граничных значений секущих модулей деформаций $E'_{\eta,\tau}/E'_{\eta,t,\tau}$ при $\eta_\tau = 0$ и $\eta_\tau = 1$, полученных из линейных корреляционных уравнений в различные моменты времени $(t - \tau)$.

$$\begin{aligned} \frac{E'_{\eta,\tau}}{E'_{\eta,t,\tau}} &= \frac{\sigma_\tau \varepsilon_{\eta,t,\tau}}{\varepsilon_{\eta,\tau} \sigma_\tau} = \frac{\varepsilon_{\eta,t,\tau}}{\varepsilon_{\eta,\tau}} = \\ &= \frac{\varepsilon_{\eta,\tau} + \varepsilon_{\eta,t,\tau}^{cr}}{\varepsilon_{\eta,\tau}} = 1 + \varphi_{\eta,t,\tau} \end{aligned} \quad (6)$$

По аналогии с (6) при $\eta_\tau = 0$

$$\frac{E_{o,\tau}}{E_{o,t,\tau}} = 1 + \varphi_{o,t,\tau}, \quad (7)$$

при $\eta_\tau = 1$

$$\frac{E'_{R,\tau}}{E'_{R,t,\tau}} = 1 + \varphi_{R,t,\tau}, \quad (8)$$

где $\varphi_{o,t,\tau}$ и $\varphi_{R,t,\tau}$ – соответственно начальное и предельное значение характеристик ползучести бетонов $\varphi_{\eta,t,\tau}$, полученные из корреляционных уравнений (4) и (5) с использованием уравнений (7) и (8) в любой момент времени $(t - \tau)$, т.е.

$$\varphi_{o,t,\tau} = \frac{E_{o,\tau}}{E_{o,t,\tau}} - 1 \quad (9)$$

$$\varphi_{R,t,\tau} = \frac{E'_{R,\tau}}{E'_{R,t,\tau}} - 1 \quad (10)$$

Аппроксимация значений $\varphi_{o,t,\tau}$ и $\varphi_{R,t,\tau}$ проведены авторами по гиперболической зависимости:

$$\varphi_{o,t,\tau} = \varphi_{o,\infty,\tau} \left[1 - \frac{1}{1 + \alpha_1(t - \tau)} \right]^{n_1} \quad (11)$$

$$\varphi_{R,t,\tau} = \varphi_{R,\infty,\tau} \left[1 - \frac{1}{1 + \alpha_2(t - \tau)} \right]^{n_2} \quad (12)$$

В формулах (11) и (12):

$\varphi_{o,\infty,\tau}$ – начальное значение характеристики ползучести бетонов в момент времени $(t - \tau) = \infty$;

$\varphi_{R,\infty,\tau}$ – предельное значение характеристики ползучести бетонов в момент времени $(t - \tau) = \infty$;

$(t - \tau)$ – время действия длительной сжимающей нагрузки в сутках.

За момент времени $(t - \tau) = \infty$ принята продолжительность испытаний 720 суток.

Численные значения параметров α_1 ; α_2 ; n_1 ; n_2 получены на основе корреляционного анализа зависимости $E'_{\eta,t,\tau} - \eta_\tau$ (секущий модуль полных деформаций – начальный уровень длительного обжатия) и аппроксимации опытно-корреляционных кривых $\varphi_{o,t,\tau}$ и $\varphi_{R,t,\tau}$ во времени с использованием алгоритма оптимизации, основанного на критерии наименьших квадратов в соединении с программой конечного элемента для деформаций и напряжений, при помощи ЭВМ.

Как показала обработка исследований из тяжелого бетона параметры, α_1 и n_1 являются постоянными независимо от вида бетона и времени загрузки и равны по скаляр $\alpha_1 = 0,0044$ и $n_1 = 0,4$. Для упрощения расчета значение коэффициентов принято соответственно $\alpha_1 = 0,0044$ и $n_1 = 0,5$, т.е.

$$\begin{aligned} \varphi_{o,t,\tau} &= \varphi_{o,\infty,\tau} \left[1 - \frac{1}{1 + 0,0044(t - \tau)} \right]^{0,5} = \\ &= \varphi_{o,\infty,\tau} \sqrt{1 - \frac{1}{1 + 0,0044(t - \tau)}} \end{aligned} \quad (13)$$

Величины параметров α_2 и n_2 зависят от вида бетона и для тяжелого бетона их значения составили по скаляр соответственно $\alpha_2 = 0,01$ и $n_2 = 0,10$, т.е.

$$\varphi_{R,t,\tau} = \varphi_{R,\infty,\tau} \left[1 - \frac{1}{1 + 0,01(t - \tau)} \right]^{0,1} \quad (14)$$

Для использования вышеуказанных зависимостей для других видов бетонов, необходимо произвести дополнительные исследования с целью установления для них вышеуказанных α_1 ; α_2 ; n_1 ; n_2 .

Исходя из вышеизложенных исследований, теоретическое значение секущего модуля полных деформаций $E'_{\eta,t,\tau}$ при произвольном относительном уровне действия постоянной сжимающей нагрузки $\eta_\tau < 0,9$ в любой мо-

мент ее действия $(t - \tau)$ можно получить исходя из формулы (5) с учетом формул (7) и (8) в виде:

$$\begin{aligned} E'_{\eta,t,\tau} &= E_{o,t,\tau} \left[1 - \left(1 - \frac{E'_{R,t,\tau}}{E_{o,t,\tau}} \right) \eta_\tau \right] = \\ &= \frac{E_{o,\tau}}{1 + \varphi_{o,t,\tau}} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{E'_{R,\tau}(1 + \varphi_{o,t,\tau})}{E_{o,\tau}(1 + \varphi_{R,t,\tau})} \right] \eta_\tau \right\} = \\ &= E_{o,\tau} \left[\frac{1 - \eta_\tau}{1 + \varphi_{o,t,\tau}} + \frac{E'_{R,\tau} \eta_\tau}{E_{o,\tau}(1 + \varphi_{R,t,\tau})} \right] = \\ &= E_{o,\tau} \left[\frac{1 - \eta_\tau}{1 + \varphi_{o,t,\tau}} + \frac{\nu_{R,\tau} \eta_\tau}{1 + \varphi_{R,t,\tau}} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

где $E_{o,\tau}$ и $E'_{R,\tau}$ – начальное (модуль упругости) и предельное при $\sigma_\tau = f_{cd}$ значение секущего модуля деформаций тяжелого бетона в момент приложения длительно действующей нагрузки σ_τ ;

$$\nu_{R,\tau} = \frac{E'_{R,\tau}}{E_{o,\tau}} = \frac{\varepsilon_{R,\tau}^{el}}{\varepsilon_{R,\tau}} \quad \text{– предельное (при}$$

$\sigma_\tau = f_{cd}$) значение коэффициента упругости тяжелого бетона в момент времени τ .

В частности для тяжелого бетона, значение секущего модуля полных деформаций будет иметь вид:

$$E'_{\eta,t,\tau} = E_{o,\tau} \left[\frac{\frac{1 - \eta_\tau}{1 + \varphi_{o,t,\tau} \sqrt{1 - \frac{1}{1 + 0,0044(t - \tau)}}} + \frac{\nu_{R,\tau} \eta_\tau}{1 + \varphi_{R,t,\tau} \left[1 - \frac{1}{1 + 0,01(t - \tau)} \right]^{0,1}}}{1} \right] \quad (16)$$

В табл. 1 представлены опытные и корреляционные значения секущих модулей деформаций с учетом ползучести для исследуемого тяжелого бетона. Как видно из таблицы, отклонения опытных и корреляционных значений $E'_{\eta,t,\tau}$ не превышает $\pm 5,0\%$.

Таблица 1

Секущие модули силовых деформаций $E'_{\eta,t,\tau}$ 10^4 МПа с учетом ползучести
в тяжелом бетоне в зависимости от продолжительности действия сжимающей

нагрузки $(t - \tau)$ и начального уровня обжатия $\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau}$

Суток ($t - \tau$)	Способ опреде- ления	$\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau}$									
		0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	опыт	-	3,261	3,155	2,853	2,720	2,512	2,184	1,950	1,841	-
	теор.	3,750	3,317	3,101	2,884	2,668	2,451	2,235	2,018	1,802	1,586
	$\Delta \%$	-	+1,7	-1,7	+1,1	-1,9	-2,4	+2,3	+3,2	-2,1	-
2 ч	опыт	-	3,069	2,810	2,600	2,343	2,070	1,725	1,460	1,274	-
	теор.	3,623	3,094	2,830	2,566	2,301	2,031	1,772	1,508	1,243	0,979
	$\Delta \%$	-	+0,8	+0,7	-1,3	-1,8	-1,6	+2,7	+3,3	-2,4	-
12 ч	опыт	-	2,960	2,671	2,422	2,212	1,969	1,638	1,401	1,175	-
	теор.	3,459	2,949	2,694	2,438	2,183	1,928	1,672	1,417	1,162	0,906
	$\Delta \%$	-	-0,4	+0,9	+0,7	-1,3	+1,8	-2,1	-1,1	+1,1	-
1 с	опыт	-	2,898	2,601	2,380	2,090	1,882	1,573	1,366	1,097	-
	теор.	3,388	2,878	2,623	2,368	2,114	1,858	1,604	1,349	1,093	0,839
	$\Delta \%$	-	-0,7	+0,9	+0,9	+1,2	-1,3	+2,0	-1,2	-0,3	-
4 с	опыт	-	2,644	2,402	2,142	1,927	1,744	1,482	1,296	1,048	-
	теор.	3,071	2,622	2,390	2,173	1,948	1,723	1,499	1,274	1,050	0,825
	$\Delta \%$	-	-0,8	-0,5	+1,4	+1,1	-1,2	+1,2	-1,7	+0,2	-
7 с	опыт	-	2,502	2,242	2,084	1,875	1,621	1,401	1,255	1,020	-
	теор.	2,903	2,484	2,274	2,064	1,855	1,645	1,436	1,226	1,016	0,806
	$\Delta \%$	-	-0,7	+1,4	-1,0	-1,1	+1,5	+2,5	-2,3	-0,4	-
15 с	опыт	-	2,256	2,074	1,935	1,756	1,516	1,347	1,202	0,993	-
	теор.	2,630	2,268	2,087	1,906	1,725	1,544	1,363	1,182	1,001	0,820
	$\Delta \%$	-	+0,4	+0,6	-1,5	-1,8	+1,9	+1,2	-1,7	+0,9	-
30 с	опыт	-	2,068	1,894	1,787	1,628	1,451	1,303	1,132	0,962	-
	теор.	2,391	2,077	1,920	1,763	1,606	1,450	1,293	1,136	0,979	0,822
	$\Delta \%$	-	+0,5	+1,4	-1,4	-1,5	-0,1	-0,8	+0,4	+1,8	-
60 с	опыт	-	1,887	1,750	1,653	1,512	1,352	1,232	1,085	0,944	-
	теор.	2,170	1,899	1,765	1,630	1,494	1,359	1,224	1,089	0,954	0,819
	$\Delta \%$	-	+0,6	+0,9	-1,4	-1,2	+0,6	-0,7	+0,4	+1,0	-
120 с	опыт	-	1,745	1,643	1,494	1,248	1,296	1,163	1,028	0,927	-
	теор.	1,918	1,690	1,577	1,463	1,349	1,236	1,122	1,009	0,895	0,782
	$\Delta \%$	-	-3,2	-4,0	-2,1	+10,0	-4,7	-3,5	-1,9	-3,5	-
180 с	опыт	-	1,660	1,536	1,417	1,350	1,242	1,134	1,002	0,897	-
	теор.	1,867	1,653	1,547	1,440	1,333	1,226	1,120	1,013	0,906	0,799
	$\Delta \%$	-	-0,4	+0,7	+1,6	-1,2	-1,3	-1,2	+1,1	+1,0	-
240 с	опыт	-	1,551	1,462	1,350	1,283	1,168	1,085	0,966	0,880	-
	теор.	1,748	1,555	1,459	1,362	1,266	1,170	1,073	0,977	0,881	0,785
	$\Delta \%$	-	+0,3	-0,2	+0,9	-1,3	+0,2	-1,1	+1,1	+0	-
300 с	опыт	-	1,486	1,430	1,338	1,244	1,156	1,043	0,953	0,871	-
	теор.	1,692	1,509	1,418	1,327	1,236	1,144	1,053	0,962	0,871	0,780
	$\Delta \%$	-	+1,6	-0,8	-0,8	-0,7	-1,0	+1,0	+1,0	0	-
480 с	опыт	-	1,435	1,353	1,236	1,145	1,082	1,007	0,946	0,830	-
	теор.	1,589	1,422	1,338	1,255	1,171	1,087	1,008	0,920	0,837	0,753
	$\Delta \%$	-	-0,9	-1,1	+0,9	+2,3	+0,5	+0,1	-2,8	+0,9	-
660 с	опыт	-	1,344	1,242	1,178	1,058	1,003	0,932	0,900	0,796	-
	теор.	1,471	1,320	1,245	1,170	1,094	1,020	0,943	0,868	0,792	0,717
	$\Delta \%$	-	-1,6	+0,1	-0,7	+3,4	+1,7	+1,2	-3,6	-0,6	-
∞		1,412	1,275	1,207	1,142	1,075	1,008	0,938	0,871	0,803	0,735

Выводы. Зависимость между секущим модулем упругопластичности и напряжениями при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности является линейной корреляционной.

Исходя из длительных испытаний образцов при двух начальных уровнях действия сжимающей нагрузки, можно прогнозировать деформативные характеристики тяжелого бетона на любом произвольном уровнях действия сжимающей нагрузки. Это позволяет существенно уменьшить количество опытных образцов и трудоемкость эксперимента, а также решить целый ряд задач в области нелинейной ползучести бетонов.

В дальнейшем целесообразно выполнить аналогичные исследования для других видов бетонов.

Накопленные результаты экспериментов могут быть использованы при совершенствовании норм по расчету и проектированию железобетонных конструкций.

Список литературы

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. Гвоздев А. А. Замечание о нелинейной теории ползучести бетона при одноосном сжатии. *Известия АН СССР, серия «Механика твердого тела»*. М.: Наука, 1972. № 5.
3. Макаренко Л. П., Фенко Г. А. Графо-аналитический способ определения модуля упругости бетона при наличии трещин. *Известия высших учебных заведений, раздел «Строительство и архитектура»*. 1972. № 8.
4. Карапетян К. С. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. *Изд-во А.Н. Армеевской ССР*. 1953. Том III, № 2 (Серия: физико-математические науки).
5. Мельник Р. А. Экспериментальное исследование нелинейной ползучести бетона. Сборник научных трудов КИСИ. 1961. Вып. 16.
6. Харлаб В. Д. Теория нелинейной ползучести и длительной прочности нестареющего бетона при сжатии. *Вестник гражданских инженеров*. 2007. № 3. С. 19–21.
7. Alexander K. M., Wardlaw K. I., Ivanus I. A. Range in concrete creep when cement SO₃ content, curing temperature and fly ash

content are varied. *Cem. And Coucr. Res.* 1986. № 2. P. 173–180.

8. Galustov K. Z. Underwater nuclear power plans: improved safety environmental compatibility and efficiency. American Nuclear Society author recognition this certificate presenter at the ans Meeting. San Francisco, 1991.
9. Castellani A., Coronelli D. Beams with corroded reinforcement: Evaluation of the effects of cross-section losses and bond deterioration by finite element analysis. *Structural Faults and Repair – 99*, London, UK, 1999, July, P. 104–109.
10. Rossi P. Une nouvelle approche concernant le fluage et la relaxation propres du beton. *Bull Liais. Lab. puts et chaussées*. 1988. № 153. P. 73–76.
11. Horrigmoe G. Assessment of the performance and safety of deteriorated concrete structures. *Concrete Solutions: Conference Proceedings and Papers 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, France, 15-17 July 2003. Published by GR Technologie Ltd, London, UK, 2003. P. 209–223.

References

1. DBN V.2.6-98:2009 (2009) Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozheniya. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny.
2. Hvozdev, A. A. (1972) Zamechaniye o nelineynoy teorii polzuchesti betona pri odnoosnom szhatii. *Izvestiya AN SSSR, seriya «Mekhanika tverdogo tela»*. Moscow: Nauka, No. 5.
3. Makarenko, L. P., Fenko, H. A. (1972) Grafo-analiticheskiy sposob opredeleniya modulya uprugosti betona pri nalichiyi treshchin. *Izvestiya vysshyyh uchebnyh zavedeniy, razdel «Stroyitel'stvo i arhitektura»*. No. 8.
4. Karapetyan, K. S. (1953) Polzuchest' betona pri vysokih napryazheniyah. *Izd-vo A. N. Armeyskoy SSR, seriya fiziko-matematicheskiye nauki*, Tom III, No. 2.
5. Mel'nik, R. A. (1961) Eksperimental'noe issledovaniye nelineynoy polzuchesti betona. *Sbornik nauchnyh trudov KISI*, Vyp. 16.
6. Kharlab, V. D. (2007) Teoriya nelineynoy polzuchesti i dlitel'noy prochnosti nestareyushchego betona pri szhatii. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, No. 3, pp. 19–21.

7. Alexander, K. M., Wardlaw, K. I., Ivanus-es, I. A. (1986) Range in concrete creep when cement SO₃ content, curing temperature and fly ash content are varied. *Cem. And Coucr. Res.*, No. 2, pp. 173–180.
8. Galustov, K. Z. (1991) Underwater nuclear power plans: improved safety environmental compatibility and efficiency. American Nuclear Society author recognition this certificate presenter at the ans Meeting. San Francisco,.
9. Castellani, A., Coronelli, D. (1999) Beams with corroded reinforcement: Evaluation of the effects of cross-section losses and bond deterioration by finite element analysis. *Structural Faults and Repair* – 99. London, UK, July, pp. 104–109.
10. Rossi, P. (1988) Une nouvelle approche concernant le fluage et la relaxation propres du beton. *Bull Liais. Lab. puts et chaussées*, No. 153, pp. 73–76.
11. Horrigmoe, G. (2003) Assessment of the performance and safety of deteriorated concrete structures. *Concrete Solutions: Conference Proceedings and Papers 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, France, 15-17 July, 2003. Published by GR Technologie Ltd, London, UK, pp. 209–223.

N. M. Bitko, *Ph.D., associate professor*,
bitkonm@mail.ru

O. V. Kuznetsova, *assistant*,
kuznes-68@mail.ru

V. V. Boiko, *senior lecturer*
boykin.valentina@gmail.com

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

EXPERIMENTAL AND STATISTICAL RESEARCH OF SECANT MODULUS OF HEAVY CONCRETE DEFORMATIONS AT LONG CENTRAL COMPRESSION BY VARYING INTENSITY LOADS

There are given the results of experimental and statistical studies of secant stress-strain modulus of heavy concrete with a long central compression load of varying intensity.

The statistical analysis of the results for the long-term testing of heavy concrete allowed to establish a reliable linear correlation between secant stress-strain modulus $E_{\eta,t,\tau}$ and the initial level of stress η_τ in the long central compression under constant pressure σ_τ .

The linear relationship $E'_{\eta,t,\tau} - \eta_\tau$ allowed to receive the theoretical value of secant modulus of complete deformations $E_{\eta,t,\tau}$ under relative initial stress $\sigma_\tau = 0 - E_{o,t,\tau}$ and $\sigma_\tau = f_{cd} - E'_{Rt,\tau}$ with corresponding $\varphi_{o,t,\tau}$ initial value and $\varphi_{R,t,\tau}$ boundary value of creep characteristics for heavy concrete.

We received analytical dependence for the theoretical value of the secant modulus of complete deformation for heavy concrete $E'_{\eta,t,\tau}$ under constant squeezing load the initial level of stress $\eta_\tau < 0,9f_{cd}$ at any time of its action $(t - \tau)$.

Scalar parameters values being the part of analytic dependence have been received from the correlation analysis of dependence $E'_{\eta,t,\tau} - \eta_\tau$ and approximation of experimental correlation curves $\varphi_{o,t,\tau}$ and $\varphi_{R,t,\tau}$ over time.

Concrete and reinforced concrete structures are main modern building materials. That is the reason for precise attention to calculations and design of such structures. One of the most important issues is the study of stressed-strain state of constructions during long-lasting pressure of different intensity.

The authors demonstrate results of experimental and statistic studies of performance of heavy concrete under long-lasting compressive load. Based on the above, the linear correlative dependence between the secant modulus of full deformations $E'_{\eta,t,\tau}$ and initial relative stress level

$\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau}$ was defined.

Based on linear dependence $E'_{\eta,t,\tau} - \eta_\tau$ theoretical figures of secant modulus of deformations $E'_{\eta,t,\tau}$ for relative initial stress level were obtained, $\eta_\tau = 0 - E'_{o,t,\tau}$ and $\eta_\tau = f_{cd} - E'_{R,t,\tau}$ corresponding to initial $\Phi_{o,t,\tau}$ and limiting $\Phi_{R,t,\tau}$ creep characteristics.

Based on correlation analysis of dependences $E'_{\eta,t,\tau} - \eta_\tau$ and approximation of experimental-correlative curves $\Phi_{o,t,\tau}$ and $\Phi_{R,t,\tau}$ in time the hyperbolic dependence was obtained to define secant modulus of total deformation of heavy concrete $E'_{\eta,t,\tau}$ under compressive load of level $\eta_\tau < 0,9_{fcd}$ at any time $(t - \tau)$. The obtained results $E'_{\eta,t,\tau}$ as for the suggested dependence were compared with experimental figures. Deviation did not exceed 10%.

Key words: heavy concrete, secant modulus, pressure, stress level, creep characteristics.

Рецензенты: Донченко П. А., к.т.н., профессор,
Голоднов А. И., д.т.н., профессор.

Л. І. Жицька, к.б.н., доцент,

e-mail: zludmila2@yandex.ru

Т. П. Гончаренко, к.х.н., доцент,

e-mail: schandor@mail.ru

О. В. Пономаренко, магістр

e-mail: a_ponomarenko@ua.fm

Черкаський державний технологічний університет

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

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕСУВНИХ ДЖЕРЕЛ АВТОТРАНСПОРТУ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

В статті проведено аналіз антропогенного навантаження на урбанізовані території міста Черкаси, визначено ступені існуючих екологічних ризиків впливу автотранспорту на ділянки дослідження з використанням фітоіндикаційних, біохімічних, розрахункових і інструментальних методів та запропоновано заходи щодо покращення екологічної ситуації в місті.

Ключові слова: урбанізовані території, автотранспорт, атмосфера, фітоіндикація, хімічне забруднення, акустичне забруднення, екологічні ризики впливу, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Транспорт – один із найголовніших елементів матеріально-технічної бази суспільного виробництва і необхідна умова функціонування сучасного індустріального міста. З його допомогою відбувається перевезення вантажу і пасажирів та транспортні сполучення між містами. Разом з цим він є потужним фактором забруднення довкілля.

Найбільша кількість забруднюючих речовин викидається при розгоні автомобіля, особливо при швидкому, а також при русі з малою швидкістю. Відносна частка (від загальної маси викидів) вуглеводнів й оксиду вуглецю найбільш висока при гальмуванні й роботі на холостому ходу, частка оксидів азоту та сірки – при розгоні [1]. Отже, автомобілі найбільше забруднюють повітряне середовище при частих зупинках і під час руху на малій швидкості. До основних антропогенних забруднювачів довкілля належать також і шум – одна із форм фізичного (хвильового) забруднення атмосферного повітря, пов'язаного з пересуванням автотранспорту. На його частку припадає 80 % всіх зон так званого «акустичного дискомфорту» [2]. Нині добре відомо, що акустичне забруднення шкідливо впливає на здоров'я людей, знижуючи їхню працездатність, викликаючи захворювання органів слуху, ендокринної, нервової, серцево-судинної систем та інше.

В останні десятиріччя зростання кількості автомобілів в місті Черкаси диктується

сучасними економічними умовами і така тенденція буде спостерігатися й далі. З кожним роком збільшується також кількість і маршрутних таксі. Тому проблеми забезпечення чистоти атмосферного повітря та безпеки умов проживання в місті, зменшення акустичного навантаження на селітебні зони, збереження урбофітоценозів стають особливо актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Показники статистичних даних і оцінок негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище і населення свідчать, що загальна сума викидів забруднюючих речовин у атмосферу в Україні та країнах ближнього зарубіжжя щорічно становить майже 21,2 млн. т., зокрема, 19,2 млн. т, (90 %) – від автомобільного транспорту, і 2,0 млн. т, від інших викидів [2]. Аналіз літературних джерел щодо дослідження впливу автомобільного транспорту на урбосередовище є досить актуальною проблемою і розглядається в багатьох наукових працях [2, 3, 4]. Зокрема, більшість дослідників пов'язують захворюваність органів дихання і різноманітні симптоми та хвороби із накопичення викидів карбюраторних газів автомобільного транспорту в приземному шарі атмосфери, в зоні дихання людини [5,6]. Вказується також і на те, що автомобільний транспорт є головним джерелом забруднення атмосферного повітря токсичними поллютантами, а накопичення в повітрі оксидів вуглецю, сірки, азоту, формаль-

дегіду, пилю (а з ним – сполук важких металів, поверхнево-активних речовин та інших забруднювачів) призводить до порушення функціонування об'єктів довкілля [7, 8]. Масштаби токсичних викидів спричинені функціонуванням міського автотранспорту [9] та рівні шумового навантаження свідчать про недосконалість існуючої системи екологічного контролю забруднень. Вважаємо, що застосування комбінованих методів оцінки ризиків впливу автотранспорту на урбанізоване середовище надає більші можливості щодо дослідження сучасного стану урбоєкосистем та визначення можливих наслідків, пов'язаних з впливом джерел забруднення на об'єкти довкілля, що надзвичайно важливо для прийняття виважених рішень, а розробка наукових методів оцінок впливу і урахування шумозахисних заходів сприятиме створенню умов екологічної безпеки в урбанізованому середовищі та визначити можливі напрямки екологічної безпеки досліджуваних територій.

Мета роботи: Оцінити можливі ризики при експлуатації пересувних джерел автотранспорту та розробити заходи щодо підвищення екологічної безпеки територій в умовах урбанізації.

Завданням роботи було: дослідити сучасний стан атмосферного середовища міста Черкаси, вплив стаціонарних та пересувних джерел викидів на формування мікрокліматичних умов, встановити можливі ризики впливу хімічних складових викиду та шумового забруднення на довкілля, використовуючи фітоіндикаційні, біохімічні, розрахункові та інструментальні методи оцінок. Об'єкт дослідження: урбанізовані території міста Черкаси та системні забруднення пересувних джерел транспорту міста. Таким чином нами застосовано комплексний метод досліджень, що включає наукове узагальнення отриманих практичних результатів й аналіз літературних джерел.

Наукова новизна викладених досліджень полягає у тому, що поглиблено теоретико-практичні засади концепції оцінки екологічних ризиків впливу автотранспорту на урбанізовані території в контексті дієвості системи екологічного моніторингу; проаналізовано існуючу ситуацію в місті Черкаси щодо джерел викидів; обґрунтовано причини накопичення забруднень; визначено роль перспективних фітоіндикаційних та біохімічних методів дослідження викидів; накреслено шляхи оптимізації урбанізованих територій,

за умов підвищення процесу екологізації транспортних магістралей міста Черкаси.

Виклад основного матеріалу. Концентрація токсичних речовин у атмосфері деяких мікрорайонів міста Черкаси за даними постів спостереження під час проведення досліджень приведена на рис. 1.

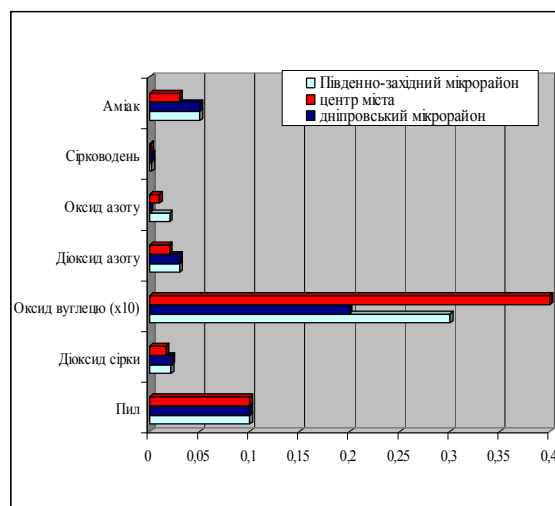


Рис. 1. Динаміка середньодобових концентрацій забруднювачів у атмосфері міста, мг/м³.

Як свідчать дані рисунка, вміст забруднювачів, за основними поліютантами протягом доби залишається в межах ГДК. Перевищення складають оксиди азоту і аміак. Разом з цим, фіксуються перевищення максимально дозволених показників за оксидом сірки і оксидом карбону, особливо в місцях скупчення автотранспорту та вздовж автомагістральних шляхів, зокрема по оксиду вуглецю в 4,2 рази.

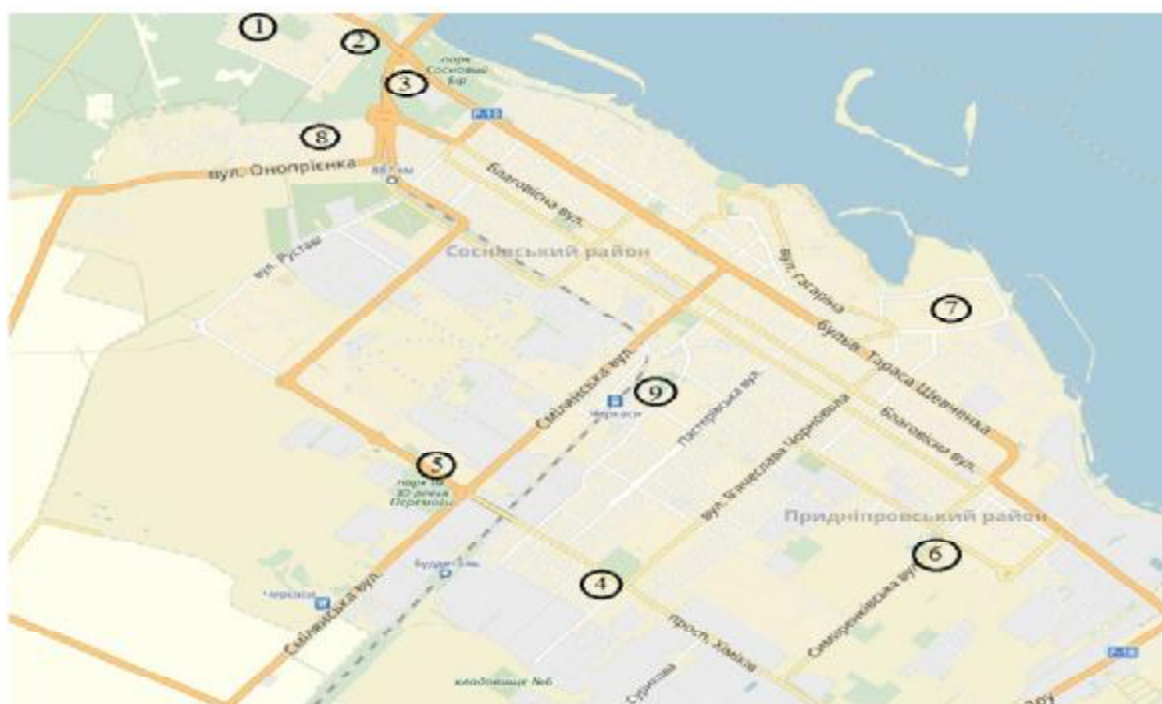
Результати аналітичних досліджень виявили збільшення токсичних речовин у атмосферному повітрі, що вплинуло на зростання індексу забруднення атмосфери із 5,43 у 2014 році до 5,73 у 2015. Вважаємо, що подальше неконтрольоване збільшення об'ємів викидів в атмосферу та зростання одиниць автотранспорту, що має застарілі системи руху і карбюраторні двигуни із тривалим строком експлуатації, призведе до зростання рівня забруднення атмосфери міста до сильного, що створить умови посиленого накопичення поліютантів в об'єктах урбосередовища і вкрай негативно позначиться на існуванні урбанofлори, як природного фільтру урбоєкосистеми.

Для м. Черкаси характерна наявність значного автомобільного парку (на 1000 населення припадає більше 200 автомобілів, не враховуючи транзитного транспорту), які

створюють умови підвищеного забруднення токсичними газами оксидів карбону та значне акустичне (шумове) навантаження на прилеглі житлові райони до яких тяжіють зупинки із значним транспортним навантаженням, що в часи пік створює затори на дорогах та призводить до накопичення забруднень в приземному шарі атмосфери. Більшість автотранспорту працює в режимі холостого ходу, що збільшує умови шумового навантаження на селітебні ділянки. При цьому найбільші проблеми створюються низькочастотним шумом.

Проблема поглиблюється ще й тим, що ряд підприємств та автомобільних магістралей також тісно пов'язані з селітебною зоною, в результаті чого значна кількість населення міста потрапляє під дію значного шумового забруднення. Шум транспортних потоків міста не є сталою величиною, він змінюється з часом і тому дослідження варто проводити в різні години доби.

На території міста Черкаси було обрано 9 дослідних ділянок (рис. 2).



1 – Соснівка; 2 – Обласна лікарня; 3 – Міська лікарня; 4 – Парк Хіміків;
5 – Парк 30-річчя Перемоги; 6 - Мікрорайон Дніпровський; 7 – Мікрорайон Митниця;
8 – Вул. Луначарського; 9 – Залізничний вокзал.

Рис. 2. Картосхема дослідних ділянок в м. Черкаси

Особлива увага приділялась територіям з великою кількістю транспорту. При використанні фітоіндикаційного методу, на території кожної ділянки досліджувалось 10 дерев, які представлені видом *Pinus sylvestris*. Оцінювався ступінь вигоптаності ділянок. З огляду на тривалий вік дерев для дослідження використовувались бічні пагони з мутівками другого-третього року життя. Дослідження проводилось візуально з використанням фітоіндикаційних показників. Вибір хвоїнок проводився з різних сторін сосни звичайної. Висота – середні і нижні гілки. Для дослідження морфологічних показників вимірювались довжина хвоїнок та розраховувався відсоток уражень

[10, 11]. Візуальні фітоіндикаційні дослідження мофометричних показників хвоїнок дерев відібраних на цих територіях засвідчили різний ступінь навантаження на атмосферне середовище. Встановлено значний відсоток хлорозів та некрозів хвої на ділянках парку хіміків, мікрорайону «Дніпровський» та залізничного вокзалу. Незначні відсотки цього індикаційного показника на ділянках обласної та міської лікарні №1. Кількість хлорозів і некрозів хвої другого та третього року життя, а також усихання кінчиків хвоїнок дозволили визначити ступінь забруднення територій. Середні значення показників результатів дослідження представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Зведені показники результатів дослідження

Назва дослідної ділянки	Хлорози, %	Некрози, %	Ступінь забруднення території, бали
Міська лікарня	26	32	29 %, високий
Парк перемоги	35	40	38 %, високий
Соснівка	15	4	9 %, низький
Мікрорайон Дніпровський	28	25	27 %, високий
Вул. Луначарського	32	16	24 %, високий
Парк хіміків	30	35	45 %, дуже високий
Мікрорайон Митниця	10	11	11 %, середній
Обласна лікарня	10	11	10 %, низький
Залізничний вокзал	55	33	53 %, дуже високий

Зведені результати засвідчили значне антропогенне навантаження на ділянках Парк 30-річчя Перемоги, Мікрорайон Дніпровський, Парк 30-річчя Перемоги. На решті території показник забруднення низький та середній. Для дослідження вмісту сірчистих сполук у хвої *Pinus sylvestris* проводилось застосу-

ванням біохімічного методу за методикою Починок Х. М. [11].

Хвоя висушувалась і заливалась сумішшю кислот. Вміст сірки визначався методом титрування за допомогою $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Результати розрахунку середніх значень S та SO_3 можна розглянути у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку вмісту S (сірки) та SO_3 , %

№ п/п	Ділянка дослідження	S	SO_3
1	Парк 30-річчя Перемоги	$1,626 \pm 0,201$	$4,058 \pm 0,502$
2	Залізничний вокзал	$2,500 \pm 0,173$	$6,242 \pm 0,432$
3	Парк Хіміків	$6,104 \pm 0,235$	$15,238 \pm 0,587$
4	Митниця	$0,156 \pm 0,005$	$0,384 \pm 0,013$
5	Вул. Луначарського	$0,164 \pm 0,015$	$0,388 \pm 0,032$
6	Мікрорайон «Дніпровський»	$0,192 \pm 0,004$	$0,468 \pm 0,010$
7	Соснівка	$0,044 \pm 0,005$	$0,110 \pm 0,013$
8	Міська лікарня	$0,120 \pm 0,003$	$0,294 \pm 0,008$
9	Обласна лікарня	$0,100 \pm 0,003$	$0,246 \pm 0,008$

Проведена статистична обробка результатів дослідження з використанням програмного продукту Microsoft Excel 2007.

Згідно табл. 2, найвищий відсоток вмісту S та SO_3 у хвої на території ділянки «Парк Хіміків» (15,24 %), що говорить про дуже високий ступінь забруднення. Це пов'язано з високою інтенсивністю руху автотранспорту, яка складає 659 авт./год., а також присутністю промислових викидів. Головною особливістю

даної ділянки є спрямованість рози вітрів в даний бік, що сприяє накопиченню забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

На другому місці за забрудненням виступає ділянка залізничного вокзалу 6,242 %. Інтенсивність руху автотранспорту складає 952 авт./год. Найменший відсоток вмісту S та SO_3 у хвої на ділянці мікрорайону «Луначарського» та «Соснівка». Ці ділянки є добре провітрювані та віддалені від основних тран-

спортних доріг, що не сприяє концентрації шкідливих домішок в приземному шарі атмосфери. Разом з цим хвойна рослинність виснажується, адже на усіх ділянках спостерігаються некрози та хлорози хвоїнок. При проведенні досліджень щодо накопичення СО порівнюємо визначену концентрацію з ГДК чадного газу (СО) для повітря (5 мг/м^3). Беручи до уваги наближення автошляху до житлових та адміністративних будівель, робимо висновок щодо екологічної ситуації в досліджуваному районі. Нахил вулиці визначали прибіжно, швидкість вітру визначали анемометром. У дослідженнях брались до уваги вимоги ГОСТ – 17.2.2 03–77 та ГОСТ 17.2.2 03–87. Дійсний стандарт розповсюджується на автотранспортні засоби з бензиновими двигунами. Дослідження проводимо на модельних ділянках вулиць різних категорій, представлених на картосхемі рис. 2: 1. «парк Соснів-

ка»; 2. «Обласна лікарня»; 4. Мікрорайон Хімселище; 5. «Парк 30-річчя перемоги»; 6. «Мікрорайон Дніпровський»; 9. «Залізничний вокзал».

Порівняльний аналіз отриманих результатів проводився на основі даних по 6 досліджуваних ділянках показав таку інтенсивність руху потоку автотранспорту за добу:

- «Мікрорайон Хімселище» – 23856 одиниць автотранспорту;
- «Парку 30-річчя Перемоги» – 22488 одиниць автотранспорту;
- «Залізничного вокзалу» – 20880 одиниць автотранспорту;
- «Мікрорайону Дніпровський» – 15000 одиниць автотранспорту.

Ранжування рівня забруднення чадним газом спостерігається в такому ж порядку (рис. 3).

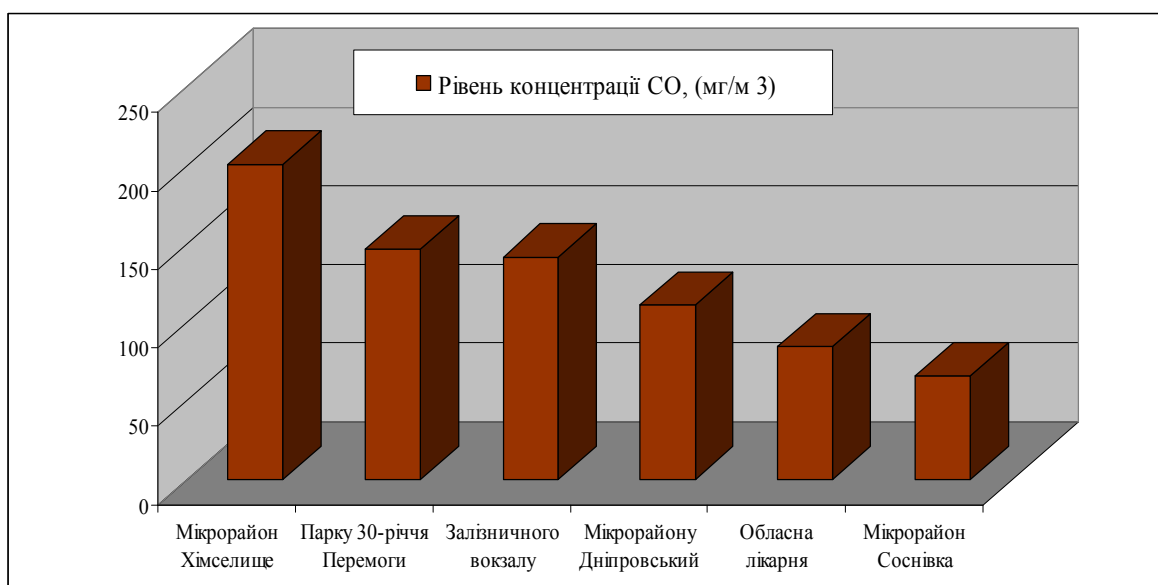


Рис. 3. Показники концентрації оксидів вуглецю за районами міста

Найбільший рівень забруднення атмосферного повітря чадним газом автотранспорту спостерігається на проспекті Хіміків – зупинка «Парк Хіміків», перевищення ГДК у 40 разів, «Парк 30-річчя», перевищення ГДК у 29 разів та залізничний вокзал, перевищення ГДК у 28 разів. Всі інші обраховані ділянки мають дещо нижчий рівень забруднення. Найнижчий ділянка парку Соснівка, перевищення ГДК у 13 разів. Отже усі ділянки, особливо в пікові години мають перевищення концентрації ГДК за оксидами вуглецю, що в першу чергу пов'язано із зростанням одиниць

автотранспорту та заниженими показниками розсіювання забруднень. До таких ситуацій призводять затори автотранспорту, режим роботи холостого ходу двигунів та малі швидкості вітру і штилі, які характерні для міста Черкаси.

Дослідження акустичного (шумового) навантаження проводилось на тих же ділянках, що і дослідження забруднення оксидами вуглецю [12-14]. В ході проведення дослідження з визначення акустичного забруднення території міста Черкаси, було встановлено, що найвищі рівні шуму спостерігаються в

період між 13:00 та 14:00. Це пояснюється тим, що в цей час на вулицях міста найвища інтенсивність руху автотранспорту. Виключення складає ділянка Мікрорайон Хімселище та Залізничного вокзалу, де найвищий показник інтенсивності руху автотранспорту –

вранці. Це пов'язано з тим, що для жителів цієї зони є характерним саме ранковий пік активності. Зведені результати досліджень в пікові часи з найбільш інтенсивним рухом автотранспорту та перевищення рівня шуму (ГДР) приведена в табл. 3.

Таблиця 3

Зведені результати досліджень в пікові часи з найбільш інтенсивним рухом автотранспорту

Ділянки дослідження	Час вимірювання	ІРА, авт./год	Рівень шуму, дБ	Перевищення ГДР шуму, дБ
Мікрорайон Хімселище	13:00-14:00	1553	87-89	12-14
Залізничного вокзалу	13:00-14:00	1417	84-86	9-11
Парку 30-річчя Перемоги	13:00-14:00	1103	81-83	6-8
Мікрорайон Дніпровський	13:00-14:00	1103	81-83	6-8
Обласна лікарня	8:00-9:00	124	61-62	2-3
Парк «Соснівка»	13:00-14:00	–	43-45	–

Найвищий виявлений рівень шуму в місті Черкаси (89 дБ) – на території дослідної ділянки №4 Мікрорайон Хімселище при ІРА 1553 автомобілів за годину. Найнижчий – 26 дБ в рекреаційній зоні парк «Соснівка».

Порівнюючи отримані дані, можна сказати, що найбільш шумозабруднена ділянка – перехрестя вулиць Мікрорайону Хімселище, де перевищення рівня ГДР сягає 14 дБ в період 13:00-14:00 годин. Для жителів міста Черкаси – це пік активності. Найліпша ситуація склалась на ділянці парку «Соснівка» – рекреаційна зона. Це пояснюється практично повною відсутністю антропогенного тиску у вигляді автотранспорту в межах даної зони.

На інших ділянках, окрім ділянки мікрорайону Дніпровський, спостерігаються значні перевищення ГДР від 6 до 14 дБ. Шумове забруднення даних ділянок завдає значного дискомфорту жителям міста. З такими умовами пов'язані, зокрема, ризики психологічного впливу, що проявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги тощо, а також ризики фізіологічних змін у організмі людини: підвищення тиску крові, частоти пульсу, загалом – погіршення постачання органів організму кров'ю та призвести до кисневого голодування мозку тощо.

На ділянці мікрорайону Дніпровський не виявлено перевищення ГДР. Це говорить про сприятливу акустичну ситуацію, що склалась на даних територіях та можливий позитивний вплив на жителів, які перебувають в межах даного району. Відсутність шуму в рекреаційній зоні здатна дійсно мати корисний

вплив на психоемоційний та фізичний стан людини.

Встановлено, що геоморфологічні особливості міста, такі як відсутність великих географічних перешкод (гірські масиви тощо) та рівнинний рельєф, створюють сприятливі умови для поширення шумових забруднень на великі відстані від джерела виникнення. Позитивним аспектом міста Черкаси у відношенні до шумового забруднення є характер забудови: більш високі будинки розташовані ближче до дороги, тим самим стаючи перешкодою на шляху поширення шуму, але не сприяють швидкому розсіюванню забруднень. Також, найбільш вразливі об'єкти (поліклініки, дитячі садочки, школи) знаходяться всередині забудов, що дозволяє значно понизити рівень шуму та поширенню забруднень на їх територіях.

Проведені дослідження за допомогою біоіндикаційних, біохімічних, розрахункових та інструментальних методів дозволили встановити рівні антропогенного навантаження та екологічні ризики впливу на довкілля міста Черкаси пересувних джерел автотранспорту.

Зокрема, використання *Pinus sylvestris* дозволило встановити значний відсоток хлорозів та некрозів хвої на ділянках парку хіміків, мікрорайону «Дніпровський» та залізничного вокзалу. Незначні відсотки цього індикаційного показника на ділянках обласної та міської лікарні №1. Біохімічні дослідження хвої рослин виявили накопичення сірчистих сполук у рослинному матеріалі. Найвищий відсоток вмісту S та SO₃ у хвої на ділянці Парк Хіміків (15,24 %), Залізничний вокзал

(6,242%), що говорить про дуже високий ступінь забруднення, а Парк 30-річчя Перемоги (4,058%), високий рівень забруднення. Решта ділянок мають середній та незначний рівень забруднення сірчистими сполуками. Найбільші рівні антропогенного навантаження спостерігались на ділянках біля залізничного вокзалу, парку «хіміків», парку «30-річчя Перемоги», середні – на ділянках мікрорайону «Дніпровський», мікрорайону «Митниця», біля Першої міської лікарні, на решті ділянок спостерігався низький рівень навантаження.

Біохімічні дослідження та показники хлорозів і некрозів, встановлених фітоіндикаційними методами, корелюють між собою. Розрахований нами високий показник кореляції [15], на ділянках біля парку хіміків і Залізничного вокзалу, де деревна рослинність знаходиться в пригніченому стані, на решті територій він достатньо високий (0,76-0,87), що свідчить про хороші індикаційні можливості виду щодо закиснювачів повітря. Разом з цим, недостатня кількість дерев, а також відсутність виду на значній території міста, не дає підстави рекомендувати його для широкого застосування у фітоіндикаційних дослідженнях усієї території селітебної зони міста Черкаси.

На досліджених модельних ділянках завантаженість вулиць автотранспортом перевищувала нормативні показники ГОСТ – 17.2.2 0.3–77. Розрахована концентрація викидів автотранспорту за оксидом вуглецю, на деяких ділянках, у декілька десятків разів перевищує нормативи ГДК. Значення концентрацій на інших досліджуваних також мало показники вищі за нормативні, що не дозволяє віднести ділянки приміської зони та рекреаційні території до не забруднених.

Рівень акустичного навантаження, що відповідав найнижчим показникам визначався на території Соснового бору. На решті ділянок цей показник був вищий, або набагато вищий нормативного значення.

Аналіз рівня концентрації CO (мг/м^3), проводився на дев'яти різних ділянках та перехрест'ях вулиць. Було підраховано середню кількість автотранспорту і кількість його викидів. При порівнянні результатів виявилось, що рівень концентрації CO (мг/м^3) змінюється із кількістю одиниць транспорту на ділянках. Рівень же загазованості транспортних магістралей і територій вздовж автодоріг залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і

рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту і автобусів в загальному потоці.

Магістральні вулиці загальноміського значення проспекту Хіміків, центральної частини міста з найбільш інтенсивними транспортними потоками створюють небезпечне та помірно небезпечне забруднення повітря на території житлової забудови в зоні 100 м від проїзної частини вулиць. Отже, ступінь небезпеки рівня забруднення повітря в зонах впливу міських вулиць залежить, в основному, від інтенсивності автотранспортних потоків.

На підставі проведених обстежень нами була складена таблиця виявлених ризиків від впливу автотранспорту на об'єкти довкілля (табл. 4).

Порівняно безпечні рівні шуму спостерігались на ділянках парку «Соснівка», біля Обласної лікарні та Мікрорайоні «Митниця», на решті ділянок рівні шумового навантаження перевищували нормативний показник.

Нами були визначені наступні ступені екологічних ризиків впливу пересувних джерел автотранспорту на досліджуваній території міста Черкаси: Соснівка – «середній»; Обласна лікарня – «середній»; Міська лікарня – «високий»; Парк Хіміків – «дуже високий»; Парк 30-річчя – «дуже високий»; Мікрорайон Дніпровський – «високий»; Мікрорайон Митниця – «середній»; мікрорайон Луначарського – «середній»; Залізничний вокзал – «дуже високий».

Проведені комплексні дослідження дали можливість виявити на території міста ділянки з високими та дуже високими рівнями екологічних ризиків впливу пересувних джерел. Оскільки існуюча кількість пересувних джерел створює умови підвищеного рівня забруднення атмосфери і наносить шкоду довкіллю та здоров'ю людини, необхідно намагатися знизити рівень можливих ризиків впливу як в джерелі їх виникнення, так і на шляху їх поширення [16-17].

Висновки.

Дослідження показали, що викид забруднюючих речовин в місті Черкаси становить 37% від загального валового викиду забруднювачів по Черкаській області, і це дає підстави віднести його до найбільш забруднених. Аналіз результатів аналітичного контролю, що проводився різними екологічними організаціями, засвідчив ключову роль автотранспорту міста Черкаси у питомому об'ємі вики-

дів забруднюючих речовин, що потрапляють у атмосферу.

Також встановлено, що перебіг кліматичних факторів впливає на скупчення шкідливих домішок в приземному шарі атмосфери обласного центру та підвищує ризик їх депонації в об'єктах довкілля.

Динаміка зміни індексу забруднення атмосфери (ІЗА) засвідчує його зростання за останній рік (з 5,43 у 2015 році до 5,73 у 2016 році), разом з цим, атмосфера м. Черкаси, за показником ІЗА, належить до слабо забрудненої. Вважаємо, що подальше неконтрольоване збільшення об'ємів викидів в атмосферу та зростання одиниць автотранспорту, що має застарілі системи руху і карбюраторні двигуни із тривалим строком експлуатації, призведе до збільшення рівня забруднення атмосфери міста до сильного, створить умови посиленого накопичення полутантів в об'єктах урбосередовища і вкрай негативно позначиться на існуванні урбанofлори, як природного фільтру урбоекосистеми.

Фітоіндикаційні дослідження територій міста з використання форофітної рослинності має великі перспективи у фітомоніторингових дослідженнях стану промислових міст, адже дає можливість наглядно оцінити стан довкілля, що важливо для прийняття швидких рішень стосовно фітомеліоративних заходів відносно існування урбанofлори та самої міської екосистеми.

Порівняльний аналіз накопичення СО на досліджуваних ділянках з найбільш інтенсивним транспортним рухом та фоновою ділянкою показали, що високий рівень забруднення атмосферного повітря чадним газом від автотранспорту спостерігається на не тільки на магістральних ділянках (проспект Хіміків – зупинка «Парк Хіміків», перевищення ГДК у 40 разів, «Парк 30-річчя», перевищення ГДК у 29 разів та залізничний вокзал, перевищення ГДК у 28 разів), а і те, що концентрація забруднювача змінюється із кількістю одиниць транспорту на ділянках спальних районів міста. Рівень же загазованості транспортних магістралей, як і територій вздовж автодоріг залежить від інтенсивності руху автомобілів, ширини і рельєфу вулиці, швидкості вітру, частки вантажного транспорту і автобусів в загальному потоці.

Рівень акустичного забруднення також має приуроченість як до магістральних ділянок, так і до ділянок спальних районів з най-

більшою інтенсивністю руху автотранспорту. Він був вищий, або набагато вищий нормативного значення, що може підвищувати ступінь екологічних ризиків впливу пересувних джерел. Така ситуація погіршує загальний екологічний стан в урбанізованому середовищі, а також підсилює ефект синергічної дії негативних чинників на живі організми. Зокрема, відбувається вплив на нервову систему людини, що може позначатися на стані здоров'я черкашан.

Нами запропоновані заходи щодо зниження ризиків впливу пересувних джерел автотранспорту, серед яких:

- своєчасне технічне обслуговування і правильне регулювання системи запалювання та живлення двигунів внутрішнього згоряння;
- широке використання зрідженого природного газу і альтернативних видів пального, а також нових транспортних засобів – електромобілів, тролейбусів;
- зниження шкідливого впливу токсичних речовин на навколишнє середовище в процесі експлуатації, за рахунок впровадження новітніх систем нейтралізації шкідливих викидів;
- часте зволоження вулиць міста шляхом поливу, особливо в літній період часу;
- покращення екологічної ситуації у місті за рахунок виконання вимог екологічного законодавства, щодо заборони будівництва у центрі міста автостоянок і контролю зведення автозаправних станцій у межах міста, будівництва об'їзних доріг;
- припинення масового вирубування дерев і паркових насаджень під приводом «санітарних» рубок, проведення ефективних фітомеліоративних заходів щодо покращення умов функціонування форофітної рослинності міста;
- розробка новітніх систем захисту від шумового забруднення та стимулювання використання екологічно безпечного транспорту.

Також, в основі усіх заходів щодо безпечного використання автотранспорту, які б головним чином вплинули на покращення екологічного стану в урбанізованому середовищі у даний період часу, є створення транспортного палива, яке б не забруднювало довкілля, а також регулярний контроль забруднень на дорогах з інтенсивним рухом. Такі підходи дозволять знизити ризики впливу пересувних джерел на об'єкти довкілля в урбанізованому середовищі.

Таблиця 4

№ п/п	Методи дослідження	Екологічні ризики територій дослідження																		Значення показників кореляції	
		Ризики впливу / Нумерація ділянок дослідження територій м. Черкаси																			
		1				2				3				4				5			
1		Високий	середній	Низький	Дуже високий	Високий	середній	Низький	Дуже високий	Високий	середній	Низький	Дуже високий	Високий	середній	Низький	Дуже високий	Високий	середній	Низький	0,98 0,76
2		+						+				+					+				
3		+								+							+				0,87 Не
4				+				+						+				+			
Рівні екологічних ризиків впливу автотранспорту		«середній»				«середній»				«високий»				«дуже високий»				«дуже високий»			

1 № п/п		2		Продовження таблиці 4 – Екологічні ризики територій дослідження															Значення показників кореляції	
Методи дослідження		Ризики впливу / Нумерація ділянок дослідження територій м. Черкаси																		
		6			7			8			9			Низький	Середній	Високий	Дуже високий			
Дуже високий	Високий	Середній	Низький	Дуже високий	Високий	Середній	Низький	Дуже високий	Високий	Середній	Низький	Дуже високий	Високий					Середній	Низький	
1				+							+				+			0,98		
2				+							+	+			+			0,76		
3			+												+			0,87		
4				+							+				+					
Рівні екологічних ризиків впливу автотранспорту		«високий»			«середній»			«середній»			«середній»			«дуже високий»			Не проводились			

Примітки: 1 – Соснівка, 2 – Обласна лікарня, 3 – Міська лікарня, 4 – Парк Хіміків; 5 – Парк 30-річчя Перемоги; 6 – Мікрорайон Дніпровський, 7 – Мікрорайон Митниця, 8 – Вул. Луначарського; 9 – Залізничний вокзал.

Список літератури

1. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. З., Говорун А. Г. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посіб. Київ: Арістей, 2006. 267 с.
2. Саньков П. Н., Ткач Н. А. и др. Влияние техногенных факторов на экологию: научная монография. Новосибирск: Издательство «СибАК», 2014. 164 с.
3. Мельничук О. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище. *Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК: Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Випуск І (17). Львів, 2009. С. 296–300.
4. Степанчук І. М., Степанчук О. В. Автомобільний транспорт і екологічні проблеми міст. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, 2004. № 6. С. 88–93.
5. Солошин І. О., Андрусенко О. М. Вплив транспортних потоків центральної частини м. Кременчука на рівень забруднення атмосферного повітря. *Екологічна безпека*. 2009. № 1 (5). С. 40–44.
6. Фесюк В. О. Розробка комплексу організаційних заходів для зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля м. Луцька. *Науковий вісник ВНУ ім. Л. Українки*. Луцьк, 2009. С. 235–241.
7. Ткач Н. О. Оцінка та прогнозування впливу автомобільного транспорту на стан шумового забруднення сільбищних територій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук за спец. 21.06.01 «Екологічна безпека». Кременчук: КНУ ім. М. Остроградського, 2015. 23 с.
8. Пригода Ю. Г., Обухан К. І., Козлова І. А. та ін. Критерії прийнятного ризику від дії атмосферних забруднень в умовах експлуатації транспорту. *Актуальні проблеми транспорту і медицини*. 2005. № 1. 158 с.
9. Екологічна ситуація у Черкаській області за 2015 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.lib.virginia.edu/brown/ides/s-chprop.htm/>
10. Кожова О. М., Измestьева Л. Р., Павлов Б. К. и др. Методология оценки состояния экосистем: учеб. пособ.; под общ. ред. проф. О. М. Кожова, акад. В. В. Воробьева. Ростов-на-Дону: ООО «ЦБВР», 2000. 128 с.
11. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наукова думка, 1976. 326 с.
12. ГОСТ 2044-85. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
13. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. Киев, 1995.
14. ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003) Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Москва: Стандартинформ, 2006.
15. Мерков А. М., Поляков Л. Е. Санитарная статистика. Москва: Медицина, 1974. 378 с.
16. Шило В. В. Автомобиль глазами эколога. Харьков: Торнадо, 2002. 159 с.
17. Павлова А. И. Экология транспорта: учебник для вузов. Москва: Транспорт, 2000. 248 с.

References

1. Gutarevych, Y. F., Zerkalov, D. Z., Hovorun, A. H. (2006) Ecology and auto transport. Kyiv: Aristey, 267 p. [in Ukrainian].
2. Sankov, P. N., Tkach, N. A. et al. (2014) Influence of anthropogenic factors on the environment: research monograph. Novosibirsk: "SibAK" Publishing House, 164 p. [in Russian].
3. Melnychuk, O. (2009) Influence of road transport on the environment. *Collection of scientific papers of Western geodesic society UTHK: Recent advances in geodetic science and production*, vol. I (17). Lviv, pp. 296–300 [in Ukrainian].
4. Stepanchuk, I. M., Stepanchuk, A. V. (2004) Road transport and environmental problems of cities. *Ecology of Environment and Life Safety*, No. 6, pp. 88–93 [in Ukrainian].
5. Soloshyn, I. O., Andrusenko, O. M. (2009) The impact of traffic in the central part of the city of Kremenchug on the level of air pollution. *Environmental Safety*, No. 1 (5), pp. 40–44 [in Ukrainian].
6. Fesyuk, V. O. (2009) The development of the organizational measures to reduce the negative impact of transport on the environment of the city of Lutsk. *Scientific Journal of L. Ukrayinky VNU*. Lutsk, pp. 235–241 [in Ukrainian].

7. Tkach, N. O. (2015) Assessing and predicting the impact of road transport on the state of noise pollution of residential areas: the abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 «Ecological safety». Kremenchug: M. Ostrogradskii KNU, 23 p. [in Ukrainian].
8. Prigoda, J. G., Obuhan, K. I., Kozlova, I. A. (2005) The criteria for acceptable risk from the effects of atmospheric pollution in operation of transport. *Actual problems of transport and medicine*, No. 1, 158 p. [in Ukrainian].
9. The environmental situation in Cherkasy region in 2015. URL: <http://www.lib.virginia.edu/brown/ides/s-chprop.htm/>
10. Kozhova, O. M., Izmistieva, L. R., Pavlov, B. K., Voronin, V. I., Peshkov, E. V. (2000) Ecosystem assessment methodology. Rostov-on-Don: OOO «TSVVR», 128 p. [in Russian].
11. Pochinok, H. N. (1976) Methods of biochemical analysis of plants. Kyiv: Naukchnaya idea, 326 p. [in Russian].
12. GOST 2044-85. Noise. Methods for measuring noise in residential areas and in residential and public buildings [in Russian].
13. Recommendations on accounting for the environmental protection requirements for the design of roads and bridges (1995). Kyiv [in Russian].
14. GOST 31296.1-2005 (ISO 1996-1:2003) (2006) Noise. Description, measurement and estimation of the terrain noise. Part 1. Moscow: Standartinform [in Russian].
15. Merkov, A. M., Polyakov, L. E. (1974) Health statistics. Moscow: Medicine, 378 p. [in Russian].
16. Shilo, V. V. (2002) Car by the eyes of environmentalist. Kharkov: Tornado, 159 p. [in Russian].
17. Pavlov, A. I. (2000) Transport ecology: Textbook for universities. Moscow: Transport, 248 p. [in Russian].

L. I. Zhytska, associate professor, Ph.D. (Biological Sciences),

e-mail: zludmila2@yandex.ru

T. P. Honcharenko, associate professor, Ph.D. (Chemical Sciences),

e-mail: schandor@mail.ru

O. V. Ponomarenko, student

e-mail: a_ponomarenko@ua.fm

Cherkasy State Technological University

blvd. Shevchenko, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF RISKS FROM THE USE OF TRANSPORT MOBILE SOURCES IN URBAN TERRITORIES

Transport is one of the most important elements of the material-technical base of social production and a necessary condition for the functioning of a modern industrial city. In recent decades, the increasing number of cars in the city of Cherkasy is dictated by current economic conditions and this trend will be observed further. Therefore, the aim of the work described in the article, was to evaluate the possible risks in the operation of mobile sources in the conditions of urbanization.

The object of the investigation: urbanized areas of the city of Cherkasy, as well as the systematic pollution from mobile sources vehicles.

In the article the system emissions into atmosphere of Cherkasy city have been analysed, the key role of the transport in contamination of the urban areas has been defined, the existing risks of the influence of the mobile sources by fitoindicative, biochemical, computational and instrumental methods of research, measures according to the reducing of the risk exposure have been worked out connected with the vehicle operation, and proposed measures for improvement of the ecological situation in the city.

We believe that the use of combined methods of risk assessment of the impact of transport on urban environment provides great opportunities for the study of the current state of urboecosystem and the identification of possible consequences associated with the impact of pollution sources on environment objects, which is important for making informed decisions.

Key words: *urban areas, the vehicles, atmosphere, phytoindication, chemical pollution, acoustic pollution, the risks of exposure, ecological safety.*

*Рецензенти: Столяренко Г. С., д.т.н., професор,
Лизогуб В. С., д.б.н., професор.*

В. Г. Петрук¹, д.т.н., професор,
Г. Д. Петрук², к.т.н., доцент
Р. Д. Крикливий², асистент
e-mail: kryklyvyir@gmail.com

¹Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна

²Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського

вул. Острозького, 32, Вінниця, 21100, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ТРИКАЛЬЦІЙФОСФАТУ З ТЕТРАХЛОРОМЕТАНОМ ТА ОКСОХЛОРИДОМ ВУГЛЕЦЮ

Вивчено вплив добавок хлору на відновлення трикальційфосфату газовими відновниками. Встановлено, що наявність хлору в сумішах із природним газом стимулює процес відгонки фосфору за рахунок розвитку ланцюгових реакцій та утворення вуглеводневих радикалів. У процесі відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ метаном при участі хлору в газовій фазі необхідно очікувати утворення складної системи, що містить елементний фосфор, PCl_3 , PCl_5 , POCl_3 і продукти окислення відновників. Використання CCl_4 і COCl_2 для відгонки фосфору сприяє запобіганню проходження окислювально-відновних процесів і переводу відгонки фосфору в режим протікання обмінних процесів.

Ключові слова: трикальційфосфат, тетрахлорометан, відгонка фосфору.

Вступ та постановка проблеми. Виснаження запасів високоякісної фосфатної сировини (апатитів) у виробництві фосфорних мінеральних добрив і елементного фосфору вимагає залучення бідних забалансових фосфатних руд, які у своєму складі в якості домішок містять вапняк, глауконіт, глинозем та інші компоненти. У процесі збагачення бідних фосфатних руд збільшується вміст P_2O_5 до 20-30% за рахунок відділення глауконіту, збільшується і вміст вапняку [1].

Наявність у фосфатній сировині невеликих кількостей P_2O_5 і збільшення вмісту вапняку ставить жорсткі вимоги до технології переробки фосфоритів. У випадку виробництва простого суперфосфату витрата сульфатної кислоти зростає в 1,5 – 3 рази, відповідно у стільки ж разів зменшується і вміст P_2O_5 у суперфосфаті [2]. Сировина з підвищеним вмістом вапняку стає непридатною для одержання фосфору електротермічним способом. Наявність вапняку у фосфориті вимагає збільшення витрати флюсів – кремнезему, і як наслідок, – зниження вмісту P_2O_5 у шихтах, зменшення продуктивності електропечей.

Фосфорити з підвищеним вмістом вапняку можуть перероблятися газовідновним способом. Застосування природного газу у виробництві фосфору практично не регламен-

тується хімічним складом сировини. Висококремністі фосфорити із вмістом P_2O_5 не нижче 10% можуть перероблятися газовідновним способом без підшихтовки. Наявність підвищеного вмісту CaCO_3 у фосфориті приводить до додаткових витрат оксидозв'язуючих добавок, що негативно позначається і на продуктивності реактора.

Мета роботи. Дослідження та пошук альтернативних шляхів переробки вітчизняної забалансової висококарбонатної або висококремністої фосфатної сировини

Виклад основного матеріалу. Досліджено вплив домішок вапняку у фосфоритах на вміст P_2O_5 у фосфатних шихтах і на продуктивність реакторів. Результати досліджень наведені в табл. 1.

Згідно попередніх досліджень [3] ступінь відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ природним газом залежить від модуля кислотності шихти. Повна відгонка фосфору можлива при зв'язуванні оксидів лужного характеру в метасилікати або метаалюмінати. Із збільшенням модуля кислотності до 2÷3 ступінь відгонки фосфору збільшується. Поряд із цим, введення додаткових кількостей флюсуючих добавок приводить до зниження концентрації P_2O_5 у шихті і зменшенню продуктивності обладнання. Як видно з наведених даних таблиці 1, наявність

CaCO_3 у складі фосфатних шихт істотно впливає на концентрацію P_2O_5 і на продуктивність реактора. Добавка 1 моль CaCO_3 до 1 моль фосфату зменшує концентрацію P_2O_5 у шихті при $M_k = 1$ практично на 25%, а витрата шихти на одержання 1 т фосфору збільшується на 40%. Істотний вплив робить і природа флюсуючих добавок. Як показали результати проведеного аналізу на одержання 1 т фосфору із шихти з каоліном при $M_k = 3$ і наявності домішок 2-х моль CaCO_3 витрата шихти становить 26229 кг, що більше ніж в 3 рази у порівнянні із шихтою чистого $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ з SiO_2 при $M_k = 1$. Результати, наведені в таблиці, вказують, що домішки CaCO_3 у складі фосфатної

сировини небажані. Необхідно змінювати технологію переробки таких фосфоритів, та запобігти застосуванню твердих оксидов'язуючих добавок. Позитивного ефекту варто очікувати при використанні для зв'язування кальцій оксиду хлору і його летких сполук. При добавці елементного хлору до природного газу – метану варто очікувати утворення низки різних хлорпохідних органічних сполук. Відомо, що окислення CH_4 хлором протікає по ланцюговому механізму [4]. У реакційному середовищі утворюються хлорид водню і похідні алканів – CH_3Cl , CH_2Cl_2 , CHCl_3 , які можуть брати участь у відновленні $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ і зв'язуванні кальцій оксиду.

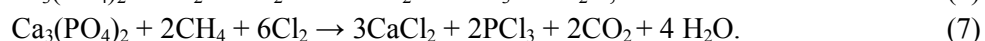
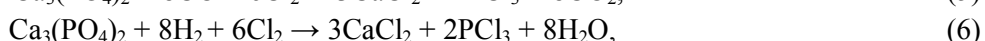
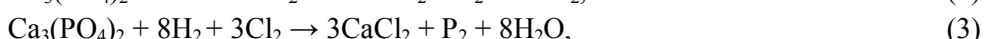
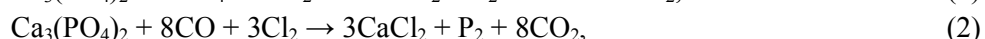
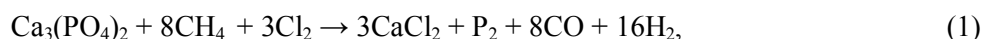
Таблиця 1

Вплив вмісту CaCO_3 у шихті на зміну концентрації P_2O_5 і вихід фосфору

Природа добавки	M_k	Чистий $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$		$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaCO}_3$		$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaCO}_3$	
		Вміст P_2 в шихті, %	Витрата шихти на 1т P_2	Вміст P_2 в шихті, %	Витрата шихти на 1т P_2	Вміст P_2 в шихті, %	Витрата шихти на 1т P_2
SiO_2	1	29,0	7903,2	21,8	10483,9	17,5	13064,5
	2	21,2	10806,0	16,0	14354,8	12,8	17903,2
	3	16,7	13709,7	12,7	18225,8	10,1	22741,9
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1	26,7	8580,6	20,1	11387,1	16,1	14193,5
	2	18,7	12161,3	14,2	16161,3	11,4	20161,3
	3	14,5	15747,9	10,9	20935,5	8,8	26229,0

Виходячи з попередніх досліджень [5], відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ метаном відбувається по радикальному механізму. Враховуючи останнє, можна припустити, що введення хлору в реакційне середовище буде сприяти утворенню вуглеводневих радикалів і відповідно повинно прискорювати фосфороутворення. Відсутність флюсів повинна суттєво покращити продуктивність реактора.

Для відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ найбільш доцільними відновниками можуть бути використані CO , H_2 і CH_4 . Проведено попередні дослідження відновлення трикальційфосфату природним газом, воднем і оксидом вуглецю в присутності хлору. Передбачалося утворення елементного фосфору і його сполук з хлором. Проаналізовано наступні рівняння реакцій:



За допомогою програмного пакету HSC Chemistry 5.11 [6] визначали значення енергії Гіббса, констант рівноваги, ентальпії і рівноважних концентрацій вихідних і кінце-

вих продуктів. Залежність значень енергії Гіббса від температури наведена на рис. 1, з якого видно, що в інтервалі температур 400...1000 К реакції 2, 3, 5 - 7 є можливими.

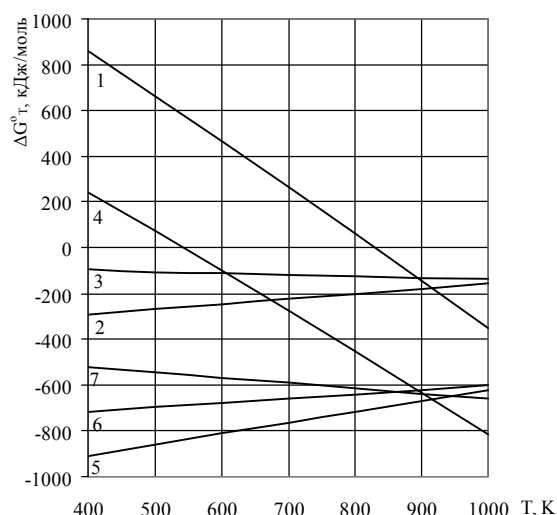
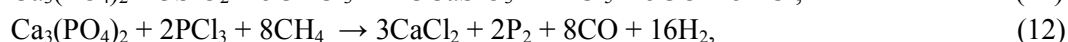
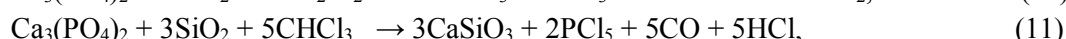
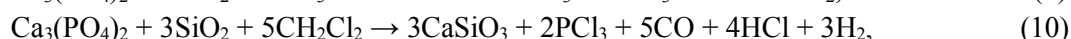


Рис. 1. Вплив температури на зміну енергії Гіббса реакцій (1 – 7) відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ газоподібними відновниками в присутності хлору



Залежність енергії Гіббса від температури реакцій 8 – 13 зображена на рис. 2. Як показали отримані результати, відновні властивості хлорпохідних метану залежать від ступеня заміщення водню хлором і від витрати хлоралканів. При зв'язуванні кальцій оксиду в силікат відновні властивості хлорметану і дихлорметану практично рівноцінні. Значення енергій Гіббса реакцій 10, 11 відрізняються незначно, а при 900 К вони практично стають рівноцінними.

Найбільш імовірною реакцією з розглянутих є відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ хлорметаном у присутності хлориду водню (реакція 8). Ця реакція є можливою у всьому розглянутому інтервалі температур (400...1000 К). При зв'язуванні вивільнюваного кальцій оксиду в силікат імовірність реакції значно зменшується. Реакція (9) до 1000 К є малоймовірною. Результати проведеного аналізу по відновленню $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ газовими відновниками в присутності хлору вказують на складний механізм хімічних перетворень і як кінцеві продукти необхідно очікувати утворення низки сполук – елементного фосфору, PCl_3 , PCl_5 , POCl_3 та інших сполук. Крім цього газове середовище буде містити продукти окислювання відновників – CO_2 , H_2 , CH_4 та інших.

При цьому найбільш імовірними є реакції за участю оксиду вуглецю. Активність відновників далі падає до водню і метану. Отримані дані повністю підтверджують встановлену раніше [7] закономірність зміни активності відновників в інтервалі температур 298...1600 К.

При додаванні хлору в суміш газових відновників можлива взаємодія його з газовими відновниками. У випадку взаємодії хлору з метаном можливе утворення хлорпохідних метану. З огляду на останнє, проведено розрахунки реакцій відновлення трикальційфосфату хлорпохідними сполуками метану реакції (1 – 7). Наявність хлоридів фосфору в газовій фазі може спричиняти розкислюючу дію відносно трикальційфосфату та інших кальціймісних сполук, у тому числі і кальцій силікату реакції (12 – 13):

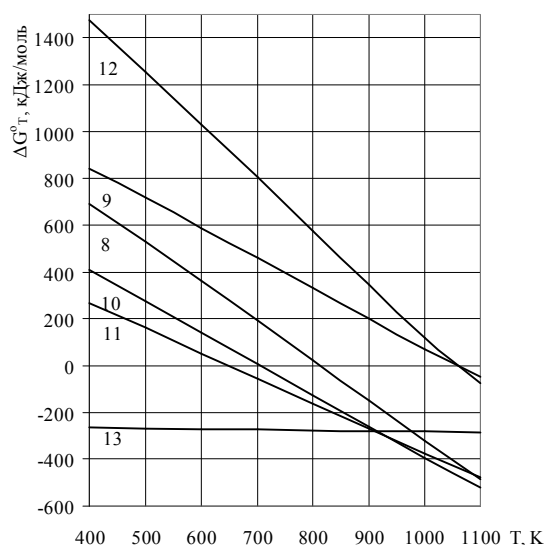


Рис. 2. Вплив температури на зміну енергії Гіббса реакцій (8 – 13) відновлення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ хлоралканами

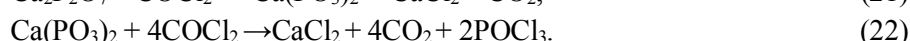
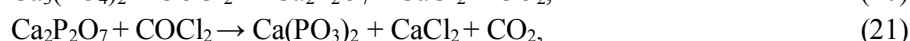
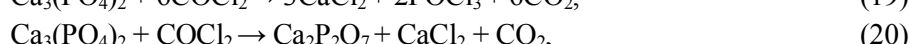
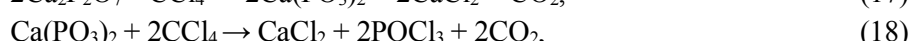
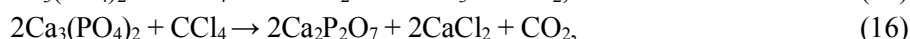
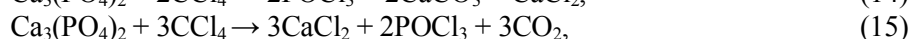
Важливим є питання спільного існування розглянутих компонентів. Досліджено реакційну здатність хлоридів фосфору в деяких окисних, нейтральних і відновних середовищах [8]. Встановлено, що PCl_3 може існувати в атмосфері вуглекислого газу в температурному інтервалі 400...1600 К. У цьому темпе-

ратерному інтервалі знаходження в газовому середовищі водяної пари небажано. Трихлорид фосфору досить успішно конвертується парами води. Пентахлорид фосфору також не може існувати в атмосфері водяної пари. Для збереження PCl_5 необхідне вуглекислотне середовище. Кальцій силікат може співіснувати з PCl_3 . Пентахлорид фосфору з підвищенням температури розкислює кальцій силікат з утворенням кальцій хлориду і SiO_2 . Небажаним у реакційному середовищі є надлишок вуглеводнів і наявність водню. При температурах вище 500 К PCl_3 і PCl_5 при наявності вуглеводнів піддаються конверсії і у цьому режимі повинно підсилюватися сажоутворення. Наявність водню веде до виділення хлориду водню і утворенню елементного фосфору.

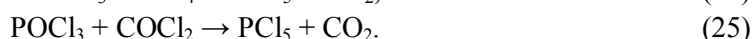
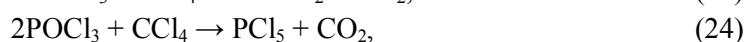
Аналіз отриманих результатів по відновленню трикальційфосфату природним газом у присутності хлору і хлоралканів вказує на

утворення складної системи. При цьому кінцевим продуктом при надлишку хлору у відновному середовищі повинен утворюватися PCl_3 , PCl_5 і вуглекислий газ. Аналіз отриманих результатів показує, що при використанні хлору або хлоралканів у сумарному процесі ступінь окислення фосфору практично не змінюється, а вуглець вуглеводнів окислюється до ступеня окислення (+4). В зв'язку з цим доцільне використання окисленого вуглецю до ступеня окислення (+4) із суміші його із хлором і оксидом вуглецю. Хлор з вуглецем може утворювати CCl_4 і COCl_2 . Взаємодія цих хлорпохідних повинна зводитися до прямого розкислення трикальційфосфату.

Проведено термодинамічні дослідження відгонки фосфору з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ тетрахлорометаном і фосгеном. Розглянуто сумарні схеми процесів і стадії перетворення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Проведено розрахунки наступних реакцій:



Крім сумарних схем розкислення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ розглянуто можливість протікання і вторинних процесів – взаємодія CaCO_3 і POCl_3 з CCl_4 і COCl_2 :



Залежності значень енергії Гіббса від температури розглянутих реакцій наведено на рис. 3 і 4.

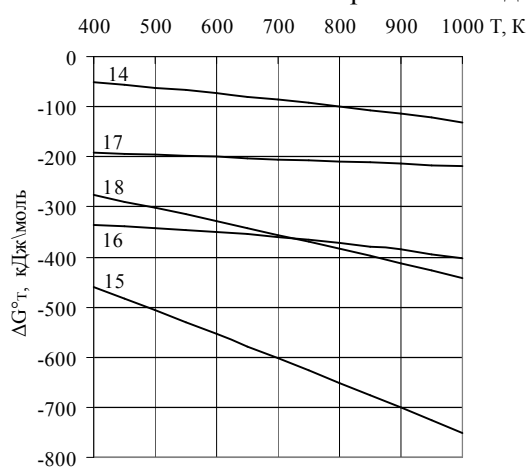


Рис. 3. Вплив температури на зміну енергії Гіббса реакцій (14 – 18) взаємодії $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ з CCl_4

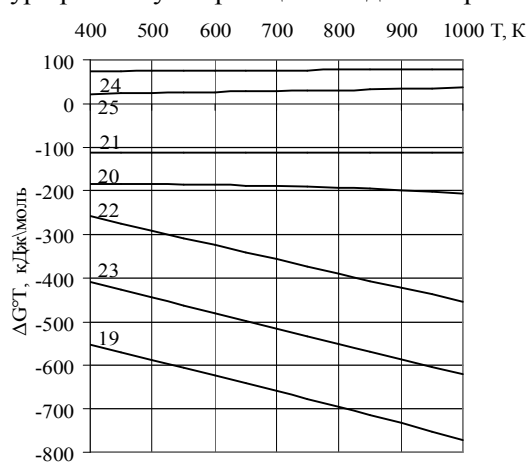


Рис. 4. Вплив температури на зміну енергії Гіббса реакцій (19 – 25) взаємодії $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ з COCl_2

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що всі розглянуті реакції розкислення трикальційфосфату тетрахлоретаном є термодинамічно ймовірними. Найбільш можливою реакцією є сумарна по рівнянню (15), у якій передбачається розкислення кальцій карбонату. Це вказує на те, що CaCO_3 при відгонці фосфору CCl_4 і COCl_2 не утворюється і кінцевим продуктом повинен бути кальцій хлорид. CaCO_3 повинен досить ефективно взаємодіяти із CCl_4 . При 400 К енергія Гіббса реакції (23) становить -400 кДж/моль. Це вказує на те, що при взаємодії трикальційфосфату із CCl_4 утворення CaCO_3 є малоімовірним. Кальцій карбонат буде конвертуватися з утворенням кальцій хлориду і CO_2 .

Негативні значення енергії Гіббса реакцій (16-18) і їхня сумірність вказують на те, що розкислення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ повинне здійснюватися стадійно з утворенням пірофосфату, а далі $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$. Взаємодія $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ із CCl_4 по-

винна приводити до утворення в газовому середовищі POCl_3 .

Розрахунки реакцій 24, 25 взаємодії POCl_3 із CCl_4 і фосгеном показали, що значення енергії Гіббса в розглянутому інтервалі температур мають позитивні значення, що вказує на малу ймовірність утворення в системі хлороксиду фосфору.

З аналізу даних рис. (4) випливає, що залежності відгонки фосфору з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ тетрахлорометаном є рівноцінними як і взаємодія $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ з фосгеном. При розкисленні $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ фосгеном кінцевими продуктами повинні бути: кальцій хлорид, фосфор з трикальційфосфату повинен переходити в газове середовище у вигляді пентахлориду фосфору. Важливим показником хімічних перетворень є їхня енергоємність. Досліджено розклад $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ тетрахлорометаном і фосгеном. Вплив температури на зміну ентальпії розкислення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вплив температури на зміну ентальпії реакцій (14-23) розкислення трикальційфосфату CCl_4 і COCl_2

№ р-цій	Значення ΔH°_T , кДж/моль при T, К						
	400	500	600	700	800	900	1000
14	-24,102	-19,353	-13,292	-6,207	-1,787	10,671	20,457
15	-275,571	-271,844	-267,333	-262,047	-255,938	-248,879	-240,745
16	-319,215	-309,321	-296,491	-281,324	-264,070	-244,784	-223,462
17	-175,740	-174,702	-173,877	-173,179	-172,513	-171,745	-170,758
18	-178,989	-171,823	-165,943	-160,872	-156,341	-152,164	-148,217
19	-429,959	-415,801	-409,919	-403,314	-395,906	-387,564	-378,151
20	-183,839	-178,653	-172,010	-164,207	-155,630	-145,506	-134,632
21	-112,101	-111,344	-110,703	-110,134	-109,584	-108,987	-108,280
22	-275,914	-267,795	-261,000	-255,050	-249,453	-244,621	-239,820
23	-262,743	-264,151	-266,078	-268,253	-270,514	-272,716	-274,745

З отриманих результатів можна зробити висновок, що протікання процесів по розглянутих схемах (за винятком реакції 14) в інтервалі температур 400...1000К можливо з виділенням тепла. Сумарна схема реакції (14), у якій передбачається утворення CaCO_3 є екзотермічною до 800К. Вище 800 К така взаємодія можливо тільки з поглинанням енергії. Взаємодія вапняку з CCl_4 (реакція 23) повинна здійснюватися з більшим виділенням енергії, при цьому з підвищенням температури тепловий ефект цього перетворення повинен збільшуватися.

Підсумовуючи отримані результати теоретичних досліджень розкладу трикальційфосфату можна зробити висновок, що розкис-

лення $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ є досить ефективним процесом і може здійснюватися з виділенням значних кількостей енергії. У кінцевих продуктах цього процесу варто очікувати в конденсованій фазі хлориду кальцію. У газових продуктах повинні знаходитись переважно CO_2 і POCl_3 . Процес відгонки фосфору з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ повинен відбуватися через стадії стадійного розкислення. У першій стадії повинен утворюватися пірофосфат кальцію, далі пірофосфат кальцію повинен розкислюватись до метафосфату. Метафосфат кальцію при взаємодії з CCl_4 або COCl_2 буде утворювати хлорид кальцію і хлорокис фосфору.

Таким чином, отримані нами результати дають підставу про можливе використання

забалансової висококарбонатної або висококремнистої фосфатної сировини. Переведення технології відгонки фосфору з відновної – відновлення коксом, природним газом або іншими відновниками в обмінний процес дає можливість уникнути застосування великих кількостей енергії і поряд з цим додатково перевести всі процеси у процеси з виділенням тепла. Використання CCl_4 або COCl_2 в технології переробки фосфоритів запобігає застосування флюсів, що збільшує продуктивність всієї технології.

Висновки. Із проведених досліджень по відновленню фосфатів кальцію газовими відновниками в присутності летких сполук хлору встановлено, що з досліджених відновників CO , H_2 , CH_4 при низьких температурах найбільша активність диоксиду вуглецю, наявність хлору в реакційному середовищі сприяє зниженню температури відгонки фосфору на $200\ldots 300\text{ }^\circ\text{C}$. У газових продуктах відновлення варто очікувати утворення складної газової системи, що містить хлориди фосфору, елементний фосфор, хлороксиди фосфору і продукти окислення відновників. Використання CCl_4 і COCl_2 дає можливість перевести процес відгонки фосфору з окислювально-відновного в обмінний процес із виділенням значних кількостей енергії.

Список літератури

1. Крикливий Р. Д., Делян Є. П. Дослідження впливу кальцій карбонату на відновлення трикальційфосфату. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного університету. Технічні науки*. 2008. № 2 (10). С. 46–48.
2. Василінч Т. М. Екстракційна переробка фосфатної сировини гідросульфатами лужних металів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.01. Київ, 2009. 20 с.
3. Крикливый Д. И. Механизм восстановления трикальцийфосфата. *Журнал прикладной химии*. 1984. № 11. С. 2409–2417.
4. Ластухін Ю. О., Воронов С. А. Органічна хімія. Львів: Центр Європи, 2006. 864 с.
5. Крикливый Д. И., Климович А. И., Ощеповский В. В. Восстановление фосфатов продуктами термического разложения метана. *Журнал прикладной химии*. 1977. 50, № 2. С. 237–240.
6. HSC Chemistry for Windows. Chemical reaction and equilibrium software with this ex-

tensive thermochemical database [Електронний ресурс]. Outotec Research Oy Information Service, Finland. Режим доступу: www.outotec.com/hsc. Назва з екрану.

7. Крикливый Д. И. К вопросу о применении природного газа в высокотемпературных восстановительных процессах. *Журнал прикладной химии*. 1976. 50, № 4. С. 845–849.
8. Крикливий Р. Д. Дослідження впливу середовища на стійкість хлоридів. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. Львів. 2005. № 529. С. 49–53.

References

1. Kryklyvyi, R. D., Dielian, Ye. P. (2008) The influence of calcium carbonate, tricalcium phosphate recovery. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoho derzhavnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, (2) pp. 46–48 [in Ukrainian].
2. Vasylynych, T. M. (2009) Extraction processing of phosphate raw materials by hydrosulphates alkali metals: the author's abstract for Ph.D. in Engineering: 05.17.01. Kyiv, 20 p. [in Ukrainian].
3. Kriklyviy, D. I. (1984) The mechanism of tricalcium phosphate recovery. *Zhurnal prikladnoi himii*, (11), pp. 2409–2417 [in Russian].
4. Lastukhin, Yu. O., Voronov, S. A. (2006) Organic chemistry. Lviv: Tsentr Yevropy, 864 p. [in Ukrainian].
5. Kriklyviy, D. I., Klimovich, A. I., Oshapovskiy V. V. (1977) Recovery of phosphate by products of thermal decomposition of methane. *Zhurnal prikladnoi himii*, (2), pp. 237–240 [in Russian].
6. HSC Chemistry for Windows. Chemical reaction and equilibrium software with this extensive thermochemical database. Outotec Research Oy Information Service, Finland. URL: www.outotec.com/hsc
7. Kriklyviy, D. I. (1976) On the question of the use of natural gas in high temperature reduction processes. *Zhurnal prikladnoi himii*, (4), pp. 845–849 [in Russian].
8. Kryklyvyi, R. D. (2005) The influence of environment on the stability of the phosphorus chloride. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*, (529), pp. 49–53 [in Ukrainian].

V. G. Petruk¹, *D.Tech.Sc., professor,*
e-mail: petrukvg@gmail.com

H. D. Petruk², *Ph.D., associate professor,*
e-mail: petrukgd@gmail.com

R. D. Kryklyvyi², *assistant lecturer,*
e-mail: kryklyvyir@gmail.com

¹Vinnitsia National Technical University

Khmelnyske shose, 95, Vinnitsia, 21021, Ukraine

²Vinnitsia State Mykhaylo Kotsybynskiy Pedagogical University

Ostrozko street, 32, Vinnitsia, 21001, Ukraine

THE STUDY OF TRICALCIUM PHOSPHATE INTERACTION WITH CARBON TETRACHLOROMETHANE AND PHOSGENE

Ukraine has no own high-quality phosphate raw materials for production of phosphate fertilizers, elemental phosphorus, and therefore there is a need to use the low-quality phosphate ores composed of limestone, glauconite, alumina and other impurities. Phosphorites with high silicon content and P_2O_5 content less than 10% can be recycled by gas-reduction method without entering flux.

Objective of the paper is research and finding of alternative processing methods of domestic low-quality phosphate raw with a high content of carbonates and silicates.

The influence of limestone impurities in phosphorites on P_2O_5 content in phosphate flux as well as on the reactors performance. The effect of chlorine adding on tricalcium phosphate recovery is investigated. It was studied that the presence of chlorine mixtures with natural gas stimulates the process of phosphorus obtaining due to the development of chain reactions and hydrocarbon radicals formation, and reduces phosphorus-obtaining temperature on 200 ... 300 ° C. During $Ca_3(PO_4)_2$ recovery with methane in the presence of gaseous chlorine one should expect formation of complex system containing elemental phosphorus, PCl_3 , PCl_5 , $POCl_3$ and products of oxidants reducing.

Use of CCl_4 and $COCl_2$ for phosphorus obtaining enable to use low-quality phosphate raw with a high content of carbonates and silicates, prevents redox processes and transfers phosphorus obtaining in the mode of metabolism. Absence of flux additives and low-temperature process mode significantly improve the reactor performance.

Keywords: *low-quality phosphate ore, tricalcium phosphate, processing, chlorine, phosgene, carbon tetrachloride, phosphorus obtaining.*

Статтю представляє В. Г. Петрук, д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет.

О. Ю. Савина, аспирант кафедры управления проектами
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
проспект Героев Украины, 9, г. Николаев, 54025 Украина
e-mail: KsuSavina@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И СПЕЦИФИКА УПРАВЛЕНИЯ ИХ ПРОЕКТАМИ

В статье проанализированы основные подходы к определению понятия «наукоемкость». Установлено, что для создания перспективной высокотехнической инновационной конкурентоспособной продукции наукоемкое предприятие должно обладать ключевыми компетенциями. Рассмотрены виды наукоемких отраслей, выявлены их признаки и особенности. Определена актуальность развития наукоемкого производства. Найдены и проанализированы основные характеристики и отличительные особенности наукоемких предприятий. Предложено категорирование особенностей наукоемких предприятий, которое позволяет учесть факторы и критерии формирования и реализации их проектов. Проведен анализ состояния и проблем развития наукоемких предприятий. На основе результатов анализа особенностей организаций с наукоемким производством, определены категории проектов наукоемких предприятий. Выделены базовые отличительные признаки проектов наукоемких предприятий и особенности их управления.

Ключевые слова: проект, наукоемкость, наукоемкие предприятия, управление проектами.

Постановка проблемы. В становлении и развитии инновационной экономики определяющую роль играют наукоемкие, высокотехнологические отрасли и производства, которые, в первую очередь, формируют спрос на исследования и разработки, стимулируя развитие фундаментальных и прикладных исследований [1].

Вопрос развития наукоемкого производства особо остро стоит в Украине т.к. в настоящее время не более 10% разработок отечественных ученых внедряются в производство [2]. Кроме этого, наукоемкие производства сегодня переживают значительный спад. Некоторые из них либо перепрофилировались на продукцию более низкого технического уровня, либо простаивают и утрачивают свой промышленный потенциал, не имея заказов и, следовательно, средств на реновацию и содержание предприятия. Особо кризисные явления наблюдаются в организационно-экономических структурах с длинными технологическими цепочками и многоотраслевой кооперацией производства, технически сложной, капиталоемкой продукцией [3]. Разрушительный процесс затронул как производственный аппарат, так и кадровый состав. Конкурентоспособную продукцию производить становится все труднее.

С другой стороны, как отмечают специалисты, потенциал наукоемких производств

объективно представляет собой стабилизирующий фактор антикризисного развития. Именно он становится гарантом нормального интенсивного экономического роста и поддержания экономической независимости страны. Основа технологического развития создается путем создания опережающих научно-технических, конструкторских, технологических и инвестиционных заделов, являющихся важнейшим стратегическим ресурсом для выхода на траекторию интенсивного и устойчивого экономического роста.

Доля высокотехнологичной продукции в общем объеме экспорта показывающий уровень конкурентоспособности страны в условиях инновационного развития. Доля экспорта отечественной высокотехнологичной продукции в структуре товарного экспорта составляет 2%, тогда как в США около 32,9%, в Китае – 32,8% [4]. На этих основаниях, обеспечение конкурентоспособности высокотехнологичных предприятий, которые разрабатывают и выпускают наукоемкую продукцию, является одной из важнейших стратегических задач Украины.

Основной целью инновационных наукоемких производств является работа над реализацией проектов по разработке и производству высокотехнологичных и наукоемких изделий [5]. В связи этим возникает необходимость в исследовании и совершенствовании

проектной деятельности таких производств и оценке эффективности их бизнес-процессов.

Анализ последних исследований и публикаций. Процесс опережающего роста затрат на науку и образование в структуре материального производства отражается в понятии «наукоемкость» отраслевой экономики.

В работе [6] автор определяет наукоемкие отрасли как отрасли экономики, выпускающие продукцию, выполняющие работы и услуги с использованием последних достижений науки и техники. Деятельность таких отраслей включает проведение обеспечивающих ее научных исследований и разработок, что приводит к дополнительным затратам средств и необходимости привлечения к работам научного персонала.

К количественным критериям наукоемкости обычно относят величину затрат на научные исследования и разработки, а также численность занятых в отрасли ученых-исследователей и разработчиков. По методологии Организации экономического сотрудничества и развития наукоемкими считаются отрасли, в которых доля расходов на научные исследования составляет не менее 3,5-4 % от оборота, а доля занятого в сфере науки персонала в общей численности рабочих и служащих – не менее 2,5-3 %.

В работе [7] указано, что это барьерное значение критерия наукоемкости продукции не является строгим и всеобщим: во-первых, оно различается в разных странах; во-вторых, методика отнесения затрат на НИОКР (т.е. их структура) в разных странах также неодинакова. Кроме этого отмечено, что существует и другой показатель – наукоотдача, под которым понимается отношение объема продаж наукоемкой продукции к расходам на НИОКР за определенный период времени (как правило, год). Критерием эффективности наукоотдачи является относительный рост продаж новой (с точки зрения очередного, качественно отличного от предыдущего, поколения технических изделий) высокотехнологичной продукции с высокими потребительскими качествами на рынке по сравнению с ростом всего наукоемкого рынка (включая устаревшую продукцию, разработанную ранее, но еще продаваемую на рынке).

На рост рынка наукоемкой продукции оказывают влияние увеличение продаж продукции и услуг, соответствующих уровню

передовой техники и технологии, а также, увеличение доли населения, ориентированного на потребление наукоемкой продукции. Этими рынками являются рынки продукции пятого и более высоких технологических укладов.

Автор [8] выделяют такие наукоемкие отрасли промышленности:

- производство офисного оборудования и вычислительной техники;
- производство электрических машин и электрооборудования;
- производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи;
- производство медицинских изделий, средств измерений, контроля, управления и испытаний;
- производство оптических приборов, фото- и кинооборудования, часов;
- производство судов, летательных и космических аппаратов, а также прочих транспортных средств.

Наукоемкие отрасли имеют ряд особенностей. Это:

- активная инвестиционная и инновационная деятельность;
- высокие удельные затраты на НИОКР;
- наличие научных школ, коллективов конструкторов и технологов, способных создавать уникальную и конкурентную на мировом рынке продукцию;
- высококвалифицированные инженерно-технические сотрудники и производственный персонал;
- общедоступная и эффективная система подготовки высококвалифицированных кадров;
- эффективная система защиты прав на интеллектуальную собственность;
- участие в мировой финансовой системе и активная способность формирования благоприятного инвестиционного климата в стране;
- оперативное внедрение разработок, обеспечивающих повышенную конкурентоспособность;
- высокая динамичность производства;
- государственная значимость ряда отраслей прикладных наук для укрепления обороноспособности и технологической независимости страны;
- использование в производстве передовых технологий;

- высокая доля экспериментального и опытного производства в структуре производственного аппарата экономики;

- агрессивная маркетинговая политика, обусловленная современной спецификой процесса финансового и кредитного обеспечения наукоемкого производства;

- длительный жизненный цикл многих видов продукции;

- выстраивание стратегии и тактики хозяйственной деятельности с учетом высокой степени неопределенности процесса управления современными разработками, по которым при принятии решений используются прогнозные оценки технологий будущего;

- усовершенствование системы ценообразования, которая учитывает все издержки производства, включая затраты на исследования и разработки, систему управления инновационными проектами, систему рекреации высококвалифицированного персонала и ряд других факторов.

Деятельность наукоемких отраслей неразрывно связана с использованием высоких технологий, вклад которых в общую стоимость производимой продукции составляет обычно весьма значительную ее часть. Можно сказать, что наукоемкие отрасли выпускают главным образом высокотехнологичную продукцию и определяют опережающее развитие страны в целом, а развитие наукоемких производств является важнейшим фактором подъема современной экономики.

Наукоемкое производство – это промышленное производство, в котором выпуск продукции связан с необходимостью проведения большего объема теоретических расчетов, научных изысканий и экспериментов [9]. Кроме этого отмечено, что наукоёмким считается производство, у которого на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы приходится не менее 60 % всех затрат, связанных с подготовкой и выпуском продукции. Основная часть затрат приходится на разработку оптимальной конструкции изделий, создание новых материалов, разработку новых схем, обеспечение требуемой надёжности, экологической чистоты и безопасности обслуживания.

В источнике [10] наукоемкое производство – это производство, результатом деятельности которого является преимущественно наукоемкая продукция или услуга, созданная в результате НИОКР и изготовленная

(оказанная) на современном оборудовании по новым наукоемким технологиям с применением труда высококвалифицированного персонала.

Беляев Ю.С. [11] рассматривает наукоемкие производства, как группу производств с высокими абсолютными и относительными (по отношению к общим издержкам производства) затратами на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

В работе [12] рассмотрены отличительные черты наукоемких производств и специфика управления себестоимостью наукоемкой продукции. Отмечены особая роль функциональности продукта, во взаимосвязи «полезность – себестоимость»; тяготение производства к мелкосерийному и индивидуальному; выдающаяся роль технологии; ориентированность на неценовую конкуренцию; возможность длительного использования продукции; высокий уровень затрат в сфере эксплуатации и послепродажного обслуживания; необходимость повышения технико-экономических свойств продукции.

Уникальность продукции наукоемких производств, наличие четко определенных целей и ограничений при ее проектировании и производстве позволяют рассматривать процессы проектирования и производства такой продукции с точки зрения теории и практики управления проектами.

Проблемы управления наукоемкими предприятиями освещались в работах Г. Арчибальда, А. Е. Варшавского, Е. П. Велихова, К. В. Кошкина, А. Н. Мельникова, С. К. Чернова, Данченко Е.Б., Коваленко И. И., Гайды А.Ю., Науменко Т. А., Черновой Л.С. и других.

В работе [13] проведен анализ состояния и проблем развития наукоемких предприятий в рамках национальных инновационных программ США, Западной Европы, Японии, Азии. Автор определяет, что одним из основных направлений повышения эффективности реализации наукоемких и инновационных проектов является корпоратизация и укрупнение предприятий за счет привлечения научных, научно-исследовательских институтов и организаций в совместные наукоемкие проекты. Анализирует методы, применяемые в развитых странах “золотого миллиарда” в отношении планирования и управления наукоемкими предприятиями, которые получили наи-

большее распространение в рамках различных национальных инновационных систем. Констатирует, что доходность наукоемких предприятий на всех этапах их становления и развития выше, чем в отраслях с консервативным типом развития, что достигается путем постоянного инвестирования НИОКР и поддержания высокого уровня квалификации специалистов-разработчиков. Кроме этого, из-за недостатка финансирования проектов НИОКР и развития науки в целом в Украине, а именно, уменьшение расходов госбюджета, недостаточное развитие инфраструктуры финансовой поддержки, падение научно-технического потенциала, снижение инновационной активности промышленных предприятий нет основы для становления и развития национальной инновационной системы, способной конкурировать на мировом рынке. В работе проанализирована законодательная база, определяющая правовые основы развития научной, научно-технической и инновационной деятельности, представлена методика оценки эффекта от интеграции разработчика НИОКР (новатора) и промышленного предприятия и доказано, что степень ассоциации новатора с предприятием играет решающую роль в судьбе инновационной идеи и нового продукта как такового. Рассматривается синергетический эффект от взаимодействия института, где проводится НИОКР и промышленного предприятия, как дополнительная стоимость, возникшая в результате интеграции подразделений НИОКР с промышленным предприятием. Указывает, что эффективность использования научного потенциала наукоемкой компании растет за счет таких факторов, как: концентрация финансовых и материальных ресурсов на критических или выгодных направлениях; увеличение объема и, соответственно, масштаба инвестиционных проектов; повышение мобильности использования; снижение рисков. Также, анализирует математические методы исследования организационных структур наукоемких предприятий, особенности математических моделей управления проектами в наукоемких предприятиях. На базе теоретико-игровой модели организационной системы предлагает развитие математической модели в матричных структурах управления, характерных для научно-производственных организаций.

Приоритетность использования принципа синергии для создания замкнутой производящей цепи, также отмечена в [2].

Методология системного анализа и алгоритмы деятельности предприятия рассматривались в работах М.З. Згуровского, В.И. Скурихина, С.Д. Бушуева, В.Ф.Соколова, Г.М. Калянова, А.М. Вендрова, Г. Буча, Дж. Мартина, Е. Йордана и др.

С понятием наукоемкого производства тесно связано понятие инновационной деятельности и инновационного предприятия [14; 15; 16; 17; 18]. Особенности наукоемкого инновационного предприятия (длительный цикл производства, необходимость привлечения специализированных конструкторских бюро, большое количество кооперационных связей, узкий спектр потребителей и пр.) требуют слаженной и эффективной работы многих исполнителей, большого научного потенциала проектантов. Такая организация производства может быть реализована в рамках научно-производственных комплексов, в структуре которого присутствует новатор – конструкторское бюро, обеспечивающее производство инновационной составляющей и финансовый донор – производственная система, которая, в свою очередь, является инвестором в новые разработки (проекты новых изделий) [13].

В современных условиях инновационное развитие наукоемких предприятий рассматривается как единственный способ повышения конкурентоспособности производимой продукции, поддержания высоких темпов развития и обеспечения устойчивости [1].

Однако, как указано в источнике [13], лишь 5 % начатых НИОКР находят свое успешное завершение в виде признания новой продукции на рынке потребителями. В числе основных причин такого положения автором выделены следующие: ошибочный выбор портфеля НИОКР, отсутствие комплексной проработки маркетинговых, технических, экономических, инвестиционных, производственных аспектов. В большинстве случаев при выполнении НИОКР не учитываются стратегическая значимость разработки, ее согласованность со стратегическими аспектами деятельности фирмы (методами ее стратегического планирования, имиджем, отношением к риску), а также временной аспект выполнения НИОКР и реализации их результатов (тиражирование и сбыт новой продукции). Во многом это связано с отсутствием четко обозначенного единого методологического подхода к стратегическому управлению НИОКР.

Существуют различные подходы к определению содержания инновационного потенциала. Авторы [19; 20] придерживаются ресурсного подхода в определении понятия «инновационный потенциал» и трактуют его, как совокупность необходимых для инновационной деятельности ресурсов (материальных, технических, информационных, финансовых и др.). Другие авторы [5; 21] склоняются к функциональному подходу, по которому инновационный потенциал предприятия это не только имеющиеся ресурсы, но и механизмы инновационной деятельности. Ряд исследователей применяет структурный подход в своих исследованиях [13; 22] и рассматривает инновационный потенциал через определение его составных категорий. Сторонники результативного подхода [8] разделяют достигнутый (существующий, имеющийся в наличии) потенциал и потенциал развития (требуемый, необходимый потенциал). Согласно этому подходу, инновационный потенциал ассоциируется с комплексом возможностей предприятия создавать и осуществлять нововведения.

В работе [7] рассмотрен анализ факторов становления наукоемких производств и формирования наукоемкого сектора рынка в Украине. Среди них были выделены:

- эффективная система образования и подготовки высококвалифицированных кадров;
- усовершенствованные формы интеграции к внедрению новых перспективных вариантов сбалансированного сотрудничества науки, образования и производства;
- встроенность в мировую финансовую систему и активная способность к формированию благоприятного инвестиционного климата в собственной стране;
- длительный полный жизненный цикл многих видов продукции (от замысла до утилизации), достигающий 10-15 и более лет;
- ключевая роль государственной поддержки (прежде всего, финансовой и налоговой) инновационных проектов и производств на начальном этапе их становления;
- компетентный контроль всех издержек наукоемкого производства, включая расходы на систему образования и повышения квалификации работников, исследования и разработки, систему управления инновационными процессами, систему рекреации высококвалифицированного персонала и т.д.

Сложность производств и воздействие множества факторов риска приводят к тому, что значительная часть проектов, связанных с высокими технологиями, завершаются неуспешно или со значительными задержками. Это побуждает организации расширять перечень одновременно реализуемых проектов с целью эффективного достижения стратегических целей за счет диверсификации рисков и оптимизации использования задействованных ресурсов.

Целью данной статьи является выявление и анализ особенностей наукоемких предприятий, определение проблем и специфики управления проектами наукоемких предприятий.

Изложение основного материала. Особенности наукоемких предприятий можно рассматривать с позиции следующих категорий:

Организационные:

- Проектная ориентированность;
- Интеграция предприятий с научными организациями, высокая доля экспериментального и опытного производства;
- Высококвалифицированный научный, инженерно-технический персонал, высокая квалификация рабочих;
- Высокая динамичность и разноразмерность производства;
- Непрерывное совершенствование факторов производства, совершенствование научно-производственной структуры и системы управления;
- Инновационность деятельности, которая стимулирует процесс, возможность и способность получения, освоения, использования и развития результатов научно-технического прогресса;
- Длительный цикл производства;
- Высокая рентабельность производства (темпы роста в 3-4 раза превышают темпы роста прочих предприятий);
- Невозможность составления надежных и достоверных планов по проектам, что определяется наличием неучтенных и непрогнозируемых возмущений и значительной зависимостью от человеческого фактора;
- Невозможность однозначного и достоверного определения состояния текущих наукоемких проектов;
- Масштабы производства не имеют особого значения, оно может тяготеть к мелкосерийному и индивидуальному;

- Научный, творческий характер труда, с развитой самоорганизацией;
- Разветвленная внутри- и межотраслевая кооперация;
- Значительная доля используемых уникальных производственных и трудовых ресурсов и, как следствие, необходимость перемещения таких ресурсов между отдельными проектами;
- Невозможность однозначного и достоверного определения стоимости отдельных ресурсов;
- Узкий спектр потребителей;
- Тенденция к индивидуальному спросу, ориентация на потребителя новой продукции;
- Ключевая роль государственной поддержки.

Экономические:

- Высокие удельные затраты на НИОКР >3,5% от объема продаж;
- Значительные объемы внутреннего и внешнего финансирования;
- Венчурное финансирование;
- Ориентация на оптимизацию затрат;
- Экономия ресурсов не является первостепенным требованием, прирост затрат приводит к росту полезности продукции.

Технологические:

- Выдающаяся роль технологий;
- Преимущественное использование передовых технологий, доминирование процесса изменения технологии над стационарным производством;
- Универсальное, многофункциональное оборудование, необходимость регулярного обновления основных производственных фондов;
- Многономенклатурность и диверсифицированность;
- Использование новых технологий продвижения продукции.

Особенности продукции:

- Нестандартность продукции, ее обновление;
- Продукт характеризуется как уникальный, многофункциональный, выступает аналогом основного капитала;
- Зависимости от отдельных уникальных ресурсов, человеческого фактора и компетентности исполнителей (интеллектуального капитала);
- Большая доля добавочной стоимости в конечной продукции;

- Послепродажное обслуживание продукции;

- Воздействие значительного числа неучтенных и непрогнозируемых возмущений;

- Высокая степень неопределенности результатов деятельности.

В работе [23] особенность наукоемких производств рассматривается как “обеспечение непрерывности цепи бизнес-событий: фундаментальные исследования – поисковые НИР – прикладные НИОКР – технологии – производство – рыночная реализация” в условиях соблюдения “сбалансированности ... этапов при общей ориентации на конечный результат – серийный выпуск наукоемкой конкурентоспособной продукции в экономически целесообразных сроках и объемах”.

Исходя из особенностей наукоемких производств можно сформулировать определение его проекта следующим образом.

Проект наукоемкого производства - это комплекс взаимосвязанных мероприятий научных и производственных организаций, направленный на эффективное создание и эксплуатацию уникального продукта или услуги, обогащенного научной и инновационной новизной в условиях временных и ресурсных ограничений на протяжении всего жизненного цикла продукта проекта.

Наука управления проектами является одной из наиболее разветвленных методологий управления изменениями на предприятиях. Учитывая это, управление проектами и программами является оптимальным инструментом целенаправленных изменений и позволяет обеспечивать динамичный взаимосвязь между инновационной и производственной составляющими наукоемкого предприятия.

В работе [4] указано, что успешными будут те предприятия, управление которых построено на принципах проектного менеджмента, и их проектно-ориентированное управление органично трансформируется в проектно-управляемое предприятие. Они быстрее и легче адаптируются к внешним экономическим факторам (включая кризисные явления), к изменениям конъюнктуры рынка, не теряя своей конкурентоспособности.

Разнообразные области применения управления проектами сведены в 24 основные группы по интересам (Specific Interest Groups), действующие в рамках PMI. Одной

из особенностей проектов наукоемких производств является то, что жизненные циклы и процессы управления проектами, выполняемых в различных отраслях, могут существенно отличаться. В [24] на основе отличий жизненного цикла (ЖЦ) проектов различных отраслей введено 19 категорий проектов и отмечено, что список категорий не полон. Также, категории проектов по жизненным циклам представлены в [21].

Проведя анализ и систематизацию можно выделить следующие категории проектов наукоемких производств:

- аэрокосмические и оборонные;
- машино- и судостроительные;
- глобальных технологий передачи данных и связи;
- информационных систем;
- защиты окружающей среды;
- коммуникационных систем;
- капитального строительства;
- финансовые и экономические;
- разработки продуктов или услуг;
- НИОКР - проекты;
- изменения бизнес-процессов и организационного развития;
- проекты событий;
- международного развития;
- культурно-массовые, спортивные и развлекательные проекты.

Наличие уникальной производственной базы наукоемких производств и воздействие сложно учитываемых рисков приводит к тому, что организации стремятся диверсифицировать риски и наиболее полно использовать производственную базу. Как следствие, такие производства характеризуются значительным числом одновременно реализуемых проектов, которые, в отдельных случаях, рассматривают как мультипроект [25]. Наличие множества одновременно реализуемых проектов делает возможным формирование самостоятельного уровня мультипроектного управления. Существенные особенности управления проектами в рамках одной организации также определяются видами производств (одновременно определяющие и виды проектов) и, прежде всего, спецификой крупносерийных и малосерийных наукоемких производств. Специфика крупносерийных наукоемких производств определяется тем, что изменение цены на такую продукцию находится в противофазе с объемом произведенной продукции – при нарастании объема цена падает. Как следст-

вие, компании, производящие такую продукцию "стремятся к быстрой смене их жизненных циклов или поколений", т. е., на таких производствах вместе с выпуском основной продукции постоянно осуществляется процесс модернизации производства и его организационной структуры. При этом проекты, связанные с выпуском основной продукции, осуществляются в постоянно меняющейся организационной среде, что в первую очередь и определяет особенности управления такими проектами.

Специфика малосерийных производств определяется тем, что они вынуждены компенсировать значительные издержки на НИОКР за счет оптимизации производственных процессов и долговременного использования результатов НИОКР, что еще более повышает роль НИОКР.

Итак, можно выделить отличительные признаки проектов наукоемких предприятий:

- сложность производства;
- множество проектов и их масштабы;
- наличие крупносерийного и малосерийного производства;
- значительная доля НИОКР;
- активность объектов управления;
- участие множества отраслей.

К особенностям управления проектами наукоемких предприятий относятся:

- Корректировка планов проектов на протяжении всего ЖЦ;
- Множественное перераспределение ресурсов между проектами;
- Учет особенностей сложных организационных систем;
- Частая смена ЖЦ проектов;
- Высокие требования к оптимизации производственных процессов;
- Высокие требования к обеспечению сбалансированности с внешней средой;
- Применение множества различных механизмов управления;
- Учет отличий ЖЦ проектов разных отраслей.

Значимость наукоемких производств для экономики государства и специфика управления проектами наукоемких производств и их портфелями, опыт успешных и неуспешных практик управления проектами и портфелями проектов позволяют рассматривать вопросы оптимального управления проектами наукоемких производств как актуаль-

ную проблему, требующую дальнейшего исследования и решения.

Выводы. Наличие значительного негативного опыта в управлении проектами в высокотехнологичных отраслях и наукоемких производствах указывает на существование проблем, требующих решения. Задача повышения конкурентоспособности отечественных предприятий является не только актуальной, но экономически обоснованной народнохозяйственной задачей.

В ходе исследования: 1) выполнен анализ работ отечественных и зарубежных ученых и исследователей в области управления проектами наукоемких предприятий и выявлены проблемы в части толкования и применения термина «наукоемкость»; 2) выявлены особенности наукоемких производств и рассмотрены в рамках категорий; 3) выделены отличительные признаки проектов наукоемких предприятий и особенности их управления; 4) дальнейшие исследования необходимо направить на детальный анализ работ ученых в области портфельного управления наукоемкими предприятиями.

Список литературы

1. Беляков Г. П. Инновационный потенциал наукоемкого предприятия ракетно-космической промышленности и его оценка. *Фундаментальные исследования*. М., 2014. Вып. 12 (часть 11). С. 2398–2402.
2. Науменко Т. А. Организация жизненного цикла интеграционного инновационного процесса обеспечения развития наукоемкого производства в Украине. *Управління розвитком складних систем*. К., 2014. Вип. 19. С. 44–49.
3. Штефан В. И. Инновационная деятельность в научно-производственных интеграционных структурах: теория, методология, практика: автореф. дис.... д-ра экон. наук. Воронеж, 2007. 47 с.
4. Чернова Л. С. Методи та моделі забезпечення конкурентоспроможності проектно-орієнтованих наукоємких газотурбінних підприємств: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.22. Національний ун-т кораблебудування ім. адм. Макарова. М., 2014. 25 с.
5. Куликов М. М. Анализ особенностей функционирования компаний научно-технической сферы. *Конкурентоспособность предприятий и организаций: сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф.* (май 2008 г.). Пенза, 2008. С. 144–146.
6. Ананьшин В. М. Инновационный менеджмент: учеб. пособие. М.: Дело, 2003. 528 с.
7. Бурков В. Н., Бушуев С. Д., Возный А. М. и др. Создание и развитие конкурентоспособных проектно-ориентированных наукоемких предприятий: монография. Н.: Издательство Торубары Е. С., 2011. 260 с.
8. Варшавский А. Е. Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, экономическая политика, удельный вес в структуре экономики России. *Экономическая наука современной России*. М., 2000. Вып. 2. С. 61–83.
9. Энциклопедия «Техника» [Электронный ресурс]. М.: Росмэн, 2006. Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/762/наукоемкое. Загл. с экрана.
10. Цыганков В. А. Система управления наукоемким производством: учеб. пособ. [Электронный ресурс]. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3584338/>, http://studopedia.ru/3_211706_vopros--otraslevaya-prinadlezhnost-predpriyatij-i-otraslevaya-struktura-ekonomiki.html. Загл. с экрана
11. Беляев Ю. С. Потенциал наукоемкого сектора промышленности в условиях экономики переходного периода. *Экономика и управление*. СПб., 2007. Ч. 1. С. 179–186.
12. Мокеева Е. В. Особенности наукоемких производств и специфика управления себестоимостью наукоемкой продукции. *Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса*. В., 2011. Вып. 1 (14). С. 78–81.
13. Чернов С. К. Эффективные организационные структуры в управлении программами развития наукоемких предприятий: дис.... д-ра наук: 05.13.22. Национальный ун-т кораблестроения им. адм. Макарова. М., 2007. 339 с.
14. Васильева Л. Н. Методы управления инновационной деятельностью: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2005. 320 с.
15. Велихов Е. П. Промышленная политика. Инновации. Массовые информационные технологии. Отечественные системообразующие компании. М.: Энергоиздат, 2007. 99 с.

16. Коваленко И. И. Экспертные оценки в управлении инновационными проектами: учеб. пособ. Николаев: НУК, 2007. 168 с.
17. Коваленко И. И. Сценарный подход в анализе инновационных проектов: монография. Николаев: УГМТУ, 2002. 61 с.
18. Руководство по управлению инновационными проектами и программами: Т. 1, версия 1.2. Под ред. С. Д. Бушуева. К.: Науковий світ, 2009. 173 с.
19. Возный А. М., Драгомиров В. В., Кошкин К. В., Казарезов А. Я., Фатеев Н. В., Харитонов Ю. Н., Чернов С. К. Модели, методы и алгоритмическое обеспечение проектов и программ развития наукоемких производств: монография. Н.: НУК, 2009. 194 с.
20. Мазов М. М. Аналіз формування портфеля проектів металургійного підприємства на основі стратегії сталого розвитку. *Управління проектами та розвиток виробництва*. Л., 2015. Вип. 4 (56). С. 5–14.
21. Гайда А. Ю. Модели и механизмы оперативного управления ресурсами портфеля проектов наукоемких предприятий: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.22. Национальный ун-т кораблестроения им. адм. Макарова. Н., 2014. 24 с.
22. Кнырик Н. Р. Управление портфелем проектов аутсорсинговой ИТ-компании на основе имитационного моделирования: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.22. Национальный ун-т кораблестроения им. адм. Макарова. Н., 2016. 22 с.
23. Мельников О. Н. Управление интеллектуально-креативными ресурсами наукоемких производств. М.: Машиностроение, 2004. 400 с.
24. Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами / пер. с англ. Мамонтова Е. В.; под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Компания АйТи, 2004. 472 с.
25. Танака Х. Комплексное управление мультипроектами в подрядных организациях. М.: ООО "Объединенная редакция", Управление проектами и программами, 2006. Вып. 2.
- otsenka. *Fundamentalnyie issledovaniya*. Moscow, vyp. 12 (chast 11), s. 2398–2402.
2. Naumenko, T. A. (2014) Organizatsiya zhiznennogo tsikla integratsionnogo innovatsionnogo protsessa obespecheniya razvitiya naukoemkogo proizvodstva v Ukraine. *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*. Kyiv, vyp. 19, s. 44–49.
3. Shtefan, V. I. (2007) Innovatsionnaya deyatelnost v nauchno-proizvodstvennykh integratsionnykh strukturah: teoriya, metodologiya, praktika: avtoref. dis....d-ra ekon. nauk. Voronezh, 47 s.
4. Chernova, L. S. (2014) Metody ta modeli zabezpechennia konkurenstnospromozhnosti proektno-orientovanykh naukomistkykh hazoturbinnnykh pidpriemstv: avtoref. dys.... kand. tekhn. nauk: 05.13.22. Natsionalnyi univ. korablebuduvannia im. adm. Makarova. Moscow, 22 s.
5. Kulikov, M. M. (2008) Analiz osobennostey funktsionirovaniya kompaniy nauchno-tehnicheskoy sferyi. *Konkurentosposobnost predpriyatiy i organizatsiy: sb. st. VI Vseros. nauch.-prakt. konf. (may 2008 g.)*. Penza, s. 144–146.
6. Ananshin, V. M. Innovatsionnyiyy menedzhment: ucheb. posobie. Moscow: Delo, 2003, 528 s.
7. Burkov, V. N., Bushuev, S. D., Voznyiy, A. M., Koshkin, K. V., Ryizhkov, S. S., Taknaka, H., Chernova, L. S., Sharmay, A. N. (2011) Sozдание i razvitie konkurentosposobnykh proektno-orientirovannykh naukoemkikh predpriyatiy: monografiya. N.: Izdatelstvo Torubaryi E. S., 260 s.
8. Varshavskiy, A. E. (2000) Naukoemkie otrasli i vyisokie tehnologii: opredelenie, pokazateli, ekonomicheskaya politika, udelnyiy ves v strukture ekonomiki Rossii. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii*. Moscow, Vyp. 2, s. 61–83.
9. Entsiklopediya «Tehnika» (2006) Moscow: Rosmen, URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/762/naukoyomkoe. Zagl. s ekrana.
10. Tsyigankov, V. A. (2010) Sistema upravleniya naukoemkim proizvodstvom. Omsk: Izdatelstvo OmGTU, URL: <http://www.studfiles.ru/preview/3584338/>, http://studopedia.ru/3_211706_vopros--otraslevaya-prinadlezhnost-predpriyatiy-i-otraslevaya-struktura-ekonomiki.html. Zagl. s ekrana.

References

1. Belyakov, G. P. (2014) Innovatsionnyiyy potentsial naukoemkogo predpriyatiya raketno-kosmicheskoy promyshlennosti i ego

11. Belyaev, Yu. S. (2007) Potentsial naukoemkogo sektora promyshlennosti v usloviyah ekonomiki perekhodnogo perioda. *Ekonomika i upravlenie*. S.Pb., Ch. 1, s. 179–186.
12. Mokeeva, E. V. (2011). Osobennosti naukoemkikh proizvodstv i spetsifika upravleniya sebestoimostyu naukoemkoy produktsii. *Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa*. Volgograd, Vyp. 1 (14), s. 78–81.
13. Chernov, S. K. (2007) Effektivnyie organizatsionnyie strukturyi v upravlenii programmami razvitiya naukoemkikh predpriyatiy: dis.... d-ra nauk: 05.13.22. Natsionalniy univ. korablebuduvannya im. adm. Makarova. Moscow, 339 s.
14. Vasileva, L. N. (2005) Metodyi upravleniya innovatsionnoy deyatel'nostyu: uchebnoe posobie. Moscow: KNORUS, 320 s.
15. Velihov, E. P. (2007) Promyshlennaya politika. Innovatsii. Massovyye informatsionnyie tehnologii. Otechestvennyie sistemoobrazuyushchie kompanii. Moscow: Energoizdat, 99 s.
16. Kovalenko, I. I. (2007) Ekspertnyie otsenki v upravlenii innovatsionnyimi proektami: ucheb. posobie. Nikolaev: NUK, 168 s.
17. Kovalenko, I. I. (2002) Stsenarniy podhod v analize innovatsionnykh proektov: monografiya. Nikolaev: UGMTU, 61 s.
18. Rukovodstvo po upravleniyu innovatsionnyimi proektami i programmami (2009): T. 1, versiya 1.2. Pod red. S. D. Bushueva. Kyiv: Naukoviy svit, 173 s.
19. Voznyiy, A. M., Dragomirov, V. V., Koshkin, K. V., Kazarezov, A. Ya., Fateev, N. V., Haritonov, Yu. N., Chernov, S. K. (2009) Modeli, metodyi i algoritmicheskoe obespechenie proektov i programm razvitiya naukoemkikh proizvodstv: monografiya. N.: NUK, 194 s.
20. Mazov, M. M. Analiz formuvannya portfelia proektiv metalurhiinoho pidpriemstva na osnovi stratehii staloho rozvytku. *Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytstva*. L., 2015. Vyp. 4 (56), s. 5–14.
21. Gayda, A. Yu. (2014) Modeli i mehanizmyi operativnogo upravleniya resursami portfel'ya proektov naukoemkikh predpriyatiy: avtoref. dis.... kand. tehn. nauk: 05.13.22. Natsionalniy univ. korablestroeniya im. adm. Makarova. N., 24 s.
22. Knyirik, N. R. (2016) Upravlenie portfelem proektov outsorcingovoy IT-kompanii na osnovе imitatsionnogo modelirovaniya: avtoref. dis.... kand. tehn. nauk: 05.13.22. Natsionalniy univ. korablestroeniya im. adm. Makarova. N., 22 s.
23. Melnikov, O. N. (2004) Upravlenie intellektualno-kreativnyimi resursami naukoemkikh proizvodstv. Moscow: Mashinostroenie, 400 s.
24. Archibald, R. (2004) Upravlenie vyisokotekhnologichnyimi programmami i proektami. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Kompaniya AyTi, 472 s.
25. Tanaka, H. (2006) Kompleksnoe upravlenie multiproektami v podryadnykh organizatsiyah. Moscow: OOO "Ob'edinnennaya redaktsiya", Upravlenie proektami i programmami, Vyp. 2.

O. Yu. Savina, graduate student of Department of project management
Admiral Makarov National University of Shipbuilding,
Heroes of Ukraine ave., 9, Nikolaev, 54025, Ukraine
e-mail: KsuSavina@yandex.ru

FEATURES OF SCIENCE-BASED ENTERPRISES AND THEIR PROJECTS MANAGEMENT PECULIARITIES

In the formation and development of innovative economy the science-based, high-tech industries and productions play the decisive role.

The aim of this issue is to identify and analyze the features of science-based enterprises, to define the problems and peculiarities of their projects management.

The problem of development of science-intensive production is particularly acute in Ukraine. Today the science-based manufacturing face to a significant downturn. Some of them are redeveloped for products of lower technological level, others are idle and lose their industrial capacity, without orders, and funds for renovation and maintenance. On the other hand, the potential of science-based

productions objectively represents the stabilizing factor of the anti-crisis development. The main goal of innovative science-based enterprises is to work at the implementation of projects for the development and production of high-tech and science-based products. The share of domestic exports of high-tech products in merchandise exports is only 2%, which is very little. The presence of a significant negative experience in project management in high-tech industries and science-based productions indicates the existence of problems requiring solutions. The task of improving the competitiveness of domestic enterprises is not only relevant, but also economically justified national economic task.

In this article the new basic approaches to identify the “science intensity” conception are analyzed. It was found that in order to create the perspective high-tech innovative competitive products the science-based enterprise should have core competencies. The types of science-based industries are considered, their characteristics and peculiarities are identified. The relevance of science-based production development is defined. The main characteristics and distinctive features of science-based enterprises are found and analyzed. The categorization of features of science-intensive enterprises, which allows to take into account the factors and criteria of formation and implementation of their projects, is proposed. The state and problems of science-based enterprises development is analyzed. On the basis of the science-based enterprise characteristics analysis, the categories of the science-based organizations projects are defined. Basic features of the projects of science-based companies and their management peculiarities are marked.

Further research is planned to be directed to provide a detailed analysis of the scientists work at portfolio management of science-based enterprises, determine the characteristics of the project portfolios of science-based enterprises and the specifics of their management.

Keywords: *project, science intensity, science-based enterprises, project management.*

*Рецензенти: Данченко О. Б., д.т.н., доцент,
Чернов С. К., д.т.н., професор.*

М. О. Чубенко¹, аспірант, проектний менеджер,
e-mail: chubenko.nikolay.mail@gmail.com

В. І. Семиног², аспірант, розробник програмного забезпечення «UAPAY»,
e-mail: vlad.seminog@gmail.com

О. Є. Іларіонов³, к.т.н., доцент
e-mail: oilarionov@gmail.com

¹ Маркетингове агентство «OSD GROUP», м. Київ; тел.: (096) 539-33-66;

² м. Київ; тел.: (063) 596-90-13

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ; тел.: (097) 818-83-07

ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ МЕТОДОЛОГІЙ SCRUM І KANBAN В ІТ-ПРОЕКТАХ

Розглянуті інноваційні методології управління ІТ-проектами SCRUM, KANBAN, виділені їх ключові особливості, характерні риси, окреслена зона ефективного застосування. Проведено аналіз основних завдань і виробничих вимог до мультифункціональних команд, визначений розподіл ролей її членів, та наведені механізми підвищення ключових показників ефективності, показано перетворення членів майбутньої команди у групу спеціалістів, що діють в рамках певної методології та здатні розв'язувати поставлені завдання.

Ключові слова: методологія гнучкої розробки, управління ІТ проектами, розробка програмного забезпечення, ітерація, спринт.

Постановка проблеми. Люди, які займаються управлінням проектами, добре знають, наскільки складно організувати зладжену роботу в рамках певного проекту або портфеля проектів. Відсутність розуміння між членами команди призводить до порушення плану, відставання від графіку, бюджет проекту роздувається, фінансові інвестиції та час використовуються нерационально. Також варто зауважити, що деякі задачі всередині процесів дублюються, команди використовують свої ресурси неефективно і часто не співпрацюють, а навпаки конфліктують, хоча, на перший погляд, переслідують однакові цілі. Крім цього, продукт після випуску часто може не задовольняти замовника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Такі проблеми породжувались традиційними або каскадними підходами до реалізації проектів, які пропонували поетапний рух до цілі. Такий підхід має масу недоліків в сучасних умовах, крім того, весь процес розробки проходить дуже повільно, часто з'являються непередбачувані труднощі і, більше того, часто відбувається так, що створюється продукт, який абсолютно не підходить замовнику.

Каскадні моделі передбачають використання графіків, на яких відображаються етапи робіт і час на їх виконання. Всі кроки детально описані і розмічені на шкалі. Такі графіки

називаються діаграмою Ганта, і передбачається, що кожна фаза проекту закінчується і плавно переходить в наступну, що і являє собою принцип каскаду, або водоспаду [1,3].

Плани, звісно, важливі в своїй суті, але не можливо слідувати їм повністю – частіше за все при впровадженні їх в реальне життя, графіки та плани просто “розсипатимуться”.

З удосконаленням функціоналу, який інтегрується в програмне рішення, з'явилася необхідність оперативних змін в структурі проекту. Це виявилось вигідно як розробникам, так і замовнику. Перші отримали можливість оптимізувати свій продукт, виробляти його швидше і якісніше, нехай і невеликими частинами, а другі – адаптувати під свої потреби, бачити швидкі результати і можливість контролювати бюджет проекту, шляхом оплати за вже готові блоки.

Тому, опція додавати в роботу можливість змін, відкриттів та нових ідей, що і відбувається в гнучких методологіях управління проектами Scrum і Kanban, має досить суттєве значення.

Метою даної статті є використовуючи сучасні гнучкі підходи та методики, показати можливість їх застосування на ранніх етапах проекту, що дасть змогу вчасно реагувати на побажання замовника, і виключає створення не потрібного йому продукту або функціоналу.

Виклад основного матеріалу. Підвищення складності проєктів, використання нових технологій вимагають створення комплексних команд. Вони складаються з різних спеціалістів, які працюють поруч один з одним.

Команда проєкту – це певна чисельність людей, які працюють разом для досягнення спільної мети, і підпорядковані керівникові (менеджеру) проєкту. Команда проєкту створюється на період реалізації проєкту, а після його завершення – розпускається.

Робота у команді може поєднати людей таким чином, що вони підвищують продуктивність своєї праці, не втрачаючи своєї індивідуальності (наприклад оркестр). Командна робота має синергійний ефект, коли опрацьовуються різні пропозиції, надається конструктивна допомога одним членам команди з боку інших, що сприяє досягненню більш високих результатів.

Scrum. Слово Scrum (сутичка) запозичене з гри в регбі. Воно «позначає» метод командної гри, що дозволяє заволодіти м'ячем, і вести його далі по полю, а для цього потрібні злагодженість, єдність намірів і чітке розуміння мети. "Сутичка" являє собою ідеальну модель повного взаємодії гравців. І це саме те, що потрібно для успішної командної роботи. Переважна більшість практиків, які застосовують гнучкі методології, формують спільну думку, що SCRUM це сукупність методів розробки і управління, гармонічно поєднаних між собою, в основі яких лежать принципи виробничої ітеративності, що дозволяють замовнику частіше отримувати певний робочий функціонал в рамках розробки проєкту. Також необхідно зазначити «простоту» і інформативність такого підходу, високий рівень комунікації всіх учасників, та відсутність обтяжуючої проєктної документації. Ітеративна розробка, в кінці якої створюється готовий до використання продукт, застосовується в усіх гнучких методологіях. Але в Scrum добре реалізований процес збору функцій і їх розподіл по ітераціях. Спірний момент – відсутність жорстко заданого розподілу ролей і обов'язків в команді. Принцип «всі відповідальні за все» працює далеко не завжди, навпаки, чіткий розподіл ролей дозволяє концентруватися співробітникам лише на тих роботах, де вони можуть принести максимум користі. Як і багато інших гнучких методологій, Scrum вимагає наявності представника

замовника або представника ринку. У обох випадках все не так добре, як описується в методології. Замовник не завжди може визначити, що саме йому потрібно, а часта зміна вимог лише уповільнює роботу [7].

Також можна стверджувати, що Scrum - це набір принципів, на яких будується процес розробки, який дозволяє в короткі проміжки часу (спринти), надавати кінцевому користувачеві робоче програмне забезпечення з додатними можливостями, для яких був визначений найбільший пріоритет. Потрібний функціонал для реалізації в черговому спринті визначається до його початку на етапі планування і не може змінюватися на протязі всього спринта. При цьому жорстко фіксований не великий термін спринта додає процесу розробки гнучкості (рис. 1).

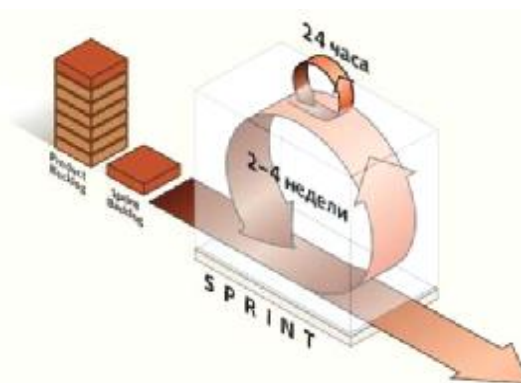


Рис. 1. Схема процесу Scrum

Scrum являється найбільш поширеним наслідувачем гнучкої методології розробки програмного забезпечення.

В даній методології на кожен спринт виділяється наступний склад команди:

1. Скрам Майстер (Scrum Master)
2. Замовник або Власник продукту (Product owner).
3. Команда (Team).

Скрам Майстер (Scrum Master) - одна з найважливіших ролей в методології. Він являється з'єднуючою ланкою між менеджментом та командою. Як правило цю роль отримує менеджер проєкту.

Основними обов'язками Скрам Майстра є: створити атмосферу довіри, прибирати перепони, відповідати за дотримання практик і процесу в команді. Також Скрам Майстер проводить зібрання кожного дня (Daily Scrum meeting) і слідкує за прогресом команди використовуючи список задач спринта (Sprint Backlog).

Замовник або власник продукту (Product Owner) – це людина яка відповідає за розробку продукту. Як правило, це менеджер продукту або представник замовника, якщо це аутсорс продукт.

Замовник – це єдина точка прийняття кінцевих рішень для команди в проекті, тому важливо щоб це була людина, а не група чи комітет. Замовник повинен відповідати за формування і бачення продукту, керувати рентабельністю, керувати очікуваннями замовників і всіх зацікавлених осіб, координувати і розставляти за пріоритетами потік задач, взаємодіяти з командою і замовниками. Замовник ставить задачі команді, але він не повинен ставити задачі конкретному члену команди [4].

Команда (Team). В методології Scrum команда є самоорганізованою та самокерованою.

Команда бере на себе обов'язки по виконанню задач перед Замовником. Основні обов'язки команди:

- відповідати за оцінку задач;
- приймати рішення по імплементації та дизайну;
- розробляти програмне забезпечення;
- відповідати за результат перед замовником;

Розмір команди обмежується розміром групи людей яка може ефективно комунікувати між собою особисто, тому стандартний розмір команд – 7-9 людей.

Також, в команді знаходяться люди з різними навиками, які потрібні для виконання проекту – розробники, тестувальники, аналітики. Не існують заздалегідь визначені і поділені ролі в команді, які б визначали область відповідальності та обов'язків.

Команда являється самоорганізованою одиницею, що дозволяє їй гнучко та швидко реагувати на будь-які можливі задачі. Також для команди важливою є комунікація, тому переважно всіх членів команди розміщують в одному місці, офісі чи кімнат, щоб зменшити або прибрати перешкоди в спілкуванні.

Scrum – це шлях постійного вдосконалення інструментів, тому в кінці кожного спринта учасники збираються на ретроспективу, на якій розповідають про виконану роботу і обговорюють що добре, а що можна покращити. Вони знаходять основні проблеми і обдумують як їх можна вирішити і прибрати в наступному спринті. Це і є постійне вдосконалення.

Так як Scrum відноситься до гнучких методологій, тому досвід його впровадження на практиці надзвичайно різноманітний, це дозволяє виділити основні особливості:

Ідеальні умови для Scrum: гнучкі терміни і бюджет, клієнт який розуміє суть цього підходу і схвалює його, компетентний Product Owner і спрацьована професійна команда.

Скрам чудово підходить коли є розуміння, що продукт може розроблятися поетапно, коли не має чіткого розуміння, що потрібно, але клієнт хоче отримати в кінці те що йому потрібно, а не те що вийшло. Коли необхідний швидкий запуск проекту (спочатку з обмеженим функціоналом), є розуміння які складові і пріоритети в проекті змінюватимуться в процесі розробки.

Скрам передбачає роботу за фреймворком. Це безперервний циклічний та енергійний процес, який перешкоджає застою в команді. Він дозволяє зменшувати невизначеність в вимогах до мінімуму, дає можливість детального прототипування та підвищує внутрішню прозорість процесів.

Зрозуміло, що Scrum – не інструкція по роботі над тим чи іншим конкретним проектом. Це форма, в яку кожна компанія і кожна команда вносить свій зміст, стикаючись з різними підводними каменями методики по ходу її впровадження. Scrum досить простий у вивченні, дозволяє економити час, за рахунок оптимізації активностей. Це дозволяє отримати потенційно робочий продукт в кінці кожного Sprint'a. Scrum робить упор на багатфункціональність команди, яка здатна вирішувати необхідні завдання без бюрократизації та надмірних часових втрат [10]. Це особливо привабливо для малих компаній і стартапів, оскільки позбавляє від необхідності наймати спеціалізований персонал керівників. Але в той же час не потрібно робити із скраму культ і сліпо слідувати всім формальним пунктам та вимогам, це лише різновид гнучких підходів до управління проектами, який передбачає модифікацію під різні вимоги проекту, або навіть взаємодію з іншими підходами, наприклад такими як Kanban.

Kanban. Методологія бере свій початок на виробничих лініях компанії TOYOTA, яка на початку 50-х років XX століття активно почала запроваджувати систему так званого «ощадливого виробництва» за принципами, які показують, що потрібно виробляти, коли і скільки [2].

На той час класична схема мала на увазі виробництво комплектуючих, вузлів і агрегатів, які поставлялися різними підрозділами а іноді й підприємствами не зв'язаними між собою. До прикладу, перед фінальним комплектуванням автомобіля могли пройти тижні або навіть місяці. Ризик полягав у тому, що у разі помилки, допущеною тим чи іншим виробничим підрозділом, збитки від бракованих деталей були колосальні. Рятівною і ключовий тут була ідея створення єдиного потоку, тобто процесу, де немає простою від незавершених або неузгоджених завдань, відсутні паузи, спостерігається поступальний рух вперед. Виходить справжня естафета: завдання, передаються відповідальними сторонами чітко з рук в руки. У цьому випадку помилки попередньої стадії очевидні і виявляють себе миттєво. Це дозволяє уникнути безглузвих витрат, збільшує якість продукту, знижує вартість і скорочує терміни виконання [9].

Останнім часом, Kanban набирає велику популярність у виробництві програмного забезпечення різного напрямку. Деякі команди вважають цю методологію виключно корисною, деякі використовують за принципом «культу Карго». На основі проведеної аналітики можна стверджувати, що Kanban добре себе показує в командах підтримки, а саме:

- групи підтримки програмного забезпечення, де не важливий «план», але важлива швидкість реагування на зміни;
- групи тестування, що працюють окремо від груп розробки;
- служби підтримки;
- інші приклади «неосновних виробництв».

Окремо необхідно зазначити, що Kanban добре працює на стартапах, тобто там, де не має чіткого плану, але активно працюють над розробкою.

Розглянемо приклад використання KANBAN. Припустимо, перед нами звичайна ІТ-компанія, яка при виробництві застосовує ітеративну методологію, а для відстеження оперативної ситуації всередині використовується KANBAN дошка (рис. 2).

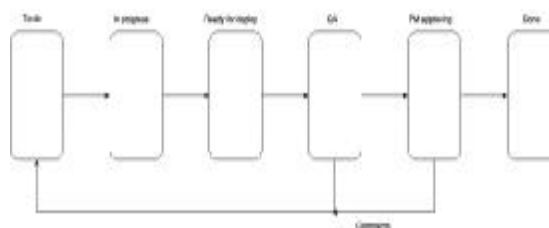


Рис. 2. KANBAN дошка

Колонка «To do» – показує кількість завдань в необхідних для виконання. «In progress» – завдання, які вирішуються в даний момент. «Ready for deploy» – завдання, які вже виконані, але не представлені в тестовому оточенні. «QA» – завдання в процесі тестування. «PM approving» – готові завдання проходять перевірку проектним менеджером. «Done» – виконані (завершені) завдання поточного спринту.

Процеси в спринті відбуваються наступним чином: взявшись до роботи, програміст перетягує завдання з колонки «To do» в «In progress». В цей момент часу він має тільки одну задачу, концентрується на її ефективного вирішенні, так як паралельне виконання завдань не допускається. Після закінчення своєї частини роботи, він перетягує її в колонку «Ready for deploy» [8].

Починаючи з цього моменту за справу береться відділ тестування. По досягненню ліміту завдань в цій колонці інженери-тестувальники ініціюють складання білда. Також допустимо просто попросити розробника зібрати білд або оновити сервер. При успішних результатах тестування завдання відправляється в колонку «PM approving», де отримує фінальне підтвердження і перетягується в останню колонку «Done». Якщо завдання не проходить тестування, вона знову потрапляє в колонку «To do» з відповідним коментарем.

Для побудови такого процесу необхідно, щоб у всіх членів команди були правильно налаштовані нотифікації. В такому випадку можна уникнути простою при переході завдань між виконавцями. [1,4].

Бувають випадки скупчення завдань у будь-якій з колонок. Це означає, що пропускної здатності на ділянці мало, потрібно знайти причину і вирішити її для запобігання критичного накопичення завдань.

Висновки. В результаті досліджень, отримані результати підтверджують, що переважна більшість практиків, які застосовують гнучкі методології, формують спільну думку, що SCRUM і KANBAN це сукупність методів розробки і управління, гармонічно поєднаних між собою, в основі яких лежать принципи виробничої ітеративності, що дозволяють замовнику частіше отримувати певний робочий функціонал в рамках розробки проекту. Також необхідно зазначити «простоту» і інформативність такого підходу, високий рівень

комунікації всіх учасників та відсутність обтяжуючої проектної документації [5, 6].

Запровадження гнучких методологій в управлінні ІТ проектами не дає швидкого результату. В першу чергу, вони направлені на зменшення рутинної роботи та проектної документації, маючи на меті збільшення ключових показників ефективності команди за рахунок надійності процесів на всіх етапах проекту, та дотримання встановлених термінів. Члени команди повинні бути готові до змін, і мати чітке розуміння навіщо вони їм. Як показують дослідження, через 5-6 місяців після імплементації гнучкої методології в команду вона починає приносити позитивний результат [11]. Це свідчить про те, що команда відпрацювала для себе комфортні алгоритми роботи, комунікації проходять відповідно до розуміння тих завдань, котрі покладені на команду, а вимоги замовника виконуються без спотворень і згідно обговорених цілей. Поступове впровадження результатів дослідження в деяких компаніях дозволило оптимізувати процеси управління командою ІТ проектів, що відбилося в зменшенні вартості їх реалізації та зниженні рівня збитку від неузгодженості дій всередині проектів, що призвело до їх своєчасного завершення і отримання кінцевих результатів встановленого рівня якості.

Список літератури

1. Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность; пер. с нем. С.Пб.: Питер, 2003. 864 с.
2. Laing Samantha and Hryvs Karen. Growing agile: a coach's guide to training Scrum
3. Verheyen Gunther. Scrum – a pocket guide.
4. Книберг Хенрик. Scrum и XP: заметки с передовой.
5. Шегда А. В. Менеджмент: навч. посіб. Київ: Т-во «Знання», КОО, 2002. 583 с.
6. Томпсон А. А. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии: учебник для вузов; пер. с англ., под ред. Л. Г. Зайцева., М. И. Соколовой. Москва: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. 576 с.
7. Сазерленд Д. Scrum. Революционный метод управления проектами. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 288 с.
8. Кон М. Гибкая разработка ПО. Москва: Вильямс, 2011. С. 576.
9. Трус А. А. Психология. Минск, 2015. 348 с.
10. Демарко Том. Deadline. Роман об управлении проектами. Москва: Вершина, 2006.
11. Чубенко М. О. Основні принципи Agile методологій. *Інформаційні технології та взаємодії (IT & I): III Міжнародна науково-практична конференція*.
12. Чубенко М. О. Особливості управління командами в ІТ проектах. *Українські перспективи у світовому розвитку: щорічна науково-практична конференція молодих учених*.

References

1. Hekhaufen, H. (2003) Motivation and activities. St. Petersburg: Peter, 864 p. [in Russian].
2. Laing, Samantha and Hryvs, Karen. Growing agile: a coach's guide to training Scrum
3. Verheyen, Gunther. Scrum – a pocket guide.
4. Knyberh, Henrik. Scrum and XP: notes from front line [in Russian].
5. Szegda, A. V. (2002) Management. Kyiv: T-vo "Znannya", KOO, 583 p. [in Russian].
6. Thompson A. A. (1998) Strategic management. The art of strategy development and implementation. Moscow: Banki i birzhy, UNITI, 576 p. [in Russian].
7. Sutherland, D. (2016) Scrum. Revolutionary method of project management. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 288 p. [in Russian].
8. Cohn, M. (2011) Flexible software development. Moscow: Williams, p. 576. [in Russian].
9. Trus, A. A. (2015) Psychology. Minsk, 348 p. [in Russian].
10. DeMarco, Tom (2006) Deadline. A novel about project management. Moscow: Ver-shyna [in Russian].
11. Chubenko, M. O. Basic principles of Agile methodologies. *III International scientific-practical conference "Information technologies and interaction" (IT & I)* [in Ukrainian].
12. Chubenko M.O. "Features of team management in IT projects", *Annual scientific conference of young scientists "Ukrainian prospects in world development"* [in Ukrainian].

M. O. Chubenko¹, *PhD student, project manager,*
e-mail: chubenko.nikolay.mail@gmail.com

V. I. Seminoh², *PhD student, software developer «UAPAY»,*
e-mail: vlad.seminog@gmail.com

O. Ye. Ilarionov³, *PhD, associate professor*
e-mail: oilarionov@gmail.com

¹ Marketing agency «OSD GROUP», Kyiv; tel.: (096) 539-33-66;

² Kyiv; tel.: (063) 596-90-13;

³ Kyiv National University named after Taras Shevchenko; tel. (097) 818-83-07

THE USE OF SCRUM AND KANBAN FLEXIBLE METHODOLOGIES IN IT PROJECTS

Considered innovative IT project management methodology SCRUM, KANBAN, highlighted their key features, typical features, delineated area of effective application. In recent years especially noticeable a change vector requirements for the formation of teams in IT projects. Obviously, today, the implementation of complex business projects require a large number of unique knowledge and tools. A project manager, in turn, have to manage a group of different professions, with different levels of qualification and which may present as internal business units and be invited to the project team from the outside. In such circumstances, the question arises organically combine the skills and creative potential production teams to improve their performance efficiency to achieve certain goals. The difficulty lies in the transformation of the future team members in a group of specialists, operating under certain methodologies and are able to solve tasks.

Keywords: *Agile methodology, management of IT projects, software development, iteration, sprint.*

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

С. О. Видря, студент,

Я. С. Голуб, магістр

Черкаський державний технологічний університет

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

e-mail: sergiosv0113@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИТУАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В УПРАВЛІННІ ІТ ПРОЕКТАМИ

В статті розглядаються питання ситуаційного управління проектом в сфері інформаційних технологій. Розробка та впровадження на підприємствах в різних галузях промисловості інтелектуальних інформаційних технологій є важливим аспектом в процесі розвитку та вдосконалення, що забезпечує підвищення ефективності. Проаналізувавши характер і розглянувши особливості проектів впровадження інформаційних технологій, автори пропонують застосування методів ситуаційного аналізу в управлінні проектами. Авторами побудовано та досліджено діаграму ситуацій та на основі неї запропоновано процедуру вибору оптимального набору рішень досягнення цілі, що забезпечить ефективну реалізацію проекту впровадження інформаційних технологій.

Ключові слова: ситуаційне управління, ІТ проект, діаграма ситуацій, прийняття рішення.

Вступ. Першочерговою вимогою до виробництва є забезпечення гнучкості, мобільності, універсальності при забезпеченні високої продуктивності виробництва, тобто вимога швидкості і адекватності прийняття рішень, а також їх реалізації відповідно стратегіям зовнішнього оточення та внутрішньої динаміки для своєчасного досягнення запланованих стратегічних показників [1]. Тому важливим є розробка та впровадження на підприємствах в різних галузях промисловості інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ), які дозволяють оперативно здійснювати управління виробництвом при змінюванні ресурсів та продукції, а також реалізуються через концепцію ІТ проекту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проекти в сфері інформаційних технологій характеризуються рядом особливостей, зокрема недетермінованістю, активністю, наявністю та зміною багатьох цілей, тісним взаємозв'язком організаційних та технологічних процесів. Тому в ході реалізації таких проектів важливого значення набуває дослідження неоднозначних ситуацій, що є непередбачуваними по своїй суті та вимагають врахувати досить нові та складні фактори, які в різному ступені визначають успішність проекту. При цьому застосовується метод ситуаційного управління, що забезпечить контроль реалізації ІТ проекту.

Ситуаційне управління досліджується в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених Ладанюка А. П. [2], Гребенника І. В. [3] Борисова В. В. [4], Юдіцкого С. А. [5], Кульби В. В. [6]. ІТ проектам присвячені роботи Теслі Ю. М. [7], Flyvbjerg В. [8]. Однак, застосуванню методів ситуаційного управління при реалізації ІТ проектів, що забезпечить можливості контролю та підвищення ефективності управління ІТ проектом, не приділено достатньо уваги.

Метою даної статті є застосування методів ситуаційного управління при реалізації ІТ проекту, що забезпечить підвищення ефективності управління ІТ проектом та підприємством в цілому в різних галузях промисловості.

Викладення основного матеріалу дослідження. Прийняття рішень на передінвестиційній фазі ІТ проекту є більш простим, однак теоретично менш точним та не враховує неоднозначні ситуації, які можуть вплинути на хід реалізації проекту в майбутньому, а також нові та складні фактори, що в різному ступені визначають успішність проекту [9]. Впродовж реалізації інвестиційної фази ІТ проекту важливим є визначити та охарактеризувати поточну ситуацію, а також перевірити реалізовані стратегічні рішення, що визначають раціональні шляхи досягання цілей ІТ проекту, на відповідність отриманим реальним результатам. Дані завдання потребують залучення додаткових методів.

Такі властивості проекту як наявність альтернативних варіантів на доінвестиційній фазі, можливість опису типових проектних ситуацій, якісний характер техніко-економічних показників ефективності проекту дають можливість застосування нечіткого ситуаційного підходу, використовуючи методику [10] побудови й аналізу спеціального графа - дерева, названого діаграмою ситуацій.

Вершини графа, що зображуються прямокутниками, відповідають виникаючим в ході управління ІТ проектом ситуаціям - характеристикам його стану. Корінь дерева позначає вихідну (початкову) ситуацію. До верхньої сторони прямокутників підходять стрілки, що позначають цілі, досягнення яких може виправити негативні сторони ситуації (ситуаційні цілі). Дуги, що виходять із ситуаційної вершини, відповідають альтернативним рішенням по досягненню цих цілей.

Приклад діаграми ситуацій даний на рис.1 (ситуації, ситуаційні цілі і рішення позначені відповідно S_i, C_j, R_k).

Діаграма ситуацій розроблюється з використанням одного з експертних методів, а саме методом „інтелектуального штурму” із залученням фахівців-експертів в даній галузі. У ході розробки для кожної ситуації, починаючи з вихідної S_0 , виконується наступна процедура:

- обговорюється та аналізується текстовий опис ситуації і формулюються ситуаційні цілі, що направлені на її покращення;
- намічаються альтернативні рішення по виконанню ситуаційних цілей;
- наносяться на діаграму (у вигляді вершин, інцидентних кінцям дуг) і описуються ситуації, що відображають результати рішень;
- обговорюються ситуації – результати і з їх числа вилучаються свідомо неприйнятні (закреслюється їхнє позначення S_i). Для залишених ситуацій процедура повторюється.

Розглянемо більш детально сказане щодо ІТ проекту. Слід зазначити, що головним елементом ІТ проекту є так званий елемент “часу придатності”. Тобто впроваджена інформаційна система має бути гнучкою до зміни факторів навколишнього середовища. В інформаційній системі повинно бути передбачено можливості зміни внутрішнього та зовнішнього середовища підприємства, впроваджений проект повинен використовуватися досить довгий час, не дивлячись на навколишні зміни як на підприємстві, так і поза ним.

В ході реалізації ІТ проекту прийняття управлінських рішень реалізується на основі дослідження наскільки виконання процесу забезпечує досягнення поставленої цілі. В цьому випадку маємо ситуацію, що представляє собою реальний стан досягнення цілі. Якщо ціль не досягнена внаслідок виконання певної операції, то має місце проблема. Вироблення плану дій по усуненню проблеми складає сутність рішення задачі прийняття рішень в управлінні ІТ проектом.

Текстовий опис вихідної S_0 та суміжних з нею ($S_1, \dots, S_4$) ситуацій подано в табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця ситуаційних цілей

Позначення ситуаційної цілі	Опис ситуаційної цілі
C_1	Вибрати стратегію розвитку
C_2	Вибрати інвестиційну політику ІТ проекту
C_3	Вибрати напрям реалізації ІТ проекту
C_4	Вибрати методи підвищення ефективності ІТ проекту

Ситуаційні цілі C_j зазначені безпосередньо на рис. 1 та наведені в табл. 2. Альтернативні рішення R_k приведені в табл. 3.

Таблиця 2

Фрагмент таблиці ситуацій

Позначення ситуації	Опис ситуації
S_0	Підприємство знаходиться в тяжкому фінансово-економічному становищі, має неплатоспроможний баланс. Неефективна система управління, відсутні системи автоматизації виробництва, застаріле існуюче програмне забезпечення
S_1	Обсяг виготовленої продукції не зростає. Відсутність систем автоматизації виробництва призводить до втрат у виробництві.
S_2	Обсяг виготовленої продукції підвищився за рахунок зменшення перевитрати енергетичних та матеріальних ресурсів. Зменшено втрати у виробництві.

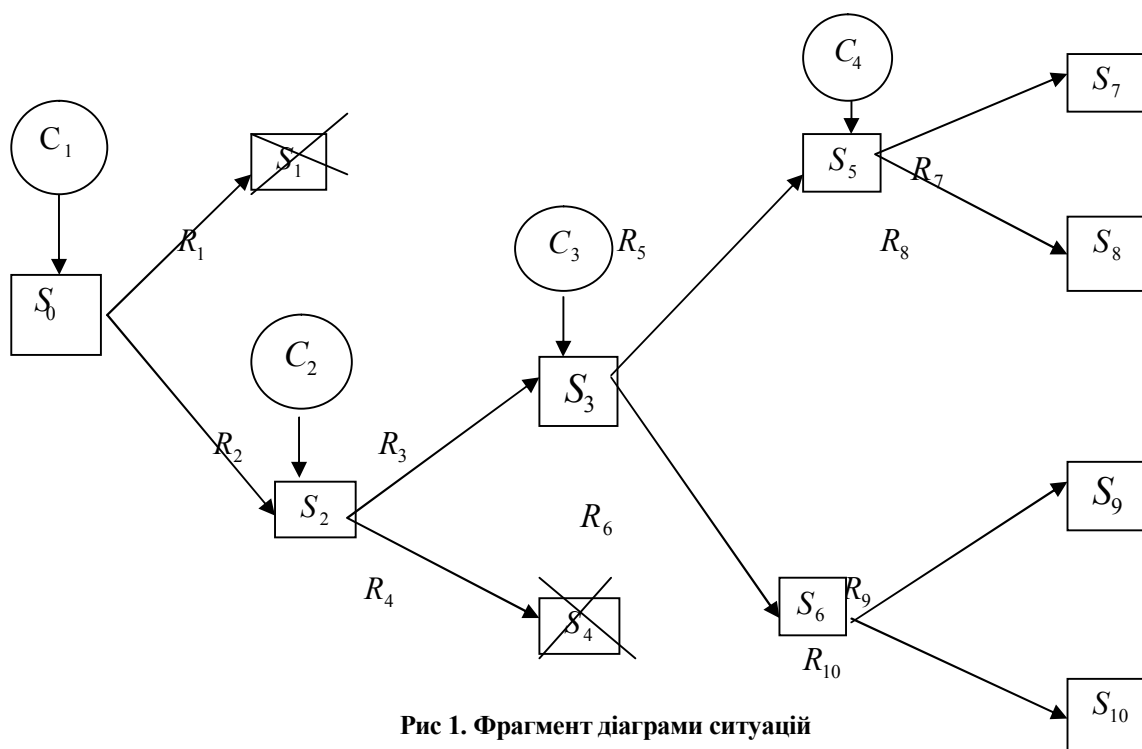


Рис 1. Фрагмент діаграми ситуацій

Таблиця 3

Фрагмент таблиці можливих рішень

Позначення рішення	Опис рішення
R_1	Екстенсивний процес виробництва та збереження тенденції, що склалася.
R_2	Мобілізація “внутрішніх” резервів підприємства та залучення інвесторів
R_3	Впровадження нової системи автоматизації виробництва, модернізація підприємства.
R_4	Збереження тенденції, що склалася, відносно існуючих на підприємстві систем автоматизації
R_5	Розширення, нарощування автоматизованих функцій управління, ввід в дію додаткових програмних і технічних засобів.
R_6	Реконструкція, створення нових та заміна діючих програмних та технічних комплексів, застосування нових методів та засобів реалізації автоматизованих функцій

Між рішеннями R_1 та R_2 досягнення цілі c_1 забезпечується рішенням R_1 , тому варіант R_2 залишаємо як альтернативний. В ситуації S_2 (що характеризує досягнення цілі c_2) були запропоновані рішення R_3 і R_4 , але R_4 розглядається як альтернативне у випадку, якщо реалізація рішення R_3 не дасть бажаного результату.

Як видно з рис.1, після проведеної "редукції" дерева залишилося чотири шляхи, що ведуть з початкової ситуації в кінцеві. Кожен шлях, відповідає визначеному набору рішень. Виберемо з них оптимальний набір з погляду макроцілей E_j , що визначають підвищення ефективності підприємства (табл. 4). Процедура вибору ілюструється табл. 5, рядки якої відповідають наборам рішень B_i , а стовпці — макроцілям E_j .

Таблиця 4

Опис макроцілей

Ім'я	Опис макроцілі.
E_1	Досягнути максимальної ефективності функціонування підприємства.
E_2	Досягнути максимального збуту кінцевої продукції.
E_3	Досягнути максимального прибутку.

Кожній макроцілі E_j привласнюється пріоритет (вага чи бал) α_j , що характеризує її важливість серед інших макроцілей. Ступінь досягнення макроцілі E_j при наборі рішень B_i оцінюється експертом величиною $x_{ij} \in [-1, +1]$, де плюс означає наближення до мети, а мінус - віддалення від неї. Якщо всі оцінки позитивні, то знак опускається. Чисельне значення оцінки x_{ij} , що визначає ступінь впливу B_i на E_j , знаходиться в межах $0 \leq x_{ij} \leq 1$ і

вибирається на основі прийнятих угод, наприклад: $x_{ij} = 0$ при відсутності впливу B_i на E_j , $x_{ij} = 0,1$, коли воно дуже слабке; $x_{ij} = 0,3$ - при слабкому впливі; $x_{ij} = 0,5$ у випадку помірного (середнього) впливу; $x_{ij} = 0,7; 0,9$ і 1 відповідно при сильному впливі; дуже сильному й абсолютному. Експертна оцінка x_{ij} проставляється в табл. 5 на перетинанні рядка B_i і стовпця E_j .

Таблиця 5

Вибір оптимального набору рішень

Ім'я набору	Кінцева ситуація	Структура набору	Макроцілі виробничого процесу та ваги (бали)			Індекс досяжності макроцілей
			$E_1/5$	$E_2/3$	$E_3/4$	
B_1	S_7	(A_2, A_3, A_5, A_7)	0,2	0,2	0,5	3,6
B_2	S_8	(A_2, A_3, A_5, A_8)	0,5	0,6	0,7	7,1
B_3	S_9	(A_2, A_3, A_6, A_9)	0,8	0,8	0,7	9,2 !
B_4	S_{10}	(A_2, A_3, A_6, A_{10})	0,2	0,2	0,5	3,6

Для кожного рядка (набору рішень) B_i обчислюється індекс досяжності макроцілей I_i :

$$I_i = \sum \alpha_j x_{ij}, \quad (1)$$

який вказується в крайньому праворуч стовпці табл. 5. Набір з максимальним значенням індексу виділяється знаком !. У нашому випадку це набір рішень

$$B_3 = (A_2, A_3, A_6, A_9).$$

Висновки. В результаті ситуаційного аналізу встановлюється сукупність наборів рішень, що дають можливість досягнення поставлених цілей. Розроблена діаграма ситуацій забезпечує гнучкість ІТ проекту, можливістю зміни окремих його складових, тим самим полегшуючи взаємодію між складовими проекту. Індекс досяжності макроцілей дає можливість кількісно встановити зв'язок між розробленою множиною рішень та цілями ІТ проекту, а також забезпечує вибір оптимального набору рішень.

Список літератури

1. Прокопенко Т. О. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: [монографія]. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2015. 224 с.
2. Ладанюк А. П., Шумигай Д. А., Бойко Р. О. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа. *Проблемы управления и информатики*. 2013. № 4. С. 117–122.
3. Гребенник И. В. Моделирование влияния внешней среды на эффективность плана выполнения работ. *Системы обработки информации*. 2003. № 4 (26).
4. Борисов В. В., Зернов М. М. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. № 1. С. 18–30.
5. Юдицкий С. А., Мурадян И. А., Желтова Л. В. Анализ слабоструктурированных проблемных ситуаций в организационных

- системах с применением нечетких когнитивных карт. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2008. № 3. С. 54–62.
6. Кульба В. В., Кононов Д. А., Ковалевский С. С. и др. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. Институт управления им. В. А. Трапезникова РАН. М., 2002. 220 с.
 7. Тесля Ю. М., Котетунов В. Ю. Концептуальная модель конвейерной организации управления портфелями проектов. *Бизнес Информ*. 2015. № 3. С. 92–98.
 8. Flyvbjerg B., Budzier A. Why your IT project may be riskier than you think. *Harvard Business Review*. 2011. Vol. 89, no. 9. P. 601–603.
 9. Прокопенко Т. О., Олейникова Т. Ю. Модель стратегічного управління проектом в сфері малого бізнесу. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 1. 6 (49). С. 26–28.
 10. Юдицкий С. А. Моделирование операционных и предметных потоков при реформировании бизнес-систем. *Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика*. 2002. № 5. С. 71–76.
 3. Grebennik, I. V., Habarov, A. U. (2003) Modelling of outer environment influence on the effectiveness of works execution plan. *Sistemy obrabotki informacii*. No. 4 (26) [in Russian].
 4. Borisov, V. V., Zernov, M. M. (2009) Realization of contingency approach based on fuzzy hierarchical situation-event network. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatiye resheniy*. No. 1, pp. 18–30 [in Russian].
 5. Udickii, S. A. Muraldyan, I. A. and Geltova, L. V. (2008) The analysis of semistructured problem situations in organizational systems using fuzzy cognitive charts. *Pribory i sistemy. Upravleniye, control, diagnostika*, (3), pp. 45–62 [in Russian].
 6. Kylba, V. V., Kononov, D. A., Kovalevskii, S. S. et al. (2002) Scenary analysis of the dynamics of social and economic systems behaviour. *Instityt upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN*. Moscow, 220 p. [in Russian].
 7. Tesla, Yu. M., Kotetunov V. Yu. (2015) Conceptual model of conveyor organization of project portfolios management. *Biznes Inform*, (3), pp. 92–98 [in Russian].
 8. Flyvbjerg, B., Budzier, A. (2011) Why your IT project may be riskier than you think. *Harvard Business Review*, 89, No. 9, pp. 601–603.
 9. Prokopenko, T. O., Oleynikova, T. Yu. (2011) The model of strategic project management in small business. *Vostochno-evropeyskyy zhurnal peredovyh technology*. No. 1, 6 (49), pp. 26–28 [in Ukrainian].
 10. Yuditsky, S. A. (2002) Modeling of operational and subject flows in the process of business systems reform. *Pribory i sistemy. Upravleniye. Control. Diagnostika*, No. 5, pp. 71–76 [in Russian].

References

S. O. Vydrya, student,
Ya. S. Holub, student
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
sergiosv0113@ukr.net

APPLICATION OF SITUATIONAL ANALYSIS METHODS IN IT PROJECTS MANAGEMENT

The article discusses the main questions with the situational project management in the field of information technology. Development and implementation of the enterprises in various industries intelligent information technology is an important aspect in the development and improvement that enhances efficiency. The authors analyzed the nature and characteristics of information technology projects. The authors propose application of situational analysis in project management.

In the article the authors constructed a chart situations characterized situations, purposes and solutions.

After analyzing and considering the chart situations set of solutions that make it possible to achieve their purposes. Developed chart situations provides the flexibility IT project, the possibility of changing some of its components, thereby facilitating interaction between the components of the project. Index macro purpose reach makes it possible to quantify a link between developed multiple solutions and IT objectives of the project and provides a choice of optimal set of solutions.

Keywords: *situational management, IT project, chart situations, decision.*

*Рецензенти: Прокопенко Т. О., д.т.н., доцент,
Данченко О. Б., д.т.н.*

О. Р. Денчик¹, аспірант,
e-mail: oksanadenchuk@gmail.com

Д. І. Бедрій², к.т.н.
e-mail: dimi7928@gmail.com

С. О. Савченко³, магістр
e-mail: savcsavchenko@meta.ua

¹ Університет економіки та права «КРОК»
вул. Лагерна, 30-32, м. Київ, 03113, Україна

² Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»
вул. Буніна, буд. 31, м. Одеса, 65026, Україна

³ Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ПРОЕКТІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

В роботі запропоновано застосовувати проектний підхід в агропромисловому комплексі. Проведено аналіз ризиків в проектах агропромислового комплексу. Ідентифіковано ризики в проектах агропромислового комплексу, проведено кількісний аналіз ризиків сільськогосподарських проектів в тваринництві, зокрема в свинарстві, залежно від розміру підприємств, а також розглянуті шляхи зменшення ризиків та наслідків від них. Визначено основні фактори ризикованості аграрного сектору та розроблено рекомендації щодо їх зниження.

Ключові слова: проект, метод, ризик, управління ризиками, проекти агропромислового комплексу, ризики в свинарстві.

Постановка проблеми. Сільське господарство є пріоритетною галуззю національного господарювання України. Стратегія входження до світових торгових організацій, посилення процесів глобалізації, лібералізації торгівлі вимагають швидкої адаптації до нових та постійно змінних умов ринку [1]. Спроможність своєчасно коригувати як початкові цілі та завдання, так і способи їх досягнення для сільського господарства є особливо важливим, так як поряд із звичайними чинниками ризику існують і специфічні галузеві ризики [2].

Управління ризиками в проектах великих сільськогосподарських підприємствах та корпораціях почали застосовуватися на практиці. Але невеликі підприємства й надалі не застосовують проектний підхід до ведення господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У своїх працях Кобилянська О. М. [3] вивчала вплив виробничих ризиків на діяльність сільськогосподарських підприємств, Колпакова Н. С. [4] – основні групи ризику реструктуризації та санації агроформувань, Литвинчук І. Л. [5] вивчав управління економічними ризиками корпоративних підприємств аграрної сфери, Матвієнко Г. А. [6] досліджувала процеси управління страховими ризиками та розробила пропозиції щодо удоскона-

лення управління ними при вирощуванні сільськогосподарських культур, Ніколюк О. М. [7] описала аспекти управління підприємницькими ризиками виробників хмелю.

У зв'язку зі збільшенням чисельності малих та середніх суб'єктів господарювання в агропромисловому комплексі виникає необхідність ідентифікувати, аналізувати ризики фермерських проектів з подальшою розробкою заходів щодо уникнення чи зменшення ризиків в цій сфері.

Мета статті. В даній статті пропонується ідентифікувати та проаналізувати ризики сільськогосподарських проектів в тваринництві, зокрема в свинарстві, залежно від розміру підприємств, а також розглянути шляхи зменшення ризиків та наслідків від них.

Виклад основного матеріалу. Виконання сільськогосподарських проектів, як і будь-яких інших, не можливе без урахування ризиків.

Управління ризиком (Risk Management) можна визначити як мистецтво і науку аналізу ризику з подальшою організацією заходів, які дозволяють найкращим чином, з точки зору цілей проекту, ліквідувати або мінімізувати ризик.

Управління ризиком передбачає [8]:

1) використання всіх можливих (допус-

тимих з моральної та правової точок зору) засобів для того, щоб уникнути чи знизити ступінь ризику, що пов'язаний із значними (катастрофічними) збитками;

2) контроль ризику, коли немає можливості уникнути його цілком (якщо це суттєвий ризик), оптимізація ступеня ризику, чи максимально можливе зниження обсягів та ймовірності можливих збитків;

3) свідоме прийняття (збереження) чи навіть збільшення ступеня ризику у випадку, коли це має сенс.

Методологія управління ризиком визначає розмах і глибину заходів, які вживаються щодо контролю ризиків [9].

Процеси управління ризиками включають в себе наступні етапи [10]:

1) планування управління ризиками. В результаті планування управління ризиками ми повинні отримати План управління ризиками. Це документ, котрий описує загальні підходи до управління ризиками в проекті, їх класифікацію, способи ідентифікації та реагування;

2) ідентифікація ризиків – визначення того, які ризики можуть вплинути на проект, та документальне оформлення їх характеристик.

Вхідні данні для проведення ідентифікації ризиків: фактори навколишнього середовища підприємства, активи організаційного процесу, зміст проекту, план управління ризиками, план управління проектом.

Інструменти та методи: огляди документації, методи збору інформації, контрольний аналіз, аналіз припущень, методи побудови діаграм, експертний метод.

На виході отримуємо реєстр ризиків.

3) якісний аналіз ризиків – розташування ризиків за ступенем їх пріоритету для подальшого аналізу або обробки шляхом оцінки та сумування вірогідності їх виникнення та впливу на проект;

4) кількісний аналіз ризиків – це процес проведення кількісного аналізу впливу ризиків на цілі проекту.

5) планування реагування на ризики - це процес розробки шляхів і розробки плану дій по збільшенню можливостей та зменшенню загроз для цілей проекту.

6) моніторинг та управління ризиками являє собою процес реагування на ризики, відстеження виявлених ризиків, контролю остаточних ризиків, ідентифікації нових ризи-

ків та оцінки ефективності управління ризиками протягом проекту.

Виробництво, маркетинг, фінанси, інституції і людина є найбільш поширеними джерелами ризику в проектах сільського господарства [11, 12].

Стратегічні ризики є найбільш руйнівними для всіх проектів, аналізуються з точки зору перспектив розвитку компанії і визначаються ймовірністю втрат в довгостроковій перспективі. Вони можуть проявлятися, як наявність помилкової «самосвідомості» фірми, помилкових оцінок її стратегічного потенціалу і стратегічних пріоритетів.

Виробничі ризики тісно пов'язані з погодними умовами, шкідниками та хворобами як тварин, так і рослин, а також пов'язані з технікою, обладнанням та програмним. До виробничих ризиків також відносимо неефективне використання сировини, зростання собівартості, впровадження нових методів виробництва.

Фінансові ризики включають в себе зростання та спадок вартості капіталу, валютні ризики (експорт/імпорт), дебіторська заборгованість (сумнівні борги), ризик недостатньої ліквідності, неможливість отримання кредитування, інвестиційні ризики (недоотримання інвестиційних ресурсів для реалізації проектів, ймовірність виникнення фінансових втрат при здійсненні інвестиційної діяльності підприємства).

Інституційний ризик являє собою ризик, що пов'язаний з непередбачуваними змінами в рамках політики держави (сільськогосподарської та іншої), які впливають на виробничі та / або маркетингові рішення і, в підсумку, негативно впливають на фінансовий результат проекту. Наприклад, бажання держави виступати регулятором ринку (ліцензування, квоти, мита, податки). Інституційні ризики включають також ризик укладання контрактів, наприклад, ризик порушення договору [13].

Кадрові або особисті ризики, пов'язані із смертністю, хворобами або травмами трудових ресурсів проекту. Ці ризики є загальними для всіх бізнес-операцій і співробітників. Дефіцит кваліфікованих робітників та текучість кадрів, пов'язана в першу чергу з небажанням молоді працювати на фермі, через низький соціальний статус та низьку оплату праці.

Маркетингові ризики пов'язані зі зміною попиту, із недостатньо детальними мар-

кетинговими дослідженнями в проектах сільськогосподарства.

Зміна цін знаходяться поза контролем будь-якого фермера. Вартість сільськогосподарської продукції залежить від пропозиції товару, попиту на продукцію та вартості виробництва. Цю групу ризиків можна віднести до ринкових.

Собівартість виробництва одиниці продукції залежить від кількості понесених витрат і одержаного рівня врожаю. Ця взаємодія робить даний показник дуже змінним. Хоча виробничі витрати мають тенденцію бути менш мінливі, ніж ціни на готову продукцію, а в поєднанні з виходом продукції (врожайністю/продуктивністю), зміни собівартості продукції стають серйозним джерелом ризику [14].

Іноді цінові рухи мають сезонні або циклічні тенденції, які можна передбачити. Проте, пропозиція або попит часто змінюються несподівано і, в свою чергу, впливають на ринкову ціну. Коли фермери садять культури або виділяють ресурси для тваринництва, вони роблять це не знаючи напевно, які ціни вони отримають за свою продукцію пізніше.

Більш детально розглянемо ризику та їх вплив на проекти в тваринництві, а саме на проекти по виробництву продукції свинарства.

Свинарство є традиційною галуззю агропромислового комплексу України. Споживання продукції свинарства займає значну долю в раціонах українців. Виробництво свинини є найбільш розповсюдженим видом ведення господарювання, в цій галуззі задіяні, як великі агрохолдинги, середні та малі підприємства, так і сімейні господарства. На малі суб'єкти ринка припадає приблизно половина всього виробництва м'яса свиней [15].

Управління ризиками хоч і є дуже значною частиною ведення господарювання, але малі та середні суб'єкти господарювання у свинарстві, на жаль, не знайомі з проектним підходом. Тому виникає необхідність описати та надати рекомендації по ризик-менеджменту саме для них.

Всі вище перераховані види ризиків є загальними для всіх аграрних підприємств, але сила та наслідки від них є неоднаковими для різних за розміром господарств.

Корпоративні структури в аграрній сфері володіють недоступним для інших учасників економічних відносин спектром переваг, зокрема економією на масштабах придбання засобів виробництва; можливістю сіль-

ськогосподарської продукції виступати заставою для несільськогосподарської діяльності і навпаки; підвищенням оперативності і маневреності використання виробничих, кадрових і фінансових ресурсів; спрощенням і раціоналізацією процесу узгодження інтересів учасників об'єднання; зниженням ризику від погодних умов завдяки просторовій диверсифікації виробництва; розширенням можливості комбінування виробництва та видів діяльності та згладжуванням сезонності використання матеріальних ресурсів і робочої сили [5].

Малий та середній бізнес більш залежний від змін середовища ніж корпоративні структури в аграрній сфері.

За допомогою експертного методу був проведений кількісний аналіз основних ризиків для різних за розміром (великих та малих) господарств по виробництву продукції свинарства (табл. 1).

Згідно Господарського кодексу України [16], суб'єкти господарювання залежно від кількості працюючих та доходів від будь-якої діяльності за рік можуть належати до суб'єктів малого підприємництва, у тому числі до суб'єктів мікропідприємництва, середнього або великого підприємництва.

Суб'єктами мікропідприємництва є:

- фізичні особи, зареєстровані в установленому законом порядку як фізичні особи - підприємці, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) не перевищує 10 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності не перевищує суму, еквівалентну 2 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України;

- юридичні особи - суб'єкти господарювання будь-якої організаційно-правової форми та форми власності, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) не перевищує 10 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності не перевищує суму, еквівалентну 2 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України.

Суб'єктами малого підприємництва є:

- фізичні особи, зареєстровані в установленому законом порядку як фізичні особи - підприємці, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) не перевищує 50 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності не перевищує суму, еквівалентну 10 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України;

- юридичні особи - суб'єкти господарювання будь-якої організаційно-правової форми та форми власності, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) не перевищує 50 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності не перевищує суму, еквівалентну 10 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України.

Суб'єктами великого підприємництва є юридичні особи – суб'єкти господарювання

будь-якої організаційно-правової форми та форми власності, у яких середня кількість працівників за звітний період (календарний рік) перевищує 250 осіб та річний дохід від будь-якої діяльності перевищує суму, еквівалентну 50 мільйонам євро, визначену за середньорічним курсом Національного банку України.

Інші суб'єкти господарювання належать до суб'єктів середнього підприємництва.

Таблиця 1

Кількісна оцінка ризиків для різних господарств по виробництву свинини

№ п/п	Найменування ризику	Усереднена імовірність виникнення ($0 \div 1$)		Усереднений вплив на реалізацію проекту ($0 \div 1$)	
		Великі	Середні та малі	Великі	Середні та малі
1.	Стратегічні ризики				
1.1.	Помилкової «самосвідомості» фірми	0,4	0,5	0,8	0,8
1.2.	Помилкового визначення пріоритетів	0,3	0,5	0,8	0,8
1.3.	Помилкової оцінки перспектив розвитку ринку	0,2	0,5	0,8	0,8
2.	Виробничі ризики				
2.1.	Погодні негоди	0,4	0,4	0,6	0,6
2.2.	Хвороби тварин	0,3	0,4	0,6	0,8
2.3.	Несправність техніки, обладнання	0,2	0,3	0,4	0,6
2.4.	Постачання	0,2	0,2	0,4	0,3
2.5.	Низької якості сировини	0,2	0,4	0,4	0,6
2.6.	Впровадження інновацій	0,3	0,1	0,3	0,8
3.	Фінансові ризики				
3.1.	Коливання вартості капіталу	0,2	0,2	0,4	0,6
3.2.	Курсове коливання	0,2	0,1	0,3	0,1
3.3.	Дебіторська заборгованість	0,4	0,1	0,7	0,1
3.4.	Недоступність кредитів	0,1	0,8	0,3	0,1
3.5.	Недостатня ліквідність	0,5	0,5	0,2	0,8
3.6.	Недоотримання інвестицій	0,3	0,9	0,7	0,1
3.7.	Інвестиційна діяльність	0,5	0,1	0,5	0,8
4.	Інституційні ризики				
4.1.	Зміна політики	0,2	0,2	0,5	0,2
4.2.	Податковий	0,2	0,2	0,6	0,8
4.3.	Квотування, ліцензування	0,2	0,2	0,5	0,2
4.4.	Порушення договорів	0,3	0,1	0,5	0,7
5.	Кадрові ризики				
5.1.	Особистий (смерть, хвороба)	0,1	0,2	0,3	0,8
5.2.	Брак кваліфікованих кадрів	0,2	0,4	0,4	0,4
5.3.	Текучість кадрів	0,2	0,2	0,3	0,4
6.	Ринкові ризики				
6.1.	Коливання попиту	0,3	0,3	0,4	0,8
6.2.	Коливання ціни	0,3	0,3	0,4	0,8
6.3.	Повільної адаптації до змін	0,1	0,4	0,2	0,8

Оцінка важливості ризиків, тобто пріоритетності для обробки здійснюється за допомогою матриці імовірності. Тому, наступним кроком є аналіз даних табл. 1 з подальшим визначенням, до якого типу ризику відносяться зазначені ризики, і представлення їх у вигляді табл. 2 та 3. Згідно даних табл. 2, видно, до яких типів ризиків можна віднести ризики проектів великих господарств:

- високі ризики – 1.1; 1.2; 1.3; 2.1; 3.3;
- помірні ризики – 2.2; 2.3; 2.4; 2.5; 3.1; 3.7; 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 5.2; 6.1; 6.2;
- низькі ризики – 2.6; 3.2; 3.4; 3.5; 5.1; 5.3; 6.3.

Проаналізувавши матрицю ризиків для великих господарств по виробництву продукції свинарства, можна зробити висновок, що високими ризиками для проектів таких госпо-

дарств є стратегічні ризики (ризик помилкової «самосвідомості» фірми, ризик помилкового визначення пріоритетів, ризик помилкової оцінки перспектив розвитку ринку), а також виробничий ризик (погодні умови) та фінансовий ризик (дебіторська заборгованість). До помірних відносяться такі ризики: хвороби тварин, ризик постачання, проблеми якості сировини, коливання вартості капіталу, ризики інвестиційної діяльності, політичні, податкові, квотування, ліцензування, брак кваліфікованих кадрів, коливання попиту, коливання ціни. До низьких ризиків: ризики від впровадження інновацій, курсового коливання, недоступності кредитів, недостатньої ліквідності, текучості кадрів та ризик повільної адаптації до змін.

Таблиця 2

Матриця ризиків для великих господарств по виробництву свинини

Усереднена імовірність виникнення ($0 \div 1$)	Усереднений вплив на реалізацію проекту ($0 \div 1$)				
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$0,8 \div 1,0$					
$0,6 \div 0,8$					
$0,4 \div 0,6$	3.5		3.7;	2.1; 3.3	1.1
$0,2 \div 0,4$		2.6; 3.2; 5.3	2.3; 2.4; 2.5; 3.1; 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 5.2; 6.1; 6.2	2.2; 3.6; 4.2	1.2; 1.3
$0,0 \div 0,2$		3.4; 5.1; 6.3			

де

-  – зона помірних ризиків;
-  – зона високих ризиків;
-  – зона низьких ризиків.

Таблиця 3

Матриця ризиків для середніх та малих господарств по виробництву свинини

Усереднена імовірність виникнення ($0 \div 1$)	Усереднений вплив на реалізацію проекту ($0 \div 1$)				
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$0,8 \div 1,0$	3.4; 3.6				
$0,6 \div 0,8$					
$0,4 \div 0,6$			5.2	2.1; 2.5	1.1; 1.2; 1.3; 2.2; 3.5; 6.3
$0,2 \div 0,4$		2.4; 4.3	5.3	2.3; 3.1	4.1; 4.2; 5.1; 6.1; 6.2
$0,0 \div 0,2$	3.2; 3.3			4.4	2.6; 3.7

де

-  – зона помірних ризиків;
-  – зона високих ризиків;
-  – зона низьких ризиків.

Згідно даних табл. 3 видно, до яких типів ризиків можна віднести ризики проектів середніх та малих господарств:

- високі ризики – 1.1;1.2; 1.3; 2.1; 2.2; 2.5; 3.5; 4.1; 4.2; 5.1;6.1; 6.2; 6.3;
- помірні ризики – 2.3;3.1;5,2; 5.3;
- низькі ризики – 2.4; 3.2; 3.3; 3.4; 3.6; 4.3;4.4.

Таким чином, загальними високими ризиками для великих та малих господарств є всі стратегічні ризики та ризик погодних умов. Високими для малих є також ризики хвороби тварин, ризик неякісної сировини, недостатньої ліквідності, зміни політики, податковий, особистий (смерть, хвороба), повільна адаптація до змін, коливання попиту та коливання ціни. До помірних у малих та середніх ферм потрапили ризики пов'язані з технікою та обладнанням, коливання вартості капіталу, брак кваліфікованих кадрів та текучість кадрів. До низьких ризиків відносяться ризики пов'язані з постачанням, курсовими коливанням, дебіторською заборгованістю, недоступність кредитів, недотримання інвестицій, квотування та ліцензування та порушенням договорів.

Як видно, ті ризики, які для великих господарств потрапили в групу помірних та низьких, для малих суб'єктів господарювання є високими, так як вони є більш вразливі. Це показує нагальну необхідність в розробленні програм по підтримці та розвитку малого бізнесу не тільки в свинарстві, а й в інших галузях агропромислового сектору.

Для підтримки малих та середніх суб'єктів аграрного ринку, потрібно ввести декілька програм направлених на інтеграцію - об'єднання в форми кооперативів, спілок та інших форм спільної діяльності, що дозволить їм вирівняти шанси з агрохолдингами в доступі до державних дотацій, пільгових умов кредитування та страхування [17, 18], можливості виходу на біржі зі своєю продукцією та доступі до інноваційних технологій. Також пропонується створення дорадчих служб для малих та середніх сільськогосподарських підприємств таких як WODR в Польщі та DLG в Данії та інших країнах.

В Європі існує декілька програм по управлінню ризиками в агропромисловому комплексі [19]:

1. Підвищення ефективності боротьби з нестабільністю і невизначеністю доходів для сільськогосподарських ринків, незалежно від її джерела (виробничі або ринкові).

2. Введення нових інструментів управління ризиками: розширення обсягу субсидування на страхування ризику доходу; інтродукція IST (Income Stabilisation Tool).

3. Запровадження нових форм страхування безпосередньо не пов'язаних з виробничими результатами суб'єкту АПК – страхування індексове.

4. Зменшення технічних вимог для субсидії страхування (наприклад 30% збитків, формальне підтвердження факту).

5. Впровадження Програми Стабілізації Доходів (Revenue Stabilisation Scheme)- альтернатива для IST.

6. Створення нового кризисного фонду – Глобальний Фонд Ризик Менеджменту в АПК (Global Agricultural Risk Management Fund).

Застосування вище перерахованих інструментів дозволить ефективніше керувати ризиками в АПК.

Висновки. Основними факторами ризикованості аграрного бізнесу є: стратегічні ризики, сезонність виробництва; залежність від погодних та кліматичних умов; тривалий період обігу капіталу; складність зміни асортименту продукції та технологій; жорстка обмеженість технологічного процесу в часових рамках; залежність від біологічних чинників; висока капіталоємність.

Корпоративні структури в аграрній сфері володіють недоступним для інших учасників економічних відносин спектром переваг.

Малі та середні суб'єкти господарювання в АПК є дуже вразливими до ризику. Для зменшення ризиковості ведення бізнесу ним запропонована інтеграція – об'єднання в кооперативи, спілки та інші форми спільної діяльності. Також пропонується створення дорадчих служб для малих та середніх сільськогосподарських підприємств таких як WODR в Польщі та DLG в Данії та інших країнах.

Перспективи асоціації України з ЄС визначають необхідність вивчення і інтродукцію програм ЕС по підтримці і розвитку села і сільського господарства як галузі, а також програми по управлінню ризиками в агропромисловому комплексі.

Список літератури

1. Стратегія розвитку аграрного сектору економіки України на період до 2020 року. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Режим доступу: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=10516/>. Дата звернення : 05 грудня 2016.
2. Денчик О. Р. Особливості управління ризиками для малих та середніх суб'єктів господарювання в аграрному комплексі. *Управління проектами : стан та перспективи: матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції* (13-16 вересня 2016 р., Миколаїв). Миколаїв: НУК, 2016. С. 48–50.
3. Кобилянська О. М. Виробничі ризики сільськогосподарських підприємств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)". К., 2011. 20 с.
4. Колпакова Н. С. Управління ризиками реформування агроформувань. *Економічні науки. Сер.: Облік і фінанси*. 2011. Вип. 8. С. 245–252.
5. Литвинчук І. Л. Управління економічними ризиками корпоративних підприємств аграрної сфери: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)". Житомир, 2010. 20 с.
6. Матвієнко Г. А. Управління страховими ризиками при вирощуванні культур в сільськогосподарських підприємствах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)". Житомир, 2009. 20 с.
7. Николюк О. М. Управління підприємницькими ризиками виробників хмелю: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності)". Житомир, 2009. 20 с.
8. Данченко О. Б. Огляд сучасних методологій управління ризиками в проектах. *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. 2014. № 1 (49). С. 16–25.
9. Денчик О. Р. Порівняльний аналіз процесів управління ризиками в різних методологіях управління проектами. *Українські перспективи у світовому розвитку: матеріали науково-практичної конференції* (Київ, 4 листопада 2016 р.). К.: Університет економіки та права «КРОК», 2016. С. 338–340.
10. Guide to the Body of Knowledge Project Management (PMBOK® Guide). The fifth edition. Project Management Institute, Inc. 2013. 614 p.
11. Nguyen N., Wegener M., Russell I., Cameron D., Coventry D. & Cooper I. Risk management strategies by Australian farmers: two case studies. *AFBM Journal*, vol. 4. Numbers 1 & 2: pp. 23–30.
12. Kahan D. Managing risk in farming. Rome: FAO, 2008. 107 p. Режим доступу: <http://www.fao.org/uploads/media/3-ManagingRiskInternLores.pdf/>. Дата звернення: 05 грудня 2016.
13. Hurduzeu G., Huidumac, C. & Hurduzeu, R. The most important agriculture risk. The risk culture. *Proceedings of the 7th International Management Conference "New Management for the New Economy"*, 7-8 November 2014. Bucharest, Romania, 2014. P. 413–418.
14. Денчик О. Р. Ідентифікація ризиків проектів в агропромисловому комплексі. *Управління проектами, програмами, портфелями: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції*. Т. 1 (16-17 грудня 2016 р., Одеса). Одеса: Бондаренко М. О., 2016. С. 38–40.
15. Державна служба статистики України. Тваринництво України 2015: статистичний збірник. Київ, 2016. Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua/>. Дата звернення: 05 грудня 2016.
16. Господарський кодекс України. Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/436-15>. Дата звернення: 05.12.2016.
17. Dubiel B. Ubezpieczenie jako metoda zarządzania ryzykiem w rolnictwie, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*

- nr 804, "Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia" nr 67, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin. 2014. S. 185–199.
18. Szymecka A. Ubezpieczenia gospodarcze jako instrument zarządzania ryzykiem w rolnictwie Doświadczenia wybranych państw Unii Europejskiej. *Przegląd Prawa Rolnego*. 2008. № 2 (4). S. 163–179.
 19. Zarządzanie ryzykiem we Wspólnej Polityce Rolnej. Fundacja programów pomocy dla rolnictwa. Режим доступу: <http://www.fapa.com.pl/gfx/cid/WPRpo2013/Zarz%C4%85dzanie%20Ryzykiem.pdf/>. Дата звернення: 05 грудня 2016.
- ### References
1. The development strategy of the agricultural sector of Ukraine for the period 2020 [Stratehiya rozvytku aharnoho sektoru ekonomiky Ukrayiny na period do 2020 roku], URL: <http://minagro.gov.ua/apk?nid=10516/> (accessed 05.12.2016).
 2. Denchyk, O. R. (2016) Features of risk management for small and medium business entities in the agricultural sector. In: *Materialy XII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi on Upravlinnya proektamy: stan ta perspektyvy*. Mykolayiv, NUK, pp. 48–50 [in Ukrainian].
 3. Kobylans'ka, O. M. (2011) Production risks of agricultural enterprises: the autor's thesis [Vyrobnychi ryzyky sil's'kohospodars'kykh pidpryyemstv: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk], K., 20 p. [in Ukrainian].
 4. Kolpakova, N. S. (2011). Risk management of agricultural units reforming [Upravlinnya ryzykamy reformuvannya ahroformuvan']. *Ekonomichni nauky. Ser.: Oblik i finansy*, vyp. 8. pp. 245–252 [in Ukrainian].
 5. Lytvynchuk, I. L. (2010) Managing by economic risks of corporate enterprises of agrarian sphere: the autor's thesis [Upravlinnya ekonomichnymy ryzykamy korporatyvnykh pidpryyemstv aharnoyi sfery: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk], Zhytomyr, 20 p. [in Ukrainian].
 6. Matviyenko, H. A. (2009), Management of insurance risks when growing crops in farms: the autor's thesis [Upravlinnya strakhovymy ryzykamy pry vyroshchuvanni kul'tur v sil's'kohospodars'kykh pidpryyemstvakh: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk], Zhytomyr, 20 p. [in Ukrainian].
 7. Nykolyuk, O. M. (2009), Managing business risks of hop producers: the autor's thesis [Upravlinnya pidpryyemnyts'kymy ryzykamy vyrobnykiv khmelyu: avtoref. dis. ...kand. ekon. nauk], Zhytomyr, 20 p. [in Ukrainian].
 8. Danchenko, O. B. (2014). Overview of modern risk management methodologies in projects [Ohlyad suchasnykh metodolohiy upravlinnya ryzykamy v proektakh]. *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnytstva: zb. nauk. prats*, 1 (49), pp. 16–25 [in Ukrainian].
 9. Denchyk, O.R. and Palyvoda, S. O. (2016) Comparative analysis of risk management processes in various project management methodologies. In: *Materialy naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: Ukrayins'ki perspektyvy u svitovomu rozvytku*. K., pp. 338–340 [in Ukrainian].
 10. Guide to the Body of Knowledge Project Management (PMBOK® Guide) (2013) The fifth edition. Project Management Institute, Inc. 614 p.
 11. Nguyen, N., Wegener, M., Russell, I., Cameron, D., Coventry, D. & Cooper, I. Risk management strategies by Australian farmers: two case studies, *AFBM Journal*, vol. 4, 1 & 2, pp. 23–30.
 12. Kahan, D., Managing risk in farming. URL: <http://www.fao.org/uploads/media/3-ManagingRiskInternLores.pdf/> (accessed 05.12.2016).
 13. Hurduzeu, G., Huidumac, C. & Hurduzeu, R. (2014) The most important agriculture risk. In: *the risk culture, proceedings of the 7th International Management Conference "New Management for the New Economy"*. Bucharest, Romania, pp. 413–418.
 14. Denchyk, O. R. (2016) Identification of risk projects in agriculture. In: *the 1st International scientific conference on the project management, programs, portfolios*. Odesa, pp. 38–40 [in Ukrainian].
 15. Livestock Ukraine 2015. Statistical

- Yearbook [Tvarynnystvo Ukrayiny 2015. Statystychnyy zbirnyk], URL: <http://ukrstat.gov.ua/>. (accessed 05.12.2016).
16. Economic Code of Ukraine [Hospodarskyi kodeks Ukrainy], URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/436-15> (accessed 05.12.2016).
 17. Dubiel, B. (2014) Ubezpieczenie jako metoda zarządzania ryzykiem w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego: Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, (804), pp. 185–199.
 18. Szymecka, A. (2008) Ubezpieczenia gospodarcze jako instrument zarządzania ryzykiem w rolnictwie Doświadczenia wybranych państw Unii Europejskiej. *Przegląd Prawa Rolnego*, 2(4), pp. 163–179.
 19. Zarządzanie ryzykiem we Wspólnej Polityce Rolnej. Fundacja programów pomocy dla rolnictwa, URL: <http://fapa.com.pl/gfx/cid/WPRpo2013/Zarz%c4%85dzanie%20Ryzykiem.pdf/> (accessed 05.12.2016).

O. R. Denchyk¹, *postgraduate student*,
e-mail: oksanadenchyk@gmail.com

D. I. Bedrii², *Ph.D.*,
e-mail: dimi7928@gmail.com

S. O. Savchenko³, *Master*
e-mail: savcsavchenko@meta.ua

¹ Economics and Law University «KROK»,
Lagera str., 30-32, Kyiv, 03113, Ukraine

² State Enterprise «Ukrainian Scientific Research Institute of Radio and Television»
Bunin str., 31, Odesa, 65026, Ukraine

³ Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PROJECT RISKS ANALYSIS IN AGRICULTURAL COMPLEX

Agriculture is the field of the national economy that takes the priority in Ukraine. The strategy of its joining to the world trade/business organizations, the intensification of the process of globalization, the liberalization of the trade require the prompt adaptation to the new and constantly changing market conditions. The ability to adjust in good time both initial aims with the corresponding tasks and the ways how to gain them are of the primary importance for agriculture because the specific industrial risks may exist at the same time with the ordinary factors of some risk. The risk management in the projects of large agricultural enterprises and corporations was used in practice. However, small enterprises aren't going to use the project approach in further.

The purposes of the research are to identify and analyze the risks of the agricultural projects in stock-breeding and in pig-breeding in particular depending on the size of the enterprise and also to examine the reducing of some risks and some consequences accordingly.

The implementation of the agricultural projects including any other ones is impossible without the risks' accounting. Risk Management may be defined like the art and science of the risk analysis with the following arrangement of some means that may eliminate or minimize the risk speaking about the project objectives. Production, marketing, financing, institutions and a man are the most widely spread risk resources in the agricultural projects.

The risks and their influence into the projects of the stock-breeding should be considered in details. The risks were identified and described for large, medium and small organizations. A quantitative analysis of some risks was carried out for the pig-production units different in size. The risks' importance evaluation meaning the priority for the pig-processing is carried out using the probability matrices.

All types of risks are common for all agricultural enterprises but the power and consequences aren't similar for the enterprises different in size. The corporate structures in the agricultural sector are the holders of some advantages inaccessible for other participants of the economic relations. Small and medium-sized individuals of the economic activity are very vulnerable for the risk. The integration in the form of Cooperative Association, unions and other forms of the joint activity is proposed to reduce some business risk. The establishment of the advisory services for small and medium-sized agricultural enterprises is also proposed.

Keywords: project, method, risk, risk management, agribusiness projects, risks in pig production.

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

А. А. Тимченко, д.т.н., професор*
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ТА МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ І ВЗАЄМОДІЙ. ЛІНІЙНІ СТАТИЧНІ СИСТЕМИ

Розглядається підхід до створення свого роду мови спілкування дослідника технічних систем з ЕОМ з наступним використанням т.зв. стандартизованого математичного (матричного) опису взаємозв'язків, який дозволяє формувати моделі лінійних статичних систем. При цьому використовується апарат теорії графів потоків сигналів.

Ключові слова: елемент, система, модель, задача, граф потоків сигналів, системний аналіз та системний підхід.

Вступ. Витоки задачі та структурного підходу. Зробимо деякий історичний екскурс з позицій системного аналізу до розгляду класичної технологічної послідовності наукового дослідження [1, 2]:

<синтез> → <аналіз> → <прийняття рішень>.

Система як об'єкт системного дослідження. Розглянемо технологію створення та дослідження систем як мережу зв'язаних елементів, де мережа зв'язків визначається як *структура*. Як відомо, на етапі створення систем з використанням фундаментальних законів фізики, механіки, електротехніки, електроніки та інших наук використовуються результати базових винаходів та експериментальних досліджень об'єктів. Наприклад, така практика існує при створенні т.зв. *об'єктів автономного функціонування* – ОАФ (транспортних засобів, роботоподібних систем, технологічних та енергетичних комплексів, можливих віртуальних структур та ін.).

Задачі побудови математичної моделі системи *вхід-вихід* як елемента. Результати обробки експериментальних досліджень, виконаних на базі різного роду аналогів та макетів, характеризують відповідні реакції конструкції на відповідні входи і дають можливість побудувати математичні моделі вхід-вихід у вигляді різного роду функціональних залежностей типу: *невідомий вихід системи є перетворення її входу, тобто:*

$$x = f(y), (1)$$

де x – вихід, y – вхід, $f()$ – оператор перетворення. Це можуть бути елементарні функції, в нашому випадку – лінійна залежність (наприклад, закон Ома – $u = Ri$):

$$x = c y.$$

Зауваження. Для більш складних випадків можуть бути використані залежності типу *поліномів* (наприклад *степеневого*): $x = \sum_{i=0}^n c_i y^i$, де можливо при заміні змінних y^i отримати знову лінійну залежність декількох змінних y_i , тобто $x = \sum_{i=0}^n d_i y_i$, $y_i = y^i$, де c_i , d_i – невідомі коефіцієнти (параметри), які знаходяться при обробці експериментальних даних; у лінійному випадку d_i визначається відповідно $d_i = \frac{x_i}{y_i}$.

Системний підхід до дослідження математичної моделі статичної системи. Розглянемо етапи створення системи:

<структура (будова)> → <функція (алгоритм, процес)> → <технологія (реалізація мети)>,

які базуються відповідно на процесах[3]:

<структуризації> → <алгоритмізації> → <цілеорієнтації>.

Задачі системних досліджень статичної системи як мережі зв'язаних елементів. Ясно, що основні перетворення в системі відбуваються в елементах, які, будучи зв'язаними, формують різні реакції системи на її виходи та визначають задачі.

* В підготовці статті до друку взяли участь: к.т.н., доцент **Андрієнко В. О.**, магістранти: **Жуковський О. О.**, **Чабан Ю. В.**

Елемент як система. Почнемо розгляд з опису перетворення одного елемента як об'єкта системного аналізу:

$$a x = b y. \quad (2)$$

Графічне зображення цього перетворення (граф потоків сигналів) надає можливість наочно проаналізувати та уточнити схему цього перетворення, $c = a^{-1} b$:

$$x = a^{-1} b y \quad , \quad (3)$$

де x – вихід елемента, y – його вхід,
 $c = a^{-1}b$, a, b – коефіцієнти перетворення (рис.
 1).

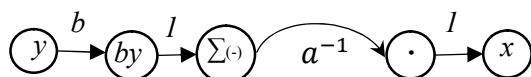


Рис. 1. Граф-схема елемента як системи

Для складних статичних систем існує опис у вигляді системи алгебраїчних рівнянь:

$$A \ X = B \ Y, \quad (4)$$

де $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $Y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ – вектори виходів та вхідів системи, $A=\{a_{ii}\}$, $B=\{b_{ii}\}$ – матриці коефіцієнтів, включаючи описи перетворення елементів системи та зв'язків між ними, які тут явно не виділені.

На етапі *структуризації* для побудови моделі системи на вибраному наборі елементів необхідно сформувати систему їх відношень (тобто задати *структуру* як мережі зв'язків), в результаті отримаємо її *поелементний опис*.

Система як матричний елемент. Формально розв'язання матричного рівняння для опи-

су вихід-вхід системи можна записати з використанням відповідно оберненої матриці:

$$X = A^{-1} B Y. \quad (5)$$

Топологічні властивості елементів матриці [4]. Використовуючи ці відомі властивості матриці відображати структуру системи, отримаємо відповідну залежність (5):

$$X = A_\rho^{-1}(B_\rho Y + B_3 Y - A_3 X), \quad (6)$$

де A_e, B_e – матриці коефіцієнтів перетворення
власне елементів, A_3, B_3 – матриці зв'язків.

Апарат графів потоків сигналів. Для подальшого аналізу цього виразу використаємо *графи* мезона та відобразимо графічне зображення відповідно послідовності (рис. 2):

<входи елементів>→<перетворення елементів>→
 →<виходи елементів>

для чого перепишемо матричне рівняння (4) в скалярному вигляді:

[illegible]

Відповідно до цього приведемо систему рівнянь (6) до скалярного вигляду:

[illegible]

де позначено $x_{1\Sigma} = (a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n)$,

$$y_{1\Sigma} = b_{11}y_1 + \cdots + b_{1n}y_n,$$

$$x_{n\Sigma} = a_{n1}x_1 + \cdots + a_{nn}x_n,$$

$$y_{n\Sigma} = b_{n1}y_1 + (b_{n2}y_2 + \cdots + b_{n-1}y_{n-1}).$$

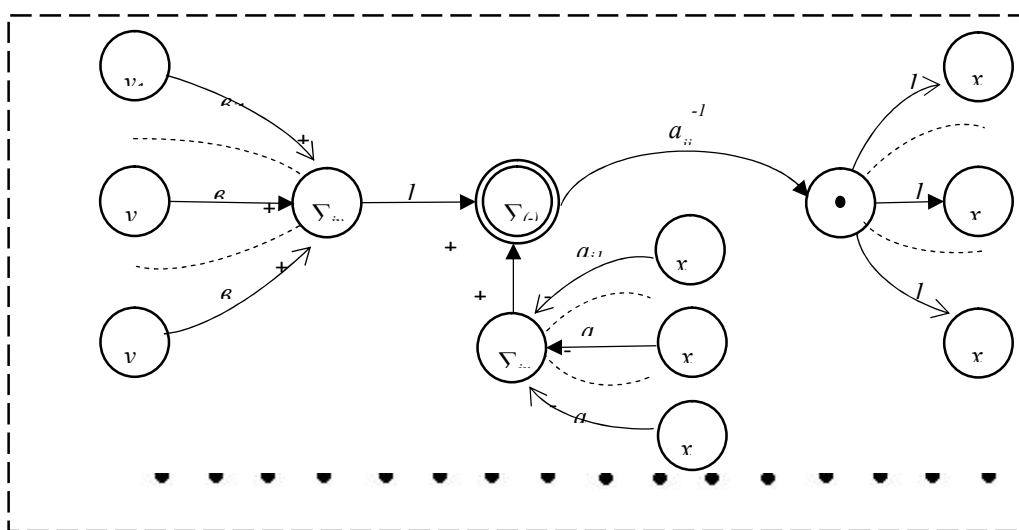


Рис. 2. Граф-схема сукупності з'єднаних елементів

Рівняння, алгебраїчно розв'язані відносно своєї головної змінної з виділенням відповідного перетворення a_{ii} , в круглих дужках, відображують зв'язки елементів як на входах, так і виходах. В квадратних дужках показано зв'язки на входах та виходах кожного з елементів. При більш уважному розгляді граф-схеми та виразу (7) доходимо висновку, що для опису системи:

$$\langle \text{входи} \rangle \rightarrow \langle \text{елементи} \rangle \rightarrow \langle \text{виходи} \rangle$$

необхідно ще додати опис з'єднань елементів відповідно на їх входах та виходах:

$$Y_E = S_{EC} Y_C, \quad X_C = S_{CE} X_E, \quad (8)$$

$$X_E = A_e^{-1} (B_e Y_E + B_3 Y_E - A_3 X_E) \quad (9)$$

(причому часто це можуть бути одиничні матриці).

Можливо на графах також відобразити використання методу отримання рівняння вхід-вихід системи, приводячи до виходу як вхідні, так і системні зв'язки, які дозволяють отримати опис системи як перетворення входу системи в її вихід.

Розглядаючи рис. 2, де відображені точки алгебраїчних сум, а саме:

- суми зв'язків на входах елементів;
- суми зворотніх зв'язків виходів;
- загальні суми на вході перетворення елементів, як прямих y_i , так і зворотніх x_i зв'язків, бачимо, що рівняння перетворення елементів можливо записати, використовуючи закон вузла, а саме:

сума виходів вузла дорівнює сумі його входів, тобто алгебраїчна сума сигналів вузла дорівнює нулю ($\sum y_i = 0$).

В результаті отримуємо знову компактний вигляд матричного опису – моделі системи, відомий як опис P, V, H – структур [5]:

$$X_C = S_{CE} X_E, \quad A X_E = B Y_E, \quad Y_E = S_{EC} Y_C. \quad (10)$$

Таким чином, отримавши результати та оцінивши їх відповідно до критеріальних системних оцінок на базі розрахунків, ми маємо можливість як параметри використати не тільки значення коефіцієнтів перетворень елементів, а також їхні структурні зв'язки.

Інколи це змушує повернутись на початковий етап синтезу структури системи (конструювання). І взагалі це призводить до використання т.зв. структурних перетворень на базі структурованих описів елементів. Для того щоб оцінити якість характеристик системи на першому етапі, необхідно оцінити як параметричні змінні – коефіцієнти елементів, а також зв'язки між ними. До речі, відсутність в кожному рівнянні «свого» зворотного зв'язку в описі елементів може свідчити про те, що елементи, в свою чергу, є також з'єднанням, наприклад, використанням внутрішнього зворотнього зв'язку, який дозволяє розподілити перетворення параметрів елементів відповідно як між прямими, так і зворотніми зв'язками. В кожному окремому випадку визначається дослідником з метою досягнення оптимальних системних характеристик [6, 7].

Системний аналіз основних структурних з'єднань. Задачі структурних з'єднань входять до класу структурних змін в системі, які можуть бути використані для корегування системних характеристик входу-виходу. Покажемо це з використанням структурної схеми моделі системи для опису виходів відповідно до двох елементів як залежностей (рис. 3):

$$\begin{cases} x_1 = \frac{a_{22} b_{11} y_1 - a_{12} b_{11} y_2}{a_{11} a_{12} - a_{12} a_{21}}, \\ x_2 = \frac{a_{11} b_{22} y_2 - a_{21} b_{11} y_1}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}}. \end{cases} \quad (11)$$

Ці функціональні залежності дають можливість досліджувати процеси в системі автономно в кожному каналі:

$$x_1 = f_1(y_1, y_2), \quad x_2 = f_2(y_1, y_2).$$

Структурний опис основних з'єднань елементів (паралельного, послідовного, зворотно-паралельного). З точки зору структурних з'єднань двох елементів опишемо всі їх види.

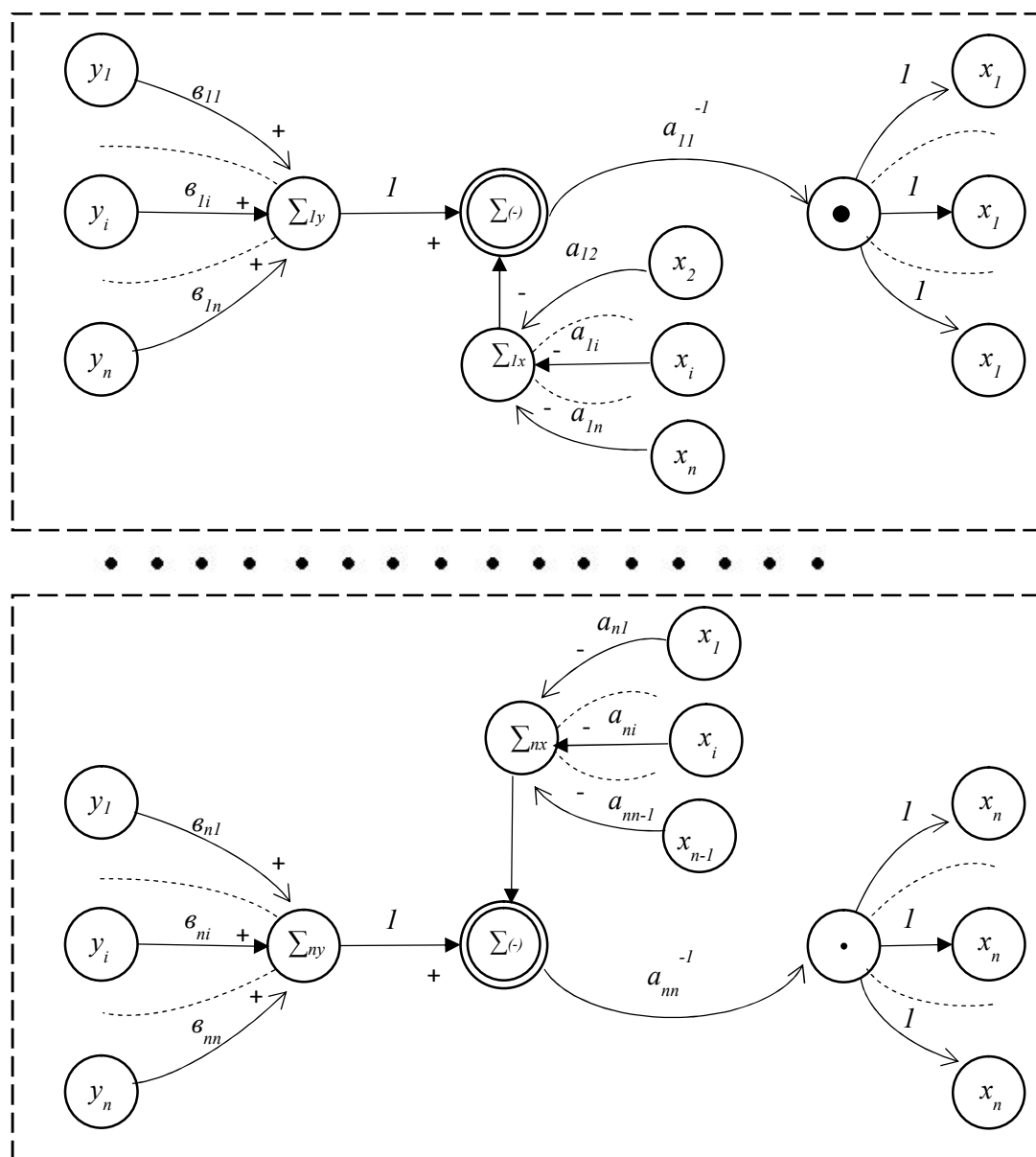


Рис. 3. Граф-схема системи як мережі зв'язаних елементів

Паралельне з'єднання (рис. 4). Відповідно паралельне з'єднання двох елементів на початковому етапі можливо сформулювати вербальний алгоритм з'єднання:

1. На входах кожного із елементів прирівняти їх відповідно між собою та системним входом.
2. Виходи елементів з'єднуються між собою та системним виходом.
3. Зв'язки описуємо як незалежні.

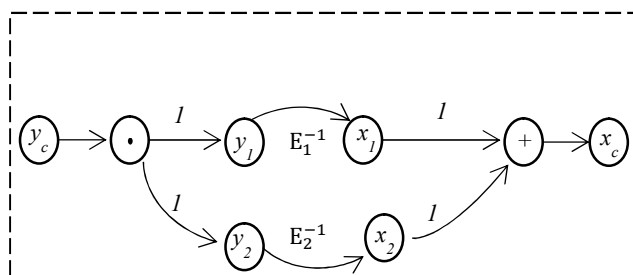


Рис. 4. Граф-схема паралельного з'єднання

Тоді можливо вищесказане записати детально відповідно як в скалярному:

$$x_1 = E_1^{-1} y_1, \quad y_1 = y_2 = y_c,$$

$$x_2 = E_2^{-1} y_2, \quad x_c = x_1 + x_2$$

так і в матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} E_1 & 0 \\ 0 & E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1c} \\ y_{2c} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} x_{1c} \\ x_{2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Використовуючи топологічні властивості матриць, при елементному описі можна формувати відповідні т.зв. вхідні та вихідні матриці, а також матриці перетворення елементів. Виключаючи при цьому проміжні змінні (тобто розв'язуючи цю систему алгебраїчних рівнянь), отримаємо рівняння вхід-вихід системи:

$$(E_1 + E_2)x_c = y_c.$$

Послідовне з'єднання. На вербальному рівні формулюється наступним чином (рис. 5).

1. Вхід першого елемента з'єднується з системним входом, а другого – з виходом першого.
2. Вихід другого елемента з'єднується з системним виходом.

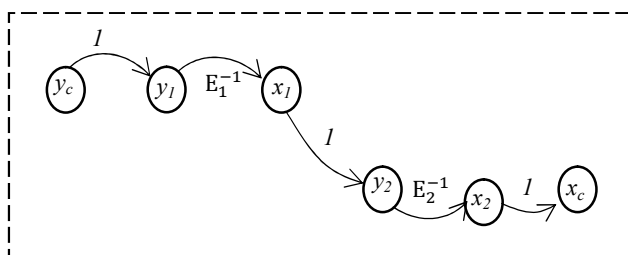


Рис. 5. Граф-схема послідовного з'єднання

Опишемо це з'єднання як систему поелементного опису (елементи і зв'язки окремо):

$$x_1 = E_1^{-1} y_1, \quad y_1 = y_c, \quad y_2 = x_1,$$

$$x_2 = E_2^{-1} y_2, \quad x_c = x_2.$$

або в матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} E_1 & 0 \\ 0 & E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1c} \\ y_{2c} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} x_{1c} \\ x_{2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Виключаючи при цьому проміжні змінні (тобто розв'язуючи цю систему алгебраїчних рівнянь), отримаємо рівняння вхід-вихід системи:

$$(E_1 * E_2)x_c = y_c.$$

Зворотньо-паралельне з'єднання (рис. 6).

На вербальному рівні запишеться:

1. На вхід першого елемента подаються два входи (через суматор) – зовнішній (системний) і внутрішній (вихід другого елемента чи елементів).
2. На вхід другого елемента подається вихід першого.
3. На системний вихід подається вихід другого елемента.

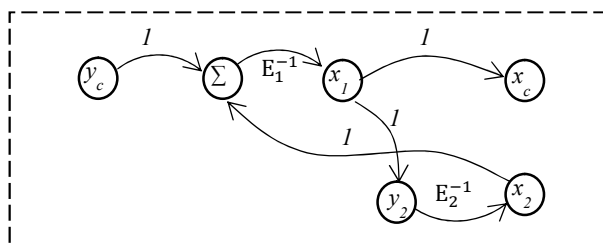


Рис. 6. Граф-схема зворотньо-паралельного з'єднання

Опишемо це з'єднання:

$$x_1 = E_1^{-1} y_1, \quad y_1 = x_2 + y_c, \quad y_2 = x_1,$$

$$x_2 = E_2^{-1} y_2, \quad x_c = x_1.$$

або в матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} E_1 & 0 \\ 0 & E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{1c} \\ y_{2c} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} x_{1c} \\ x_{2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Ця сукупність з'єднаних елементів є системним з'єднанням. Якщо виключити проміжні змінні, отримуємо вхід-вихід системи:

$$(E_1 E_2 - 1) x_c = E_1 E_2^{-1} y_c.$$

Маючи структуровані перетворення вхід-вихід, переходимо до системних представлень того чи іншого виду з'єднання, а саме:

$$\tilde{A}X = \tilde{B}Y, \quad (15)$$

де $\tilde{A} = (A, B)$, $\tilde{B} = (\tilde{A} \quad \tilde{B})$.

Таким чином, ми знову отримуємо матричне рівняння виду:

$$A X = B Y,$$

яке по формі відповідає (4).

На цьому етапі мова практично зводиться до одного елемента, тільки його вид описання відносно початкового буде структуровано з використанням матриць $A_i B_i$.

Можливі наступні дослідження функціонування системи, змінюючи як значення парамет-

рів матриць, так і структурних зв'язків, використовуючи їх для досягнення бажаних системних показників (6, 7).

Відомо (за А. Г. Івахненком), що між характеристиками елементів прямих і зворотних зв'язків існує залежність типу $N \rightarrow S$ (тобто елемент прямого зв'язку є оберненим зворотному зв'язку).

Підводячи підсумки, можна зробити наступне зауваження.

Зауваження.

1. Як бачимо, в основі досліджень лежать методи розв'язку систем алгебраїчних або матричних рівнянь. Вважаючи, що на сьогоднішні є достатні комп'ютерні програми, які дозволяють їх розв'язувати як в числовому, так і в функціональному вигляді, можливо використовувати елементи матриці як параметри [8].
2. Задаючи бажані системні характеристики, можливо розв'язувати задачі як структурного, так і параметричного синтезу, розглядаючи модель системи як мережі зв'язаних елементів.

Структурно-параметричний метод корекції системних характеристик.

Використання структурних перетворень для розвитку методу синтезу оптимальних характеристик вхід-вихід системи чи забезпечення інших системних властивостей (наприклад, автономності каналів, інваріантності відносно зовнішніх впливів, нечутливості відносно параметричних змін або традиційної стійкості станів). Нижче розглянемо підхід до використання методу параметричного синтезу.

Нехай на перших етапах проектування отримано об'єкт з відповідними характеристиками вхід-вихід:

$$E_0 x_0 = y_0, \quad x_0 = x_c \pm \varepsilon,$$

де x_0 – вихід, y_0 – вхід, E_0 – перетворення об'єкта як системи, x_c – бажана вихідна характеристика системи.

Виникає задача скоригувати перетворення системи, додавши до елемента E_0 інший елемент E_g , використовуючи один із видів з'єднання (паралельне, послідовне або зворотного-паралельне).

Паралельне з'єднання. Опишемо це з'єднання як систему поелементного опису (елементи і зв'язки окремо):

$$x_0 = E_0^{-1} y_0, y_c = y_0 = y_g,$$

$$x_g = E_g^{-1} y_g, \quad x_c = x_0 + x_g.$$

Виключаючи при цьому проміжні змінні (тобто розв'язуючи цю систему алгебраїчних рівнянь), отримаємо рівняння вхід-вихід системи:

$$(E_0 + E_g) x_c = y_c.$$

Використовуючи критеріальну залежність

$$\chi = [\varepsilon = x_c - x_0 = \emptyset],$$

отримаємо

$$(E_0^{-1} + E_g^{-1}) y_c - E_0^{-1} y_0 = 0,$$

звідки

$$E_g^{-1} y_c = E_0^{-1} (y_0 - y_c),$$

або

$$E_g^{-1} = E_0^{-1} \frac{(y_0 - y_c)}{y_c}.$$

Послідовне з'єднання. Опишемо це з'єднання як систему поелементного опису (елементи і зв'язки окремо):

$$x_0 = E_0^{-1} y_0, \quad y_c = y_g, \quad y_0 = x_g$$

$$x_g = E_g^{-1} y_g, \quad x_c = x_0.$$

Виключаючи при цьому проміжні змінні (тобто розв'язуючи цю систему алгебраїчних рівнянь), отримаємо рівняння вхід-вихід системи:

$$(E_0 * E_g) x_c = y_c.$$

Використовуючи критеріальну залежність

$$\chi = [\varepsilon = x_c - x_0 = \emptyset],$$

отримаємо

$$(E_0^{-1} * E_g^{-1}) y_c - E_0^{-1} y_0 = 0,$$

звідки

$$E_g^{-1} = E_0^{-1} y_0 / y_c.$$

Зворотне паралельне з'єднання. Опишемо це з'єднання

$$x_0 = E_0^{-1} y_0, \quad y_0 = y_c + x_g,$$

$$x_g = E_g^{-1} y_g, \quad x_c = x_0,$$

ця сукупність з'єднаних елементів є системою. Якщо виключити проміжні змінні, отримаємо

$$E_g^{-1} = (E_0^{-1} E_g^{-1} - 1) y_c / E_0^{-1} x_c.$$

Основні висновки.

Проведений системний аналіз відомого матричного рівняння поелементного математичного опису лінійної статичної системи дає можливість порівняти його з відомим графічним

представленням у вигляді графів потоків сигналів (графів Мезона), по якому досить наочно можна використати т.зв. *вербальне представлення* про елементарні типи з'єднання – паралельного, послідовного та зворотно-паралельного.

Відносно зворотного переходу до матричного опису існує можливість використати відомий перший закон Кірхгофа про вузол потоків сигналів (аналогічного закону про алгебраїчного суму струмів вузла) – вона повинна дорівнювати нулю, тобто, як наслідок – існує рівність між тим, що надходить до вузла і тим, що виходить із нього.

В подальшому такий структурований опис дає можливість використати його для т.зв. структурного – параметричного синтезу по критерію оптимальності, інваріантності та автономності.

В подальшому можливе використання програмно-методичних комплексів для алгоритмізації процесів пошуку оптимальних характеристик.

Список літератури

1. Тимченко А. А. Структурний підхід до побудови моделей взаємозв'язків та взаємодії. *Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС-2016)*. Чернігів: ЧМТУ, 2016. С. 414–416.
2. Тимченко А. А., Ночевнов Д. П. Структурні перетворення системних з'єднань (послідовних, паралельних, зворотнопаралельних). *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2011. № 1. С. 20–26.
3. Тимченко А. А. Основи системного підходу: структуризація, формалізація, цілеорієнтація. *Інформаційні технології в освіті, науці, техніці (ІТОНТ-2012)*. Черкаси: ЧДТУ, 2012. Т. 1. С. 48–49.
4. Шатихин Л. Г. Структурные матрицы и их применения для исследования систем. Москва: Изд-во Машиностроение, 1974. 248 с.
5. Mesarovich, M. D. The control of multiavirable system. NewYork: Wily, 1960. 212 p.
6. Щипанов Г. В. Теория и методы проектирования автоматических регуляторов. *Автоматика и телемеханика*. 1939. № 1. С. 20–31.
7. Тимченко А. А. Системний підхід до синтезу нових законів керування. *Автоматика-2013: матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного керування*. Миколаїв: НУК, 2013. С. 284–285.
8. Дьяконов В. П. Mathematica 5.1/5.2/6.0. Программирование и математические вычисления. Изд-во ДМК Пресс, 2008. 76 с.

References

1. Timchenko, A. A. (2016) The structural approach to building relationships and interaction models. *Matematychna ta imitatsiynna modelyuvannya system (MODS 2016)*. Cherkniv: CMTU, pp. 414–416.
2. Timchenko, A. A., Nochevnov, D. P. (2011) Structural transformation system connections (serial, parallel, reverse parallel). *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universytetu*, No. 1, pp. 20–26.
3. Timchenko, A. A. (2012) Fundamentals of system approach, structuring, formalization, target orientation. *Informatsiyni tehnologiyi v osviti, nauksi, tehnitsi (ITONT 2012)*. Cherkasy: ChSTU, vol. 1, pp. 48–49.
4. Shatikhin, L. G. (1974) Structural matrices and their applications for systems research. Moscow: Izd-vo Mashinostroyeniye, 248 p.
5. Mesarovich, M. D. (1960) The control of multiavirable system. NewYork: Wily, 212 p.
6. Schypanov, G. V. (1939) The theory and designing methods of automatic regulators. *Avtomatika i telemehanika*, No. 1, pp. 20–31.
7. Timchenko, A. A. Systematic approach to the synthesis of new laws control. *Avtomatyka 2013: Proceedings of the XX International Conference on Automatic Control*. Nikolaev: NUS, pp. 284–285.
8. Dyakonov, V. P. (2008) Mathematica 5.1/5.2/6.0. Programming and mathematical calculations. Izd-vo DMK Press, 576 p.

A. A. Timchenko, *Dr.Tech.Sc., professor*
Cherkassy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine

SYSTEM ANALYSIS OF PROCESSES AND MODELS. LINEAR STATISTICS.

The approach to the creation of a kind of language communication researcher technical systems with a computer using standardized mathematical (matrix) describing mutual relations, which allows you to create static model of linear systems. When the device is used tools graph theory flow signals.

Consider creating technology and research systems as networks of connected elements, where network communication is defined as a structure.

Key words: *element, system, model, task, count signal flows, analysis and systematic approach.*

Статтю представляє А. А. Тимченко, д.т.н.,професор.

С. В. Медушевський, аспірант

e-mail: victorovich.med@gmail.com

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
б-р Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, Україна

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЯКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

У статті представлена методологія управління ризиками якості автоматизованої інформаційної системи дискретного виробництва. Проведено аналіз останніх досліджень даного напрямку.

Розглядаються переваги управління ризиками якості АІС. Проаналізовано покроковий процес управління ризиками якості АІС.

Представлено методiku оцінювання ризиків якості, класифікація рівнів тяжкості відхилень та підхід до оцінювання функціональних ризиків на основі впливу.

Розроблені приклади елементів контролю для скорочення / зменшення ризиків.

Ключові слова: управління ризиками, автоматизація, якість, верифікація, специфікація, проект.

Постановка проблеми. Розробка та впровадження автоматизованої інформаційної системи є складним процесом, що вимагає від учасників впровадження (замовника і виконавця) максимальних зусиль для досягнення позитивного результату. Успішне впровадження безпосередньо залежить від того, наскільки своєчасно і ефективно будуть зняті основні ризики проекту.

Актуальною проблемою при розробці автоматизованої інформаційної системи (АІС) є ефективне управління проектом та підвищення якості АІС за рахунок застосування спеціальних методів планування, зменшення ризиків і оцінювання трудомісткості розробки.

Практика розробки сучасних АІС, показала найбільш критичними етапами реалізації подібних проектів, а саме недостатня якість системи може стати причиною виникнення серйозних наслідків [1].

Аналіз останніх досліджень. Згідно [2] діяльність з управління ризиками охоплює етапи: виявлення ризику, оцінювання, вибір методу та засобів управління ризиком, запобігання, контролювання, фінансування ризику, оцінювання результатів. У межах теорії та практики управління проектними ризиками найважливішими є, зокрема, методи оцінювання, моніторингу та прогнозування ризиків, інформаційного забезпечення управління ризиками [3, 4].

Основними елементами системи управління ризиками якості АІС є виявлення ризи-

ку на ранніх етапах проекту та утримання його в межах прийняттого рівня шляхом розробки конкретних рекомендацій, орієнтованих на усунення або мінімізацію можливих негативних наслідків ризику [3, 5].

В дослідженні [2] доведено, що оперативне управління ризиками ІТ - проекту та його надійністю дає змогу підвищити ефективність загального управління проектом, особливо в умовах невизначеності. В сучасній літературі з розробки та підтримки програмного забезпечення ризик визначається як можливість зазнати матеріальних втрат [6, 7].

У [8] розглядаються особливості аналізу та скорочення ризиків проектів складних програмних засобів, а дослідження [9] показує методи аналізу ризиків при розробці та підтримці програмного забезпечення, вибір яких здійснюється в залежності від обмежень та пріоритетів критеріїв.

Управління ризиками проектів з розробки АІС безпосередньо пов'язано з моделлю життєвого циклу, яка схематично пояснює, яким чином будуть виконуватись дії з розробки програмного продукту шляхом опису послідовності цих дій [10].

Метою роботи є представлення методики управління ризиками для забезпечення підвищення якості АІС та представлення методології контролю для зниження ризиків.

Виклад основного матеріалу. Управління ризиками якості (quality risk management) – систематичний процес для

загального оцінювання, контролювання, інформування та огляду ризиків для якості АІС протягом життєвого циклу. Це ітеративний процес, який використовується протягом усього життєвого циклу автоматизованої системи від ідеї/концепції до вилучення з обігу.

Ризик можна визначити як комбінацію ймовірності випадку завдання шкоди та тяжкості цієї шкоди. Однак, досягнення однозначного розуміння щодо застосування управління ризиками між різними учасниками є складним, оскільки кожний учасник може бути об'єктом різної потенційної шкоди; ймовірність виникнення будь-якої шкоди та характеристики її тяжкості для кожного учасника будуть різними [11].

На ключові галузі управління ризиками та переваги такого підходу вказує рис. 1.

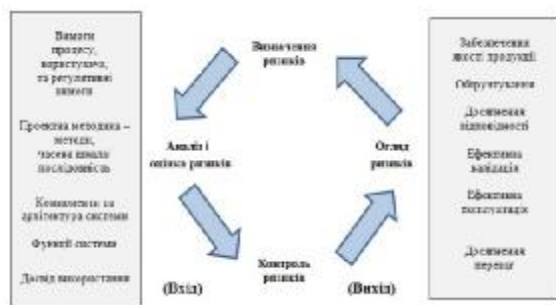


Рис. 1. Переваги управління ризиками якості АІС

Така система є найбільш ефективною для реалізації, коли вона включена в загальну систему управління якістю, і повністю інтегрована з життєвим циклом системи.

Використання управління ризиками якості дозволяє сфокусувати всі зусилля на основні аспекти автоматизованої системи, в контрольований і правомірний/обґрунтований спосіб, що приводить до конкретних вигод, таких як:

- виявлення та управління ризиками для безпеки працівників, якості продукції, і цілісності даних;
- гнучкість діяльності життєвого циклу і пов'язаної з ними документацією;
- обґрунтування використання документації постачальника;
- кращого розуміння потенційних ризиків і запропоновані елементи управління;
- виділення областей, в яких необхідна більш детальна інформація;
- поліпшення розуміння бізнес-процесів;

- підтримка регуляторних / нормативних очікувань.

Покроковий процес управління ризиками якості АІС представлений на рис. 2.

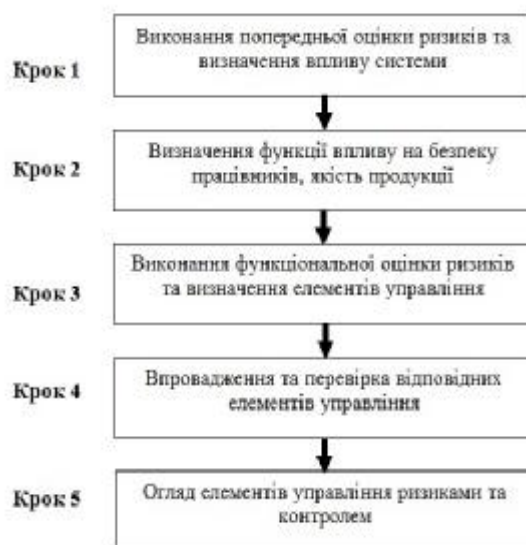


Рис. 2. Процес управління ризиками якості

Крок 1 – Виконання попереднього оцінювання ризику та визначення впливу системи. Попереднє оцінювання ризику виконується на основі розуміння процесів та методик оцінювання ризиків, вимог користувача, нормативних вимог і відомих функціональних зон.

Крок 2 – Визначення функцій з впливом на безпеку працівників, якість продукції і цілісність даних. Визначаються функції, які впливають на безпеку працівників, якість продукції і цілісність даних, ґрунтуючись на інформацію, зібраної під час кроку 1, посиляючись на відповідні специфікації, а також з урахуванням проектного підходу, архітектури системи, і категоризації компонентів системи.

Крок 3 – Виконання функціонального оцінювання ризику та визначення елементів управління. При розгляді можливих небезпек повинні оцінюються функції, визначені в ході Кроку 2, а також засоби управління потенційним збитком, що є результатом цих небезпек.

Крок 4 – Впровадження та верифікація належних елементів управління. Заходи контролю, визначені у пункті 3 повинні бути реалізовані і перевірені, щоб гарантувати, що вони були успішно реалізовані. Елементи управління повинні простежуватися до відповідних виявлених ризиків. Даний крок демонструє, що елементи управління є ефективними у виконанні необхідного зниження ризику.

Крок 5 – Огляд ризиків та контроль елементів управління. Огляд повинен підтвердити, що контроль ефективний, а у разі виявлення недоліків, коригувальні дії повинні бути прийняті на основі управління змінами.

Частота та обсяг будь-якого періодичного огляду повинен ґрунтуватися на рівні ризику.

Процес управління ризиками розробляється у відповідності з ризиком, складністю і новизною окремих систем, при цьому кожен наступний крок процесу залежить від попереднього.

Оцінювання ризику виконується з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або декількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані повинні бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування. Оцінювання ризику забезпечує

розуміння можливих відхилень, їх причин і наслідків, ймовірності їх виникнення та прийняття рішень.

Кожна небезпечна ситуація класифікується за трьома критеріями:

- рівень тяжкості відхилення;
- ймовірність виникнення відхилення;
- ймовірність виявлення відхилення.

Клас ризику оцінюється виходячи з тяжкості впливу на безпеку працівників, якість продукції та цілісності даних, проти ймовірності виникнення відхилення

Ризик усувається або знижується на рівні проектування, або знижений до прийнятного рівня шляхом застосування елементів контролю, що зменшують ймовірність виникнення або збільшення проценту виявлення.

Схематичне зображення методики оцінювання ризиків якості представлена на рис. 3.

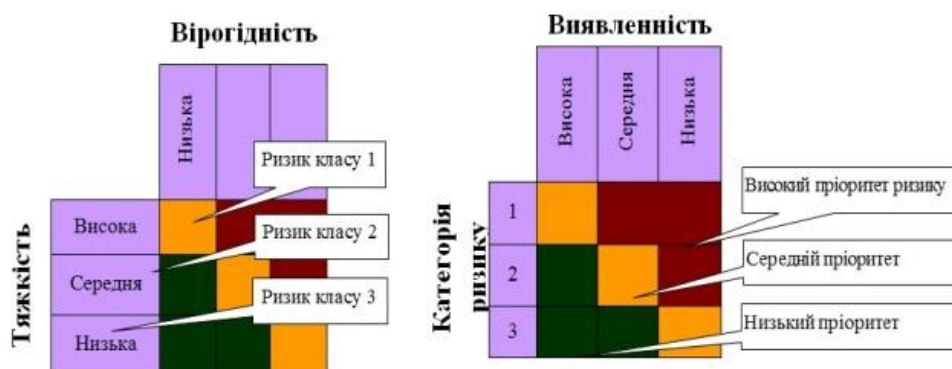


Рис. 3. Метод оцінювання ризиків якості

Успішне застосування цього методу залежить від здатності визначення значення Високий, Середній і Низький для кожного сегмента оцінки. Вони повинні розглядатися саме в контексті системи в кожному проекті.

Елементи контролю це заходи, які прийняті для зниження ризику до прийнятного рівня. Вони можуть бути частиною функції автоматизованої системи, паралельно з ручними процедурами, або вони можуть діяти на нижчих рівнях, призначені для перехоплювання умов відмови після їх виникнення, наприклад, QC промислові випробування.

Етапи процесу оцінювання ризиків з урахуванням впливу, з розширеним кроком 3, щоб забезпечити підхід до оцінювання функціональних ризиків на основі впливу. Цей

приклад класів всіх функцій високого, середнього або низького впливу. Залежно від впливу виконується відповідна деталізація оцінювання. Для функцій високого впливу, можливо, необхідно провести детальне оцінювання небезпек, засноване на ймовірності виникнення і виявлення.

Для низького впливу проводиться формальне оцінювання, застосовуючи належну практику для забезпечення адекватного контролю. Для середнього впливу, розглядаються сценарії небезпек, для функцій високого впливу повинні розглядатися більш докладні і конкретні небезпеки.

Кожному ідентифікованому ризику необхідно встановити пріоритет, для визначення якого необхідно оцінити ймовірність їх вини-

кнення та можливі наслідки. Добуток цих величин – очікуване значення збитків від ризику – можна використати в якості пріоритету. Це значення називають впливом ризику (risk exposure). Після встановлення пріоритетів ризикам, необхідно визначити, для яких ризиків варто приймати управлінські рішення.

Залежно від етапу пріоритет ризику змінюється.

Одним зі шляхів розширення переліку ризиків є методичне використання аналізу

результатів проектів після їх завершення, щонайменше на перших етапах. Необхідно не тільки досліджувати попередні проекти, але й використовувати результати цього дослідження в якості вхідних даних у процесі управління ризиками.

Пріоритет ризику (RNP) визначається як добуток показника тяжкості (S), ймовірності виникнення (O) та ймовірності виявлення (D) показує рис. 4.

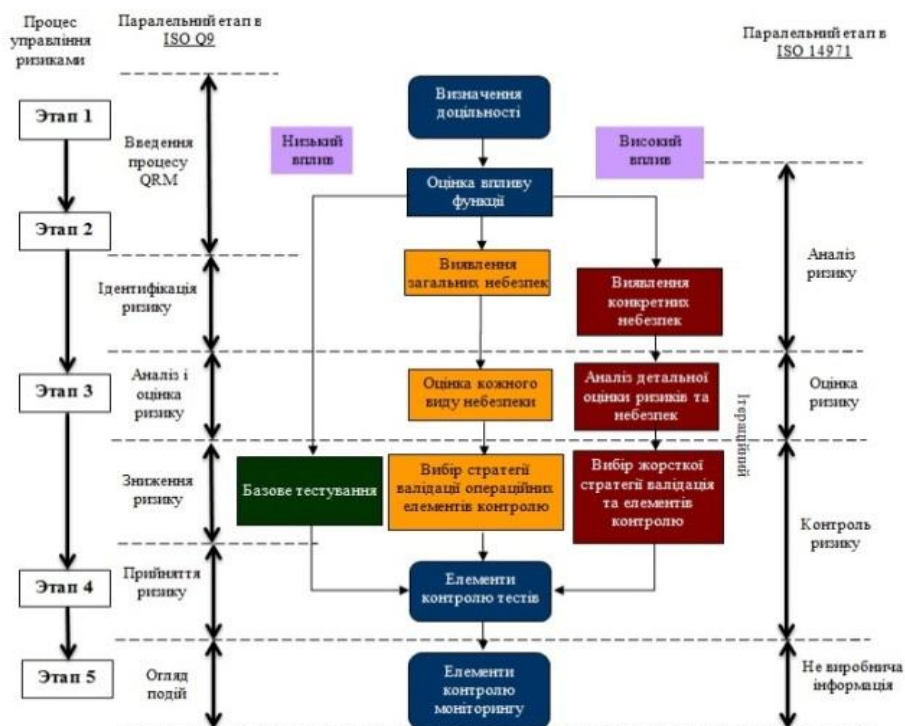


Рис. 4. Оцінювання ризиків з урахуванням впливу

Приклад розрахунку пріоритету ризику наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Приклад розрахунку пріоритету ризику

Сценарій ризику	S	O	D	RNP
1	8	4	5	160
2	4	6	7	168

Однак при розробці заходів зниження ризику враховують не тільки величину пріоритету а і величину показника тяжкості.

Елементи контролю, як правило, спрямовані на:

- усунення ризиків за допомогою перепроєктування процесу або системи;

- зниження ризику за рахунок зниження ймовірності виникнення помилки;
- зниження ризику за рахунок збільшення в процесі роботи виявлення помилок;
- зниження ризику шляхом встановлення перевірок на нижчих рівнях або перехоплення помилок.

Приклади елементів контролю, які можуть бути використані для зниження ризику представлені в табл. 2.

Залишкові ризики розглядаються після впровадження заходів контролю.

Якщо залишковий ризик вище межі прийнятного ризику, то відповідні елементи контролю повинні бути введені і перевірені, а також має бути розглянуто вплив на раніше прийняті заходи контролю ризиків.

Приклади елементів контролю для скорочення/зменшення ризиків

Методологія контролю
Впровадження автоматизованої перевірки якості даних на нижчих рівнях системи.
Впровадження процедур процесів, щоб протистояти виникненню можливих помилок, таких як контроль якості тестування продукції.
Впровадження автоматизованого контролю в автоматизованій системі оцінюється, наприклад: • верифікаційна перевірка даних у проектуванні системи, щоб зменшити ймовірність помилок при введенні даних (напр., прийнятний діапазон вхідного сигналу). • підказки користувача для перевірки вводу для збільшення виявлення помилок користувача
Використовуються перевірені методи, інструменти та комплектуючі; відмовостійкість може бути вбудована в автоматизовану систему (напр., за допомогою реплікації частин, системи дзеркалювання); операційне середовище може перебувати під контролем.
Деталізація перевірконого тестування, для демонстрації, що автоматизована система працює, як очікувалося, і може справлятися з помилками.

Висновок. Розглянутий процес управління ризиками дозволяє вирішити як проблему нечіткої ідентифікації ризиків та потенційних відхилень по характеристикам якості АІС, так і проблему некоректного аналізу ризиків з урахуванням багаторівневої моделі якості по стадіям життєвого циклу АІС. Представлена методологія елементів контролю сприяє зниженню ризиків до прийнятного рівня.

Список літератури

1. Груздо И. В. Повышение качества программного проекта за счет управления рисками. *Системы обработки информации. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*, Харьков. 2009. № 1 (75). С. 141–146.
2. Рішняк І. В. Методи оперативного управління ризиками інформаційно-технологічних проектів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. 2010. № 686. С. 218–224.
3. Верес О. М., Катренко А. В., Рішняк І. В., Чаплига В. М. Управління ризиками в проектній діяльності. *Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2003. № 489. С. 38–49.
4. Рішняк І. В. Модель управління проектними ризиками. *Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2004. № 522. С. 155–160.
5. Катренко А. В. Методи управління ризиками в ІТ-проектах. *Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT-2008): III Міжнар. наук. практ. конф.*, 25–27 ве-

ресня 2008 р.: тези доп. Львів, 2008. С. 245–247.

6. DoD. Risk management guide for risk acquisition. USA. 2006.
7. Де Марко Т. Вальсируя с медведями: управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения Компания р.т. Office. Москва, 2005. 190 с.
8. Липаев В. В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. Москва: Синтег, 2003. 224 с.
9. Давиденко Є. О. Аналіз підходів для визначення ризиків при розробці та підтримці програмного забезпечення. *Сучасні інформаційні системи і технології: матеріали Першої міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Суми, 15–18 травня 2012 р. Ред. кол.: А. С. Довбиш, О. А. Борисенко, І. В. Баранова. Суми: СумДУ, 2012. С. 76–77.
10. Дубровін В. І. Прийняття рішень у процесі управління ризиками проектів : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. 196 с.
11. EMA/INS /GMP/79 766/2011 Quality Risk Management (ICH Q9), 31 January 2011.

References

1. Gruzdo, I. V. (2009) Improving the quality of software projects by risk management. *Information processing systems. National Aerospace University N. E. Zhukovsky "HAI"*. Kharkiv, No. 1 (75), pp. 141–146.
2. Rishnyak, I. V. (2010) Methods of operational risk management information technology projects. *Proceedings of the National University "Lviv Polytechnics". Computer science and information technologies*, No. 686, pp. 218–224.

3. Veres, A. M., Katrenko, A. V., Rishnyak, I. V., Chaplyga, V. M. (2003) Risk management in project activities. *Information systems and networks. Proceedings of the National University "Lviv Polytechnics"*, No. 489, pp. 38–49.
4. Rishnyak, I. V. (2004) Model management project risks. *System design. Theory and Practice. Proceedings of the National University "Lviv Polytechnics"*, No. 522, pp. 155–160.
5. Katrenko, A. V. (2008) Methods of risk management in IT projects. *Computer Science and Information Technologies (CSIT-2008): the III international scientific and practical conference*, September 25–27. Lviv, pp. 245–247.
6. DoD. USA (2006) Risk management guide for risk acquisition.
7. DeMarco, T., Lister, T. (2003) *Waltzing with bears: managing risk on software projects*. New York: Dorset House Publishing, 208 p.
8. Lypaev, V. V. (2003) *Analysis and reduction of risks of complex software projects*. Moscow: SINTEG, 224 p.
9. Davydenko, Ye. O. (2012) The analysis of approaches for assessing the risks in developing and maintaining software. *Modern information systems and technologies: the proceedings of the first international scientific and practical conference*, Sumy, May 15–18, pp. 76–77.
10. Dubrovin, V. I. (2012) *Decision-making in the management of project risks: Tutorial*. Zaporozhye: ZNTU, 196 p.
11. EMA/INS /GMP/79 766/2011 *Quality Risk Management (ICH Q9)*, 31 January 2011.

S. V. Medushevskiy, post-graduate student

e-mail: victorovich.med@gmail.com

The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Shevchenko blvd, 81, Cherkasy, 18031, Ukraine

MANAGEMENT BY RISKS OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEM QUALITY

Quality risk management is a systematic process for the assessment, control, communication, and review of risks. It is an iterative process used throughout the entire computerized system life cycle from concept to retirement.

Such a framework is most effectively implemented when it is incorporated into the overall QMS, and is fully integrated with the system life cycle.

Risks that cannot be eliminated by design should be reduced to an acceptable level by controls or manual procedures. Risk reduction includes applying controls to lower the severity, decrease probability, or increase detectability.

The aim is to present the methodology of risk management for improving the quality of automated information systems and presentation control strategy to reduce risks.

Application of quality risk management enables effort to be focused on critical aspects of a computerized system, in a controlled and justified manner, leading to specific benefits

The five step risk management process has been designed such that it may be scaled according to risk, complexity, and novelty of individual systems, with each step of the process building upon the previous output.

Appropriate risk management processes should be followed throughout the life cycle in order to manage identified risks and to determine the rigor and extent of the activities required at each phase of the life cycle.

The process of risk management can solve a problem of fuzzy identifying risks and potential variations in characteristics as automated information system and the problem of improper risk analysis based on multilevel models as stages of the life cycle of the system.

Keywords: risk management, automation, quality verification, specification, design.

Рецензенти: Голуб С. В., д.т.н., професор,
Данченко О. Б., д.т.н., доцент.

І. О. Рибалка, асистент

e-mail: Inna.Rybalka@gmail.com

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002, Україна

ДО ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ШВИДКОЇ ІНВАЗІЇ ОМЕЛИ БІЛОЇ (*VISCUM ALBUM L.*)

Досліджено фактори довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої (*Viscum album L.*) з метою підвищення рівня екологічної безпеки зелених насаджень. Дослідження проведено на території м. Харків (Україна). Ділянки, на яких проводили натурні спостереження, знаходились у північній, північно-східній, центральній, західній і південно-східній частинах міста. Для встановлення кількості кущів омели в кожній окремій дискретній групі мета-популяції застосовували оригінальну методику бальної оцінки чисельності: для кількості кущів від 1 до 5 індекс чисельності становив «1»; для 6–10 – «2»; 11–20 – «3»; 21–40 – «4» і т. д. Для відображення приблизного співвідношення кущів омели за віком у кожній окремій дискретній групі використовували популяційно-демографічний коефіцієнт $K[j-g-s]$, що відображає співвідношення ювенільних кущів (j), кущів 1-го і 2-го генеративного віку (g) та сенільних кущів (s). Записували його, використовуючи символи: 0 (рослини відповідної вікової групи відсутні), 1, 2, і 3 (залежно від частки кущів відповідного віку у дискретній групі). З застосуванням методів багатовимірної статистики встановлено, що щільність омели позитивно корелює із частками семи видів її дерев-живителів: верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої, що дає вагомий підставу мінімізувати використання цих видів в озелененні. Отримані результати доцільно враховувати під час створення та реконструкції об'єктів зеленого господарства у містах Східного Лісостепу України.

Ключові слова: омела біла, міський ландшафт, аналіз головних компонент, фактори поширення.

Вступ. У наш час у зв'язку з розширенням сфери життєдіяльності людини екологічна обстановка у населених пунктах країни, пов'язана з забрудненням повітря, значно погіршилася [21], що призвело до підвищення рівня захворюваності органів дихання в усіх вікових групах населення. У покращенні становища, що склалося, важлива роль має належати зеленим насадженням. Відповідний добір деревних і чагарникових рослин під час озеленення вулиць, парків і скверів може суттєво покращити умови праці і відпочинку людей. Однак сьогодні потрібно визнати, що до цього часу більшість населених пунктів України озеленюються без будь-якої наукової основи. І якщо інфекційні хвороби деревних рослин певною мірою вивчені, то про вищих квіткових напівпаразитів відомо дуже мало. Це стосується і омели білої (*Viscum album L.*) [6], яка паразитує на багатьох видах листопадних дерев [11].

Вважається, що ця рослина спричиняє суттєве зниження енергії росту дерев-

живителів, втрату декоративності та врожайності деревних культур, а також є причиною зниження довговічності насаджень: призводить до часткової або суцільної сухості та поступового усихання дерев.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Численні публікації у популярній і науковій літературі свідчать [7, 8, 10, 13, 15], що на сьогодні омела біла вже вважається справжнім екологічним лихом для насаджень багатьох міст України: Києва, Івано-Франківська, Харкова, Полтави, Білої Церкви, Черкас, Умані тощо. Єдиним заходом боротьби з омелою в умовах міста залишається механічне видалення уражених нею гілок або повне видалення дерева при дуже сильному ураженні. При інтенсивному розповсюдженні омели догляд за міськими насадженнями стає все більш витратним.

Дослідження, проведені в Чеській Республіці на території Ледницького парку, дозволили визначити фактори, які впливають на поширення омели білої на рівні дерева. До

них відносяться: діаметр дерева на висоті грудей (DBH), вік, висота, ширина, площа проекції і обсяг крони тощо [23]. Подібні дослідження були проведені в Ірані, в лісопарку р. Нур [25].

Численні дослідження у різних країнах світу присвячені визначенню видів деревних рослин, на яких може паразитувати омела біла. Зведений список дерев-живителів омели налічує 411 видів, при цьому в Європі вона виявлена на 384 видах, із яких 190 видів – це інтодуценти. Так, у Польщі омела біла зафіксована на 194 видах дерев, у Хорватії – на 52, у Словенії – на 25, у Чеській Республіці – на 53, у Словаччині – на 35, у Швейцарії – на 17, у Нідерландах – на 12. У межах вторинного ареалу поширення рослини, у США, омела біла зафіксована на 22 видах дерев. Вона зустрічається на представниках родин *Tilia* spp., *Aser* spp., *Populus* spp., *Salix* spp., *Betula* spp., *Pyrus* spp., *Malus* spp., *Quercus* spp., *Sorbus* spp. тощо [27]. Якою мірою ця рослина-напівпаразит віддає перевагу тій чи іншій породі дерев у складі насаджень, невідомо.

У Бельгії зроблено спробу оцінити вплив фрагментації ландшафтів на генетичну структуру популяції омели білої. Для аналізу були обрані два регіони, в яких порівняно недавно почали спостерігатися зміни в лісовій зоні. Чітких закономірностей щодо чутливості генетичної структури популяції до зростання фрагментації місць проживання вчені не виявили, але в цілому аналіз головних компонент показав, що ізольовані популяції омели мали більш високі рівні інбридингу [28]. Деякими дослідниками встановлено, що омела біла розповсюджується у ландшафті плямами [27]. Тобто в цілому фактори, які впливають на розповсюдження омели білої на рівні ландшафту, є недостатньо дослідженими. Можна припустити, що до них належать вік насаджень і щільність вулично-дорожньої мережі, але цю гіпотезу необхідно перевірити.

Визначення факторів довкілля, які сприяють швидкому розповсюдженню омели білої у ландшафті, а також видів дерев, які є найбільш уразливими до впливу цієї рослини, матиме істотне практичне значення для проведення заходів щодо регуляції її чисельності.

Мета дослідження. Мета даного дослідження – оцінювання впливу факторів довкілля на поширення омели білої в урбанізованих ландшафтах для підвищення рівня еко-

логічної безпеки насаджень (на прикладі м. Харків).

Виклад основного матеріалу. Дослідження проведено на території м. Харків. За ландшафтним районуванням вона відноситься до Харківської схилово-височинної області Середньоруської лісостепової провінції Східноєвропейської рівнинної ландшафтно-ї країни і розташована на південному заході Середньоруської височини. Клімат помірний, із середньорічною кількістю опадів 500–570 мм і середніми температурами січня – -8°C , липня – понад 20°C . Основні генетичні типи ґрунтів – чорноземи (які утворилися на лесах різного механічного складу) і сірі опідзолені лісові ґрунти, які на території міста зазнали істотної антропогенної трансформації [14].

Ділянки ($N = 15$), на яких проводили дослідження (2006–2010 рр., грудень 2016 р, січень 2017 р.), знаходилися в північній (1 ділянка), північно-східній (6 ділянок), центральній (6 ділянок), західній (1 ділянка) та південно-східній (1 ділянка) частинах м. Харків, рис. 1.

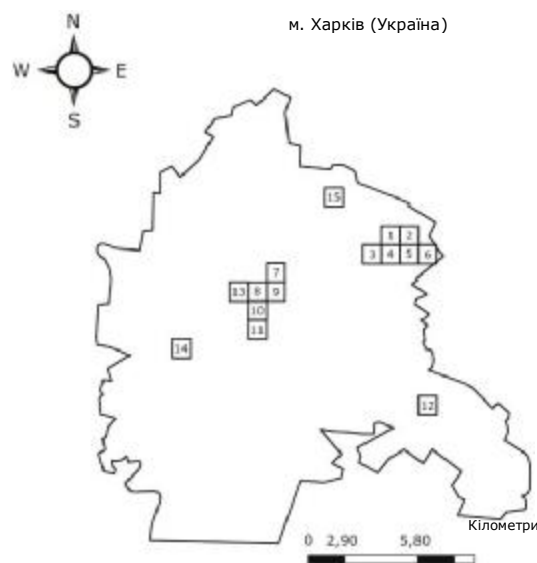


Рис. 1. Розміщення досліджуваних ділянок на території м. Харків

Ділянки представляють собою геометричні квадрати площею 40 га, які вибиралися по карті в межах міського сельбищного ландшафту.

У польових дослідженнях визначали чисельність омели білої, переважаючий вік деревних рослин (табл. 1) у насадженнях, відстань між деревами.

Таблиця 1

Класифікація деревних рослин за віком

№	Вік	Тип деревостану
1	від 1 до 20 років	молоді
2	від 21 до 40 років	жердняк
3	від 41 до 60 років	середньовікові
4	від 61 до 80 років	приспіваючі
5	від 81 до 100 років	спілі
6	більш ніж 100 років	перестійні

Натурні спостереження за омелою проведено за оригінальною методикою. Всі куші омели на окремому дереві з одним головним стовбуром або на дереві з декількома головними стовбурами, які за вживаними в лісівництві критеріями вважаються окремими деревами, або на кількох деревах, які утворюють групу (тобто щонайменш два дерева, відстань між якими є меншою за діаметр крони кожного із них) вважалися "дискретною групою". Для відображення кількості кушів омели в кожній окремій дискретній групі застосовували шкалу чисельності: для кількості кушів від 1 до 5 індекс чисельності становив "1"; для 6–10 – "2"; 11–20 – "3"; 21–40 – "4"; 41–80 – "5"; 81–160 – "6"; 161–320 – "7"; 321–640 – "8". Для відображення приблизного співвідношення кушів омели за віком у кожній окремій дискретній групі використовували популяційно-демографічний коефіцієнт

$K[j-g-s]$, який відображає зв'язок між співвідношенням ювенільних рослин (j), рослин 1-го і 2-го генеративного віку (g) та сенільних (s). Записували його, використовуючи символи: 0 (рослини відповідної вікової групи відсутні), 1, 2, і 3 (залежно від долі кушів відповідного віку у дискретній групі).

Для аналізу ландшафтних характеристик у межах досліджуваних ділянок були використані супутникові знімки земної поверхні (джерело – мережева вкладка *Google Maps*, програмне забезпечення – *SAS.Планета 100120*), які були просторово прив'язані в геоінформаційній системі (ГІС) *ArcGIS Desktop 10.1*. У ході роботи для кожного досліджуваного квадрата було створено цифрову модель ландшафту. Для цього в середовищі ГІС-додатку створювали набір тематичних шарів із певним набором просторових об'єктів: будівель, насаджень (однорідні колекції географічних об'єктів були представлені у вигляді полігонів); вулично-дорожньої мережі (просторові об'єкти були представлені у вигляді ліній), рис. 2. За допомогою ГІС для кожного досліджуваного квадрата були визначені такі параметри (ознаки або змінні), як сумарна площа забудови і насаджень, сумарна довжина вулично-дорожньої мережі, кількість окремих фрагментів (або сегментів) насаджень.

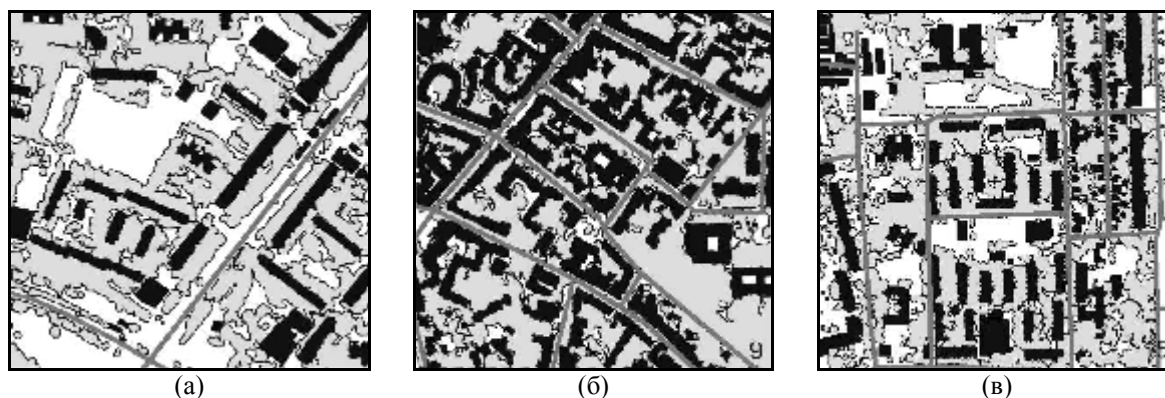


Рис. 2. Приклад відмінності досліджуваних ділянок у різних частинах м. Харків:
(а) – квадрат № 5, район Північна Салтівка; (б) – квадрат № 9, центральна частина міста;
(в) – квадрат № 15, район Олексіївка

За результатами натурних спостережень за омелою для кожної досліджуваної ділянки визначали загальну кількість кушів рослини із застосуванням індексу чисельності за формулою середнього геометричного. Далі розраховували показники щільності кушів омели (куш./км²). Після цього визначали частку кожного виду дерев-живителів омели, які були

виявлені у насадженнях. За результатами досліджень насаджень визначали середню відстань між деревами. На підставі даних, отриманих за допомогою ГІС, розраховували показники "Частка забудови", "Частка насаджень", "Плямистість насаджень" (відношення сумарного периметра насаджень до площі квадрата), "Щільність вулично-дорожньої ме-

режі, м/км²". При встановленні переважаючого віку дерев у насадженнях у межах 15 квадратів брали до уваги експерти оцінки, представлені у відповідних літературних джерелах [5].

Враховуючи, що за даними польових спостережень за омелою у період із вересня 2006 р. по квітень 2010 р. в межах квадратів № 7–№ 11 і № 13 (центральна частина міста) таксономічна приналежність для кленів, тополь та ясенів була визначена до роду, а в межах квадрату № 12 (південно-східна частина міста) – таксономічна приналежність була визначена до роду для тополь, у грудні 2016 року та у січні 2017 року було проведено додаткове дослідження, яке дозволило скоригувати вибіркові дані за 2006–2010 рр. Для цього в межах ділянок № 7–№ 11, № 13 і № 12 було сформовано випадкові вибірки дерев-живителів омели із застосуванням маршрутного методу досліджень. При зборі фіксувались усі дерева-живителі омели, які траплялися на маршруті у смузі 100 м завширшки. Для кожного дерева-живителя було визначено вид, індекс чисельності омели та популяційно-демографічний коефіцієнт. За даними маршрутного обліку було визначено частоти кожного виду дерев-живителів омели у збірній вибірці. Перш ніж скоригувати дані спостережень за 2006–2010 рр., дані маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. та 2017 р. були перевірені на достовірність, тобто частоти, розраховані для представників родів клен, тополя та ясен за даними маршрутного обліку, не повинні були достовірно відрізнятися від тих частот, які були по них розраховані за даними спостережень у 2006–2010 рр. Нуль-гіпотезу (тобто припущення, що різниця між генеральними параметрами порівнюваних груп рівна нулю і що відмінності, які спостерігаються між вибірковими характеристиками, носять не систематичний, а виключно випадковий характер) було перевірено з застосуванням t-критерію Стьюдента [12]. *Вибір оптимальних методів багатовимірного статистичного аналізу статистичного комплексу.* Поряд із відносно простими способами порівняння однієї вибірки з іншою в даному дослідженні виникло більш складне завдання, що полягало у порівнянні одночасно декількох вибірок, які об'єднувалися в єдиний статистичний комплекс: якщо проаналізувати досліджувані ознаки ("Щільність омели білої (кущ./км²)", "Щільність дискрет-

них омели білої (1/км²)", "Частка забудови", "Частка насаджень" тощо) окремо, ми не побачимо того спільного, що їх об'єднує. Охопити всю картину разом дозволяють багатовимірні методи статистики, надаючи для цього деякі додаткові можливості.

Так, кожен досліджуваний об'єкт через значення виміряних у нього ознак можна представити у вигляді точки в багатовимірному просторі. Кожна ознака є в цьому просторі окремою координатною віссю, ортогональною всім іншим. Усі об'єкти утворюють в цьому просторі деяку "хмару". Координатами точок є значення ознак [3].

У публікації [3] відзначено, що до класичних методів багатовимірного статистичного аналізу відноситься (1) дискримінантний аналіз, (2) множинна регресія, (3) канонічний аналіз і (4) метод головних компонент. Дискримінантний аналіз і множинна регресія використовують такі лінійні перетворення простору, які змінюють відстані між об'єктами в ході обробки і, відповідно, спотворюють змістовний сенс отриманих результатів. Залишаючись бездоганно правильними з математичної точки зору, ці методи разом із розрахованою ними достовірністю не зовсім адекватні тій реальності, для вивчення якої призначені. Канонічний кореляційний аналіз (запропонував Гарольд Хотеллінг) у загальному вигляді не знайшов свого застосування через труднощі в інтерпретації (іноді канонічним називається дискримінантний аналіз Фішера, який є окремим випадком канонічного аналізу Хотеллінга, а іноді – зовсім інші методи).

Метод головних компонент (МГК) у наш час застосовується найбільш широко з усіх багатовимірних методів і має на їхньому фоні ряд переваг. Зокрема він не вимагає перевірки вихідних даних на нормальність. У літературі було знайдено приклади заснування цього підходу для вирішення задач екології. Прикладом використання цього підходу є дослідження морського фітопланктону, спрямовані на виявлення спільної дії різних факторів середовища на якісний і кількісний склад фітопланктону, які було проведено в прибережній частині південної Каліфорнії, в районі узбережжя північно-західної Африки та у Севастопольській бухті. Аналогічні дослідження також було проведено і для прісноводних водоемів. У дослідженнях весняного цвітіння діатомових водоростей з урахуванням характеристик фізіологічного стану (фо-

тосинтезу, дихання і швидкості поділу клітин) компонентний аналіз дозволив виявити функціональну роль окремих популяцій водоростей на різних стадіях цвітіння. МГК було застосовано при вивченні впливу деяких абіотичних факторів на рівень первинної продукції в районах Саргасового моря. Із застосуванням МГК були оброблені дані щорічної гідрохімічної зйомки в Каспійському морі. Також аналіз головних компонент широко використовують при визначенні ступеня забруднення водойм. Тобто МГК дозволяє об'єднати різномірні відомості в єдину цілісну систему [16].

Тому функціональну залежність між щільністю омели і набором ландшафтних характеристик визначали за допомогою аналізу головних компонент (прикладний комп'ютерний пакет *Statistica 10.0*).

Аналіз головних компонент (вважається як одним із самостійних варіантів, так і одним із методів факторного аналізу) виконує задачу скорочення розмірності набору змінних із мінімальною втратою вихідної інформації. Так, він дозволяє розділити масив змінних на невелике число груп, які називаються компонентами. В одну компоненту (інтерпретується як причина спільної мінливості декількох вихідних змінних) об'єднуються декілька змінних, які тісно корелюють між собою і не корелюють або слабо корелюють із іншими змінними, що утворюють інші компоненти. У результаті компонентного аналізу із несистематизованого масиву даних (кореляційна або коваріаційна матриця) отримуємо декілька макрозмінних – узагальнених комбінацій вихідних ознак. Таким чином, застосування цього методу аналізу дозволяє отримати сукупність некорельованих (ортогональних) інтегральних змінних (або компонент) [17, 22].

У багатьох посібниках, підручниках і статистичних довідниках викладено теоретичні основи і алгоритм проведення аналізу за МГК. Класична схема проведення аналізу передбачає (1) стандартизацію вихідних даних (застосовується, якщо досліджувані ознаки мають різні одиниці вимірювання), (2) побудову кореляційної матриці ознак, (3) розрахунок власних чисел (*eigenvalues*) і власних векторів (*eigenvectors*) кореляційної матриці, а також (4) визначення коефіцієнтів кореляції ознак із головними компонентами, що дає змогу проаналізувати отриману структуру факторів і зробити відповідні висновки [3, 9].

Спосіб обробки даних, застосований в аналізі за МГК – "Raw Data" ("неопрацьовані дані"), спосіб обробки пропущених значень – "Casewise" (тобто у таблиці вихідних даних ігноруються усі рядки, в яких є хоча б одне пропущене значення).

Максимально можливе число факторів m , яке може бути виділене в аналізі при заданому числі ознак p , визначалося нерівністю [3, 17]:

$$(p + m) < (p - m)^2. \quad (1)$$

Факторна модель вважається досить вдалою, якщо число уже знайдених компонент не більше, ніж:

$$F_n = \frac{m_{\max}}{2} \quad (2)$$

де $m_{\max}$ – максимально можлива кількість факторів, а дисперсія, яку вони пояснюють, становить не менш ніж 70 %, при цьому наступна компонента дає вклад у сумарну дисперсію не більш ніж 5 %. Так, якщо в розподілі об'єктів у вихідному просторі ознак існує сенс, при втраті 20–30% загальної мінливості ми втрачаємо його в мінімально можливій мірі, причому, швидше за все, втратили не стільки інформацію, скільки "шум", неминуче присутній в реальних даних через дію малозначущих або випадкових причин.

На підготовчому етапі роботи вихідні дані були відцентровані. З геометричної точки зору це означає перенос початку координат у «центр ваги хмари» – точку із середнім значенням усіх ознак, яка називається центроїдом [3] (при цьому вихідні ознаки отримала нові позначення: « x_1 » – « x'_1 », « x_2 » – « x'_2 » і т. д.).

Перша досліджувана вибірка представляла собою дані польових спостережень за омелою у період із вересня 2006 р. по квітень 2010 р. (загальна кількість виявлених дерев-живителів омели $N = 1095$), друга – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2016 р. ($N = 107$), третя – дані маршрутного обліку дерев-живителів омели, зібрані у 2017 р. ($N = 40$). Результати визначення частот для трьох видів дерев (клен, тополя, ясен), таксономічна приналежність яких була визначена до роду (квадрати № 7–№ 11 і № 13) представлено у табл. 2, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. на достовірність. Із табл. 2 зрозуміло, що різ-

ниці між частотами, розрахованими для представників родів клен, тополя та ясен за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними

маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2016 р. не є статистично достовірною, це дозволяє уточнити зібрані раніше дані.

Таблиця 2

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянках № 7–№ 11 і № 13

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, S_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за деревами-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Клен	1	126	0,239	0,083	1,18	1,96
	2	36	0,336			
Тополя	1	202	0,383	0,092	0,91	1,96
	2	32	0,299			
Ясен	1	153	0,290	0,085	0,55	1,96
	2	36	0,336			

Результати визначення частоти дерев-живителів омели з таксономічною приналежністю до роду *Populus* за даними маршрутного спостереження в межах ділянки № 12 представлено у табл. 3, у ній же відображено результати перевірки даних маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. на достовір-

ність. Із табл. 3 зрозуміло, що різниця між частотами, розрахованими для дерев-живителів омели за даними спостережень у 2006–2010 рр. та за даними маршрутного обліку дерев-живителів омели у 2017 р. не є статистично достовірною, що дозволяє уточнити зібрані раніше дані на ділянці № 12.

Таблиця 3

Результати статистичного аналізу дерев-живителів омели, таксономічна приналежність яких була визначена до роду на ділянці № 12

Родова назва деревної рослини	Вибірка, №	Об'єм вибірки	Частка деревних рослин	Помилка різниці між частками, S_{dp}	Достовірність різниці між даними польових спостережень за деревами-живителями омели	
					$t_{факт.}$	$t_{0,05}$
Тополя	1	147	0,368	0,127	0,26	1,96
	3	16	0,400			

За даними натурних спостережень у межах 15 досліджуваних ділянок омела біла була виявлена на 20 видах дерев: березі повислій (0,4 % від загальної кількості вражених омелою дерев), груші звичайній (0,1 %), вербі білій (0,4 %), каштані кінській (0,4 %), клені гостролистім (29,8 %), клені сріблястім (11,3 %), клені ясенелистім (0,5 %), липі європейській (0,5 %), липі серцелистій (1,8 %), осиці (3,6 %), робінії несправжньоакацієвій (4,6 %), горобині звичайній (1,6 %), тополі бальзамічній (8,2 %), тополі білій (0,2 %); тополі пірамідальній (гібридах) (0,6 %), тополі чорній (19,6 %), яблуні домашній (0,3 %), ясені американським (15,1 %), ясені високім (0,5 %), тополі Болле (0,8 %).

Досліджувана за МГК вибірка складалася з 15 об'єктів (квадратів), для кожного з яких було визначено значення 29 ознак: x_1 – щільність омели білої, куц./км²; x_2 – кількість дискретних груп омели, 1/км²; x_3 – середня відстань між деревами, м; x_4 – частка забудови; x_5 – кількість окремих сегментів насаджень; x_6 – частка зелених насаджень; x_7 – плямистість насаджень; x_8 – щільність вулично-дорожньої мережі, м/км²; x_9 – переважаючий вік дерев у насадженнях, р.; x_{10} – частка берези повислої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{11} – частка груші звичайної від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{12} – частка верби білої від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{13} –

частка каштану кінського від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{14} – частка клену гостролистого від загальної кількості вражених омелою дерев; x_{15} – частка клену сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев і т. д. (перелік включає усі види дерев-живителів, які було виявлено на ділянках, у тій послідовності, в якій їх наведено вище).

Аналіз за методом головних компонент.

На першому етапі аналізу по вихідним даним було побудовано матрицю кореляцій вимірюваних ознак. Для значимих відмінностей від нуля з $\alpha = 5\%$ коефіцієнти кореляції за абсолютною величиною повинні перевищувати 0,51 [12]. Беручи до уваги мету даного дослідження, розглянемо змінні, з якими корелює щільність омели білої, для яких коефіцієнти кореляції задовольняють такій властивості. Це виявилися 13 ознак: x'_2 (характеризує щіль-

ність дискретних груп омели), x'_8 , x'_9 (характеризують ландшафтні особливості), x'_{12} – x'_{17} , x'_{20} , x'_{22} , x'_{25} , x'_{26} , x'_{28} (характеризують дерев-живителів омели). Проаналізуємо отримані кореляції за допомогою методу головних компонент.

Визначення головних компонент здійснювалося по кореляційній матриці ознак, власні значення якої виявилися рівними 11,131, 5,833, 5,316, 2,008, 1,398, 1,385, 0,670, 0,483, 0,343, 0,231, 0,113, 0,066, 0,017 і 0,006.

Для визначення розмірності факторного простору був застосований критерій Кайзера: число компонент (факторів або осей) дорівнює числу власних чисел, які мають значення більше "1". Таким чином, доцільно розглянути перші шість головних компоненти, які спільно пояснювали 93,35 % загальної дисперсії, табл. 4 (нерівність (1) у такому разі виконується).

Таблиця 4

Статистичні характеристики головних компонент

№	Власні значення	Частка загальної дисперсії, %	Кумулятивне власне значення	Кумулятивна дисперсія, %
1	11,131	38,382	11,131	38,382
2	5,833	20,114	16,964	58,496
3	5,316	18,332	22,280	76,828
4	2,008	6,925	24,289	83,754
5	1,398	4,820	25,686	88,574
6	1,385	4,777	27,072	93,351

Далі було визначено перші шість власних векторів досліджуваної кореляційної матриці та коефіцієнти кореляції ознак (факторні координати, або навантаження) із головними компонентами. Факторні навантаження є аналогами парних коефіцієнтів кореляції. Вони характеризують міру взаємозв'язку між відповідними ознаками та факторами: чим більшою є абсолютна величина факторного навантаження, тим сильніший зв'язок між ознакою і фактором, тим більший внесок ознаки в фактор і тим більше цей показник зумовлює дію відповідного фактору. Особлива цінність отриманих факторних координат полягає в тому, що вони дозволяють визначити структуру головних компонент. Проаналізуємо отриману структуру факторів.

Перша виділена вісь F_1 є найбільш вагомою і пояснює 38,38 % загальної дисперсії. Вона має високі коефіцієнти кореляції (від 0,7 до 1) з ознаками 1, 2, 12–17, 20, 22, 25 і 26. Ці ознаки легко розбиваються на 2 групи показ-

ників: ознаки 1 і 2 характеризують поширеність омели білої у ландшафті, ознаки 12–17, 20, 22, 25 і 26 – дерев-живителів рослини. Друга виділена вісь F_2 пояснює 20,11 % загальної дисперсії і має високі коефіцієнти кореляції з ознаками 4, 6 (характеризують частку забудови і насаджень відповідно) і 29 (характеризує частку тополі Болле від загальної кількості уражених омелою дерев). Третя виділена вісь F_3 пояснює 18,33 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 5 (або кількістю окремих сегментів насаджень), 11, 18 і 19 (які характеризують дерев-живителів омели). Четверта виділена вісь F_4 пояснює 6,93 % загальної дисперсії і має високий коефіцієнт кореляції з ознакою 23 або часткою тополя білої від загальної кількості уражених омелою дерев. Для решти двох осей, які було виділено в аналізі, високих кореляцій з досліджуваними ознаками виявлено не було.

Результати перевірки факторної моделі на вдалість (2): при $m = 6$, $F_n = 3$, при цьому

перші три головні компоненти пояснюють 76,83 % дисперсії, а наступна компонента дає вклад у сумарну загальну дисперсію в 6,93 %. Це вказує на те, що дана факторна модель є задовільною.

Зупинимось детальніше на першій осі, яка враховує показник "Щільність омели білої, кущ./км²", а тому є найбільш цікавою. На основі значень факторних координат і знаків цих кореляцій її можна суб'єктивно позначити як "Параметри ландшафту, які тісно пов'язані зі щільністю омели білої".

На рис. 3 представлено графік факторних координат для першої та другої виділених осей. Оскільки поточний аналіз заснований на кореляціях, максимальне значення координати не може перевищувати 1,0. Крім того, квадрати всіх факторних координат для всіх змінних (тобто квадрати кореляцій між змінною та всіма факторами) не можуть перевищувати значення 1,0. Таким чином, всі факторні координати потрапляють в одиничну окружність, виведену на графіку. Дане коло є візуальним індикатором того, наскільки добре кожна змінна відтворюється поточним набором факторів.

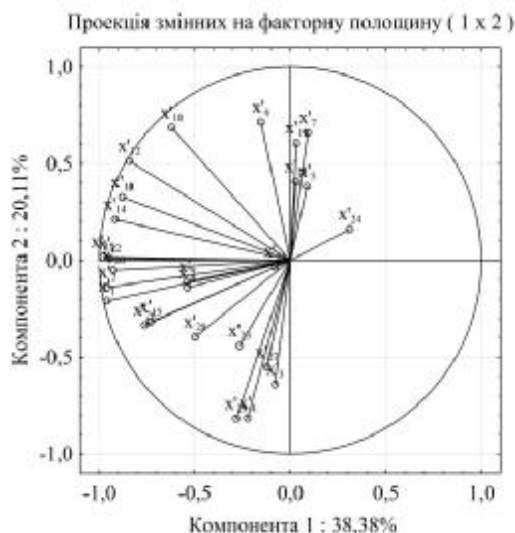


Рис. 3. Графік факторних координат

Так як змінні x'_{11} , x'_{12} , $x'_{12}-x'_{17}$, x'_{20} , x'_{22} , x'_{25} і x'_{26} розміщені досить близько до лінії одиничного кола, можна зробити висновок, що в системі знайдених координат вони відтворені досить добре.

На основі аналізу можна зробити висновок, що на фоні інших дерев-живителів, чисельність омели білої в ландшафті особливо тісно пов'язана з десятьма видами деревних рослин: верба біла, каштан кінський, клени

гостролистий, сріблястий та ясенелистий, липа європейська, робінія несправжньоакацієва, тополі бальзамічна і чорна, яблуня домашня.

Представники кожного із зазначених видів деревних рослин мають свою специфічну архітектуру і щільність крони, твердість деревини тощо. У той же час, отримані результати можна пояснити наступним чином. Верба біла є одним із видів, який досить часто зустрічається в прирічкових насадженнях, що виконують роль природного біокоридору для омелюхів, які, в свою чергу, є основним агентом розповсюдження омели білої в антропогенних ландшафтах регіону. Так, окрім ягід омели білої птахи цього виду можуть житися плодами горобини (*Sorbus* spp.), глоду (*Crataegus* spp.), шипшини (*Rosa* spp.), а також яблунь (*Malus* spp.), що в деякій мірі пояснює взаємозв'язки між омелою і яблунею на рівні ландшафту.

Тісна кореляція між щільністю омели білої і часткою тополі чорної від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами досліджень, опублікованих у [4, 6]. Так, після обстеження типових біотопів м. Луцьк В. В. Іванців та ін. [6] виявили значну кількість омели білої у Парку культури та відпочинку імені Лесі Українки. При цьому найвищий ступінь ураження напівпаразитом спостерігався у тополі чорної, яка вступила в сенільну фазу розвитку. Аналогічно дослідження особливостей ураження тополь у насадженнях м. Біла Церква [2] та його околицях [4] омелою білою також показали, що від впливу омели білої потерпає тополя чорна, яка досягає зрілої фази розвитку. Це можна пояснити тим, що тополя чорна, досягаючи зрілого та старого етапів розвитку, займає в насадженнях перший ярус, а тому досить помітна для численних птахів, які зупиняючись на дереві, сприяють поширенню омели. Так, за літературними даними [19], дерево може сягати 35 м заввишки та має потужну шатроподібну (або наметоподібну) крону.

Тополя бальзамічна та робінія несправжньоакацієва, аналогічно до тополі чорної, належать до великорозмірних деревних рослин. При цьому тополя бальзамічна може вирости до 25 – 30 м заввишки [18], набуваючи широкояйцевидної малогіллястої крони [20], а робінія несправжньоакацієва – до 20–35 м заввишки, набуваючи ажурної, розкидистої, широкоциліндричної крони [1]. Тісний взаємозв'язок між щільністю омели білої і

часткою клена сріблястого від загальної кількості вражених омелою дерев узгоджується з результатами польських [26] та американських [24] дослідників, а тісні кореляції між омелою та кленом гостролистим не суперечать результатам, опублікованим вітчизняними дослідниками у статті [7].

Дуже нечасто омела трапляється на 3 видах дерев: каштані кінським, клені ясенелистим і липі європейській (зазначені види дерев-живителів були виявлені лише на одному із 15 досліджуваних квадратів), тобто на фоні інших видів дерев-живителів ці види є найменш уразливими до впливу омели білої.

У цілому за результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої доцільно мінімізувати використання в озелененні населених пунктів Східного Лісостепу України верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої.

Висновки. Із засновуванням методів багатовимірної статистики визначено фактори довкілля, які сприяють поширенню омели на рівні ландшафту. Так, для підвищення рівня екологічної безпеки насаджень в умовах стрімкої інвазії омели білої слід мінімізувати використання в озелененні верби білої, кленів гостролистого і сріблястого, робінії несправжньоакацієвої, тополь бальзамічної і чорної, а також яблуні домашньої. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних екологічно обґрунтованих рекомендацій щодо управління популяцією омели білої в урбоекосистемах.

Отримані результати доцільно враховувати при створенні та реконструкції об'єктів зеленого господарства міст Східного Лісостепу України.

Подяки. Автор висловлює подяку Ю. І. Вергелесу за безцінну допомогу у вигляді консультацій і практичних рекомендацій по збору і систематизації зібраного в ході досліджень матеріалу.

Список літератури

1. Белая акация или робиния ложноакациевая, как правильно? [Електронний ресурс]. Режим доступу:

http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akacii_a.shtml.

2. Василенко І. Д. Боротьба з омелою на деревах тополі у зеленій зоні Білої Церкви. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. № 23 (12). С. 31–38.
3. Ефимов В. М. Многомерный анализ биологических данных : учебное пособие. Санкт-Петербург: Rizo-печать, 2008. 87 с.
4. Житово А. В. Стан полезахисних смуг в агроландшафтах півдня Київщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26 (1). С. 12–18.
5. История и архитектура Харькова. Основные этапы развития города. Формирование городской структуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html>.
6. Иванців В. В. Екологічні чинники погіршення стану деревних насаджень міста Луцька. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. праць*. 2013. № 10. С. 94–100.
7. Левон Ф. М. Створення зелених насаджень в умовах урбанізованого середовища: вимоги, лімітуючі чинники, шляхи оптимізації. *Науковий вісник Державного лісотехнічного університету України*. 2003. № 13 (5). С. 157–162.
8. Лисенко М. Зелені насадження в урбанізованому середовищі міста Івано-Франківська. *Вісник Прикарпатського національного університету імені В. Стефаника. Сер. «Біологія»*. 2007. № 7. С. 236–240.
9. Никитин А. Я. Анализ и прогноз временных рядов в экологических наблюдениях и экспериментах : учебно-методическое пособие. Иркутск: Иркутский государственный педагогический университет, 2003. 88 с.
10. Нікітенко Л. Омела дерева замела [Електронний ресурс]. *Україна молода: щоденна інформаційно-політична газета*. 2004. № 89. Режим доступу: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/>.
11. Доброчаева Д. Н., Котов М. И., Прокудин Ю. Н. и др. Определитель высших растений Украины. Киев: Наукова думка, 1987. 548 с.

12. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва : Наука, 1982. 287 с.
13. Радова В. Поширення омели в Умані вивчатиме спеціальна комісія [Електронний ресурс]. Умань інфо – інформаційний сайт м. Умань. 2013. Режим доступу: <http://uman.info/ua/news/poshyrenn-ya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011>.
14. Рибалка І. О. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharinum* L.) в Лісостеповій зоні України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. № 22 (15). С. 57–63.
15. Роговський С. В. Вікові дерева в зелених насадженнях Білої Церкви та їх роль у формуванні сучасного образу міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. № 24 (5). С. 46–51.
16. Рузова А. И. Использование метода главных компонент в экологии морского фитопланктона (обзор) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614-Ispolzovanie_metoda_glavnykh_k/1.html.
17. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. 223 с.
18. Тополь бальзамический – *Populus balsamifera* L. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>.
19. Тополь чёрный, или осокорь – *Populus nigra* L. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm>.
20. Тополя бальзамічна (*Populus balsamifera*) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>.
21. Фірсова А. А. Вплив забрудненої атмосфери на здоров'я людини [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf>.
22. Шевчук І. Б. Моделі компонентного та факторного аналізу розвитку системи дитячого оздоровлення в Україні. *Сталий розвиток економіки: міжнар. наук.-вироб. журн.* Хмельницький. 2013. № 3 (20). С. 12–17.
23. Baltazár, T. Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2015. Vol. 63 (5). P. 1441–1452.
24. Hawksworth, F. G. Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. *European Journal of Plant Pathology*. 1986. Vol. 16. P. 1–5.
25. Kartoolinejad, D. The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees. *International Journal of Environmental Research*. 2007. Vol. 1. P. 143–149.
26. Kolodziejek, J. Distribution, frequency and host patterns of European mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland. *Biologia*. 2013. Vol. 68. P. 55–64.
27. Zuber, D. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. *Flora*. 2004. Vol. 199. P. 181–203.
28. Stanton, S. A comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation. *Plant Systematics and Evolution*. 2009. Vol. 281. P. 161–169.

References

1. How is right: Robinia Pseudoacacia or White Acacia? URL: http://www.bestgardener.ru/flower/bel_akaciia.shtml (in Rus.).
2. Vasylenko, I. D., Filipova, L. M., Fuchylo, Ja. D. (2013) Fighting of the mistletoe on poplar trees in the green area of the city of Bila Cerkva. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 23, No. 12, pp. 31–38 (in Ukr.).
3. Efimov, V. M., Kovaleva, V. Ju. (2008) Multivariate analysis of biological data. Sankt-Peterburg: Rizo-pechat' (in Ukr.).
4. Zhytovo, A. V. The State of forest shelter belts in agricultural landscapes of the south of Kyiv region. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 26, No 1, pp. 12–18 (in Ukr.).

5. History and architecture of Kharkiv. The main stages of development of formation of the city. URL: <http://www.kharkov.ua/culture/1.html> (in Ukr.).
6. Ivantsiv, V. V., Ivantsiv, O. Ya. (2013) Ecological factors deterioration of wood plantations in town Lutsk. *Nature of Western Polissya and surrounding areas*, Vol. 10, pp. 94–100 (in Ukr.).
7. Levon, F. M. (2003) Creation of the green spaces in urban environment: requirements, limiting factors and ways of optimization. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 13, No 5, pp. 157–162 (in Ukr.).
8. Lysenko, M. (2007) Green areas in the urban environment of the city of Ivano-Frankivsk. *Scientific Journal of V. Stefanik Carpathian National University*, Vol. 7, pp. 236–240 (in Ukr.).
9. Nikitin, A. Ja., Sosunova, Y. A. (2003) Analysis and forecast of time series for environmental observations and experiments. Irkutsk: Irkutsk State Pedagogical University (in Rus.).
10. Nikitenko, L. (2004) Mistletoe widely spreads on hosts. *Ukraine is young – the daily information & political newspaper*. URL: <http://www.umoloda.kiev.ua/number/181/116/6274/> (in Ukr.).
11. Prokudin, Yu. N., ed. (1987) Identification guide of the higher vascular plants of Ukraine. Kyiv: Naukova dumka (in Rus.).
12. Pesenko, Yu. A. (1982) Principles and methods of numerical analysis in the faunistic research. Moscow: Nauka (in Rus.).
13. Radova, V. (2013) Mistletoe distribution will investigate a special commission in the city of Uman. Uman info – an information site of the city of Uman. URL: <http://uman.info/ua/news/poшыrennya-omely-v-umani-vyvchatyme-spetsialna-komisiya--3011> (in Ukr.).
14. Rybalka, I. O., Vergeles, Yu. I., Koval, I. M. (2012) Effect of the White Mistletoe (*Viscum album* L.) on dynamics of radial increment of the Silver Maple (*Acer saccharinum* L.) in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 7, No 15, pp. 57–63 (in Ukr.).
15. Rohovskyi, S. V. (2008). Features of the introduction optimization of recreational landscape at the sanatorium «Kvitka Polonyny». *Scientific Journal of NLTU Ukraine*, Vol. 18, No 12, pp. 50–59 (in Ukr.).
16. Ruzova, A. I., Krupatkina, K. Application of PCA in the ecology of marine phytoplankton (review). URL: http://www.vuzlib.com.ua/articles/book/21614_Ispolzovanie_metoda_glavny_kh_k/1.html (in Rus.).
17. Sorokin, O. D. (2008) Applied statistics on the computer. Novosibirsk: Institut pochvovedeniya i agrohimii (in Rus.).
18. Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.). URL: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/68.htm>. (in Rus.).
19. Black Poplar (*Populus nigra* L.). URL: <http://www.ecosystema.ru/08nature/trees/71.htm> (in Rus.).
20. Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.) URL: <http://fitoapteka.org/herbs-t/2251-populus-balsamifera>. (in Ukr.).
21. Firsova, A. A. The impact of polluted air on human health. URL: <http://www.udau.edu.ua/assets/files/zbirniki/conference/ekologiya/Firsova.pdf> (in Ukr.).
22. Shevchuk, I. B. (2013) Models of a component factor analysis and development of children's health in Ukraine. *Sustainable development of economics*, Vol. 3, No 20, pp. 12–17 (in Ukr.).
23. Baltazár, T., Pejcha, M., Varga, I. (2015) Modelling of the distribution of european mistletoe (*Viscum album*) with dependence on local factors in the Castle Park in Lednice. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 63, No 5, pp. 1441–1452.
24. Hawksworth, F. G., Scharpf, R. F. (1986) Spread of European mistletoe (*Viscum album*) in California, U.S.A. *European Journal of Plant Pathology*, Vol. 16, pp. 1–5.
25. Kartoolinejad, D., Hosseini, S. M., Mirnia, S. K., Akbarinia, M., Shayanmehr, F. (2007) The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees. *International Journal of Environmental Research*, Vol. 1, pp. 143–149.
26. Kolodziejek, J., Patykowski, J., Kolodziejek, R. (2013). Distribution frequency and host patterns of European

- mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland. *Biologia*, Vol. 68, pp. 55–64.
27. Zuber, D. (2004). Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. Flora, Vol. 199, pp. 181–203.
28. Stanton, S. A., Honnay, O., Jacquemyn, H. (2009). Roldan-Ruiz comparison of the population genetic structure of parasitic *Viscum album* from two landscapes differing in degree of fragmentation. *Plant Systematics and Evolution*, Vol. 281, pp. 161–169.

I. O. Rybalka, assistant

O. M. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy
Revoliutsii str., 12, Kharkiv, 61002, Ukraine

TO ECOLOGICAL SAFETY OF GREEN PLANTATIONS UNDER THE RAPID INVASION OF THE WHITE MISTLETOE (*VISCUM ALBUM* L.)

A short description of the issue. Environmental factors that contribute to the rapid spread of the White Mistletoe (*Viscum album* L.) have been investigated for increase in the level of the ecological safety of green plantations.

The White Mistletoe is an evergreen hemiparasitic dwarf shrub with persistent haustoria. A dwarf's diameter may reach up to 90 (100) cm, and the lifespan – over 40 years. The Mistletoe is known to cause deterioration of tree health (i.e. trees infested by the White Mistletoe show increased defoliation and dieback, reduced growth and productivity) as well as aesthetic appearance.

A number of fruit-eating birds such as the Waxwing and the Mistle Thrush disperse this dwarf shrub. Mistletoe «seeds» survive the passage through the digestive tract of birds unharmed and are released with the faeces.

Modern distribution range of the White Mistletoe in Europe extends from 10° W to 80° E and from about 35° S to 60° N. The limiting factor for the northern and eastern distribution of mistletoe is mean annual temperature.

Nowadays due to global climate change the range of the White Mistletoe's distribution is expanding both northward by latitude and upward by altitude in mountain areas. In many cities of Ukraine the White Mistletoe has been a common and widely distributed species.

The aim of the study is to determine the relationship between the White Mistletoe density and environmental factors in urban landscapes to provide the ecological safety of green plantations.

Materials and methods. Field surveys were carried out in the city of Kharkiv (Ukraine). Sample plots were located within north, northeast, central, west and southeast parts of the city. We used semi-quantitative indexes as a proxy of the White Mistletoe abundance at individual infested tree as follows: "1" was assigned for the range of the Mistletoe individual dwarves from 1 to 5, "2" – from 6 to 10, "3" – from 11 to 20, "4" – from 21 to 40, etc.

For determination of the White Mistletoe populations' age structure we established three age classes determined visually. When the White Mistletoe did not produce fruits and its diameter was from 0 to 25 cm, the plant was considered as «juvenile», for the plants with flowers or fruits and diameter from 25 to 50 cm the «generative» age class was assigned, and the shrubs with diameters over 51 cm were considered as "senile".

Depending on the actual age structure of local populations their population trends ("stable", "growing", "declining") were established.

The principal component analysis was conducted in order to determine relationships between The White Mistletoe density and landscape characteristics.

Research results. *With the use of principal component analysis environmental variables which influence rapid spread of the White Mistletoe on the level of landscape were evaluated. The White Mistletoe depending prevailing shares of the White Mistletoe hosts: White Willow, Norway Maple, Silver Maple, Robinia Pseudoacacia, Balsamic Poplar and Black Poplar and Garden Apple.*

Research results should be considered when developing and reconstructing gardening in cities Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Further research should be directed to the developing of environmentally sound recommendations on the White Mistletoe population management in urban ecosystems.

Acknowledgements. *The author sincerely acknowledges Mr Yuri Vergeles (O. M. Beketov NUUEK) for invaluable assistance in consultations and practical recommendations on the collection and systematization of research material and participation in some field observations.*

Keywords: *the White Mistletoe, urban landscape, principal component analysis, factors of dissemination.*

Рецензенти: Аніщенко Л. Я., д.т.н., доцент,
Стольберг Ф. В., д.т.н., професор.

Т. В. Солодовнік, к.х.н., доцент,
e-mail: t.solodovnik@chdtu.edu.ua

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,
e-mail: radikal@ukr.net

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

ВИРІШЕННЯ АКТУАЛЬНИХ ПИТАНЬ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАУКОВЦЯМИ МІЖНАРОДНОГО РІВНЯ В РАМКАХ ПРОЕКТУ «ВОДНА ГАРМОНІЯ»

В роботі проведено аналіз основних статей, наукових збірників, матеріалів монографій, дослідницьких робіт, в яких в повній мірі відображаються напрямки наукової роботи дослідників з університетів-партнерів, що працюють в рамках проекту «Водна Гармонія». Показані загальні підходи до регулювання водопостачання та водовідведення, які направлені на виконання вимог до стічних вод, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стоків і очисних споруд. Висвітлені основні напрямки розробки технологічних схем очистки стічних вод з використанням ефективного сучасного обладнання. Подано характеристику і напрямки вдосконалення систем очищення на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловостей, які містять різноманітні за складом стічні води зі специфічними домішками. Наведені рекомендації щодо дослідження, класифікації та очищення побутових стічних вод. Відмічено, що значну увагу науковці проекту приділяють фізико-хімічним методам очищення стічних вод, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними методами. Розглянуті шляхи знешкодження та переробки осадів (шламів), що утворюються в процесах водоочищення.

Ключові слова: водоочищення, питна вода, стічні води, фільтрація, коагуляція, сорбція, шлам.

Вода – це унікальний та безцінний дар природи, який забезпечує існування всього живого на планеті Земля. Переоцінити значення води для існування живих організмів практично неможливо. Аналізуючи важливість води для усіх живих організмів, приходять на думку вислів Антуана де Сент-Екзюпері, який він присвятив саме воді: «Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти – саме життя ... Ти найбільше багатство у світі!». Людині необхідно постійно підтримувати і оновлювати запаси води в організмі, споживаючи на добу не менше 2-3 літрів якісної питної води. Завдяки швидкому зростанню населення планети, зростає і споживання води, що призводить до виникнення проблеми забезпечення водою людства. Наявність якісної питної води – одна з глобальних проблем сучасної цивілізації і пов'язана вона з тим, що запаси прісної води дуже обмежені. Аналізуючи ситуацію з прісною водою у світі, Рада ООН з прав людини ухвалила резолюцію, яка визначає основним правом людини – право на воду і санітарію. Основна маса прісної води

повертається в кругообіг, однак повертається вона забрудненою і потребує якісного та вартісного очищення. Комплексний підхід до проблем економії води, охорони водойм від шкідливих забруднень, ретельної очистки побутових та стічних вод дозволить зменшити антропогенне забруднення водних ресурсів, і буде сприяти вихованню в кожній людині культури поводження з водою.

Науковці та фахівці з 10 університетів різних країн, а саме: Норвегії, Німеччини, Польщі, України, Китаю та Шрі-Ланки об'єднали свої зусилля в рамках європейського проекту «Водна Гармонія», «Water Harmony» Erasmus+ «Розвиток ступеневої освіти за напрямом очищення води» ("Harmonising water related graduate education") та проводять спільні теоретичні та практичні дослідження, які направлені на покращення якості освіти студентів профільних спеціальностей та на удосконалення існуючих і розробку нових сучасних напрямків з питань водоочищення та водопідготовки.

Отримані результати відображаються в підручниках [1], монографіях та наукових статтях.

У даній роботі, в анотаційній формі, представлено огляд основних статей, наукових збірників, матеріалів монографій, дослідницьких робіт, що в повній мірі відображають напрямки наукової роботи дослідників з університетів-партнерів різних країн, які направлені на забезпечення потреб людства в питній воді високої якості.

Законодавство у водо підготовці. У всіх країнах, які представлені в проекті «Водна гармонія» загальні підходи до регулювання водопостачання та водовідведення направлені на виконання вимог до стічних вод, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стоків і очисних споруд. Науковці університетів-партнерів активно долучаються до розробки основних регламентів, нормативної та технічної документації підприємств з метою раціональної організації процесів водоочищення і водопідготовки. Авторами [2], описана структура водопостачання в Німеччині і наведена характеристика водних ресурсів, які використовуються. Надається огляд по юридичним вимогам до питної води і описані джерела забруднюючих речовин. Обговорюється різноманіття захисту щодо ресурсів підземних вод і джерельної води, озер, водосховищ і річкової води. Наведено приклади схем очищення і принцип транспортування річкової води в якості першого кроку обробки.

В іншій роботі [3] наводяться результати статистичного дослідження побутових стічних вод. Було оброблено більше ніж 130 посилок, оцінка яких проводилася з акцентом на європейські стандарти. Різні значення були проаналізовані з використанням статистичних параметрів. Зібрані дані включають обсяги і характеристики органічних забруднень (ХПК і БПК), окремих елементів (N, P, K і S) і важких металів для різних джерел та розділених потоків стічних побутових вод. Порівняння проводилось між даними з різних регіонів з метою оцінки впливу відмінностей в харчуванні і звичках. Встановлено, що знання концентрацій або навантажень в потоках стічних вод є однією з основних умов для проектування установок з очищення стічних вод і оцінці впливу на навколишнє середовище.

Обладнання водоочисних споруд. При розробці технологічних схем очистки стічних вод найважливішим питанням є вибір техно-

логії очистки та ефективного сучасного обладнання. Науковці проекту приділяють особливу увагу розробці нових та вдосконаленню вже існуючих типів обладнання для процесів водоочищення. В роботі [4] було досліджено застосування цеолітів як іонообмінників для вирівнювання пікових навантажень аміаку в газових біологічно активованих фільтрах. Встановлено, що надлишок цеоліту може зрівняти варіації аміаку, особливо в блоках фільтрів, які працюють з високою швидкістю нітрифікації і які дуже чутливі до різних умов. І тому, модернізація нітрифікуючих фільтрів цеолітом є додатковою безпекою для стічних вод, що містять коливальні концентрації аміаку.

Комбінація фізичних та біологічних процесів очищення дозволяє досить ефективно проводити очисні дії для стічних вод специфічних виробництв. Автори [5] представили пілотну установку, яка об'єднує флотацію розчиненим повітрям, анаеробну деградацію в розширеному шарі гранульованого осаду і аеробну доочистку в вертикальному потоці, яка використовувалась для очистки стічних вод виробництва крохмалю з тапіоки впродовж 2,25 років. Показано, що органічні речовини, азот і ціанід можуть бути видалені дуже ефективно при стабільних умовах експлуатації. Ефективність видалення фосфору нижча і складає приблизно 50%. Дана технологія включає в себе кілька позитивних аспектів, наприклад, низькі вимоги по експлуатації та мінімальне використання хімічних речовин і це може бути цікаве для малих і середніх переробних заводів тапіоки.

Промислові та побутові стічні води.

На сьогоднішній день стічні води промислових підприємств є одними з найбільш небезпечних джерел забруднення поверхневих водойм та ґрунтових вод. Стічні води, які утворюються на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловості є різноманітними за складом і містять специфічні домішки, склад і кількість яких залежить від технології та потужності процесу конкретного виробництва. Науковці проекту залучаються до дослідження та вирішення проблем очистки стічних вод як в цілому, так і для конкретних специфічних виробництв. Так наприклад, актуальним питанням є очищення стічних вод красильних виробництв, які містять велику кількість не тільки розчинних барвників, а і цілий комплекс неорганічних забруднювачів.

Авторами [6] вивчались особливості процесів вилучення барвників, а саме бром фенолового синього при використанні технології флотоекстракції. Були досліджені характеристики взаємодії барвника з хлоридом цетилпіридинію, який є катіонною поверхнево-активною речовиною. На основі термодинамічних розрахунків було встановлено, формування комплексу між йонами барвника та ПАР відбувається самочинно і не потребує накладання зовнішніх сил.

В іншій роботі [7] вивчався процес вилучення зі стічних промислових вод активного яскраво-помаранчевого барвника КХ. За допомогою квантово-хімічних розрахунків було доведено доцільність використання для цього процесу реактиву Фентона. На основі, проведених експериментальних досліджень запропоновано механізм окиснення барвника активного яскраво-помаранчевого КХ системою фото-Фентон.

В красильних виробництвах найчастіше використовуються розчинні барвники, видалення яких зі стічних вод є найбільш актуальним питанням. В роботі [8] вивчалась сорбція розчинних барвників, таких як прямого блакитного, кислотного червоного, яскраво-блакитного на хітинвмісних комплексах, що були отримані з відходів біотехнологічного виробництва лимонної кислоти. Автором була проведена кількісна оцінка величини сорбції та надані рекомендації щодо застосування комплексів для очистки водних розчинів в широких межах рН.

Для видалення різного типу барвників із стічних вод розробляються не тільки нові методи, а і синтезуються нові типи сорбентів, флокулянтів, коагулянтів. У статті [9] розглядається реальний і економічно вигідний метод низькотемпературного синтезу TiO_2 , що дозволяє певним чином впливати на структурно-сорбційні характеристики та фотокаталітичну активність зразків не за рахунок зміни температури кінцевої обробки, а скоріше шляхом варіювання добавки осаджувача і модифікатора. Цей метод дає можливість отримати нанодисперсний TiO_2 з розвиненою питомою площею поверхні і високою фотокаталітичною активністю щодо барвників аніонного і катіонного типу. Доведено, що отримані відповідно даного методу зразки TiO_2 виявляють вищу активність в порівнянні з комерційними продуктами.

Авторами [10] досліджувався новий сорбент на основі сапоніту і магнетиту (від 3 до

10 мас.%). В ході експерименту вивчались адсорбційні властивості по відношенню до барвників та встановлено, що сорбенти мають високу сорбційну здатність (максимальна сорбційна ємність для малахітового зеленого досягає 324,50 мг/г), яка значно вища, ніж при їх окремому використанні: сапоніт (105,71 мг/г) і магнетит (36,71 мг/г). Розраховані параметри рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра показують, що сорбент виявляє селективність по відношенню до барвників катіонного типу. Було встановлено, що сорбція барвників на магнетитонаповнених сорбентах протікала з більш високою швидкістю в порівнянні з сапонітом. При видаленні використаних сорбентів з води за допомогою магнітної сепарації, було встановлено, що ефективне видалення магнітонаповнених сорбентів з водного середовища, можливе з насадками у вигляді нікельованих сталевих сіток. Показано, що використання магнітонаповнених сорбентів дозволяє очищати робочі середовища від барвників з високою ефективністю, яка складає близько 90-96%.

Науковці країн-партнерів приділяють особливу увагу дослідженню побутових стічних вод та методам їх очищення. Побутові стічні води утворюються внаслідок діяльності населення і потенційно мають шкідливий вплив на навколишнє середовище при скиданні без належної очистки. Туалетна стічна вода або «чорна вода» містить сечу, фекалії, туалетний папір і промивну воду. Авторами [11] пропонується очищення «чорної води» за допомогою хімічних методів. Основною метою даного дослідження було визначення можливостей та придатності традиційних коагулянтів і полімерних флокулянтів для видалення твердих часток, органічних речовин і фосфору. Випробувались коагулянти на основі алюмінію та заліза, органічні поліелектроліти, а також різні їх комбінації з використанням лабораторних методів. Найбільш важливим параметром під час коагуляції є рН, який залежить від типу і доз солей металу. Експериментальні випробування показали, що катіонні полімери з низькою молекулярною масою і високим зарядом є найбільш ефективними в комбінації з алюмінієвими коагулянтами.

Методи очищення стічних вод. В процесах очистки стічних вод широко застосовуються фізико-хімічні методи, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними. До

найбільш розповсюджених методів очищення відносяться: окислювальні та мембранні процеси, флоатація, коагуляція, іонний обмін, адсорбція, екстракція, ректифікація, випарювання, дистиляція, гіперфільтрація (зворотний осмос) та ультрафільтрація, кристалізація, а також методи, пов'язані з накладанням електричного поля – електрокоагуляція, електрофлоатація, електроліз та ін.

Дослідницька група з питань водних ресурсів, екології, санітарії та охорони здоров'я (WESH - Water, Environment, Sanitation and Health), яка працює на кафедрі математичних наук і технологій (ИМТ) Норвезького університету природничих наук (NMBU) під керівництвом професора Харша Ратнавира фокусує свою увагу на дослідженні проблем, пов'язаних зі стічними та питними водами і бере активну участь у навчанні та підготовці магістрів та аспірантів в області технології води. Більшість робіт цієї творчої групи присвячена використанню флоатації та коагуляції в процесі очистки води. За їх думкою формування і ріст флокульованого осаду є дуже важливими характеристиками при коагуляції. [12]. Форма і розмір флокул сильно впливають на ефективність очищення після коагуляції і основними параметрами флокул є доза та час коагуляції. У даній статті було розглянуто три методи розпізнавання структури, які оцінювали на здатність математично описати взаємозв'язок між зображенням флокул і дозами коагулянтів. Результати структурного аналізу зображень в поєднанні з багатовимірними методами моделювання показали, що можна охарактеризувати і зв'язати зображення флокул, отриманих під час коагуляції, з різними дозами коагулянтів, а також прогнозувати дозування.

Авторами [13] показано, що коагуляція є важливим процесом для видалення зважених і колоїдний часток з питної і стічних вод. Проте, поки ще не розроблено загальноприйнятого математичного опису даного процесу. Встановлено, що оптимізація процесу і контроль, як правило, засновані на даних з тестувань підбору складу коагулянту і оптимального рН і з концепції простого пропорційного дозування потоків, в той час як починають з'являтися більш точні параметри якості води, які можна виміряти онлайн. Крім того, були спроби розробити датчики програмного забезпечення та схем управління, що включа-

ють сучасні математичні аналізи цих параметрів. У статті представлено огляд параметрів і фізичних характеристик датчиків. Практичне застосування різних методів контролю наведені для того, щоб проілюструвати сучасний стан контролю процесу коагуляції.

У роботі інших авторів [14] обговорюються результати лабораторних досліджень коагуляції і флокуляції модельних розчинів стічних вод. Досліджувані стічні води піддаються очистці за допомогою хімічної коагуляції. В статті наведені результати порівняння ефективності двох типів коагулянтів: поліоксихлориду алюмінію PAC (виробництва DEMPOL-ECO) і коагулянту на основі заліза PIX (виробництва KEMIPOL). Розроблено математичну модель, спираючись на поліном другого ступеня, який був використаний для опису і аналізу експериментальних даних. У кожному випадку параболічною точкою мінімуму була точно визначена доза коагулянту, яка вважається оптимальною. Застосування коагулянту вищої дози за оптимальну знижує ефективність очищення стічних вод шляхом коагуляції. Аналіз каламутності, зважених речовин, загального фосфору і забрудненості, виміряної за допомогою тесту ХПК показали, що PAC був більш ефективним, ніж коагулянт PIX. Ризик передозування коагулянту був більший з використанням PAC, ніж PIX.

Німецькими партнерами в роботі [15], проведено порівняльний аналіз лужних і кислотних алюмінієвих коагулянтів (ALTON, квасци алюмінію і PAX 18) з використанням модельних водних розчинів і розчинів гумусових речовин. Лужний коагулянт був настільки ж ефективним, як і квасци щодо каламутності і видалення гумусу, але менш ефективний ніж PAX 18 при видаленні мутності. Що стосується осадження фосфору, квасци показали кращі результати, потрібна більша доза ALTON, щоб отримати такі ж результати, а PAX 18 був найменш ефективним. Авторами запропонований спрощений підхід для прогнозування кінцевого значення рН в обробленій воді. Теоретичні значення рН досить добре узгоджені з експериментальними даними в усіх досліджених системах. Додавання лужного коагулянту на стадії активації мулу для очистки стічних вод збільшили максимальну швидкість його нітрифікації.

Для сьогодення актуально вивчення властивостей нових коагулянтів на основі

чотирьохвалентних іонів цирконію та титану, які є ще недостатньо дослідженими та мало-конкурентноспроможними. Авторами [16] вивчалися процеси коагуляції і гелеутворення золів в водному розчині хлороксиду цирконію і властивості гідратованих золів діоксиду цирконію в залежності від рН, розміру частинок, динамічної в'язкості. Визначено граничні значення концентрації і температури гідратованих золів діоксиду цирконію, а також були знайдені константа коагуляції, енергія активації гелеутворення і значення теплового ефекту.

В статті [17] порівнювалась ефективність функціонування різних фільтруючих систем по відношенню до забруднень, що сорбуються та біоокислюються. Теоретично і експериментально показано, що біоконверсія забруднень води на гравітаційних фільтруючих завантаженнях є ефективним способом очищення води. Біоконверсійна стадія очищення води реалізована в режимі циркуляційної фільтрації на комбінованому піщано-вугільному завантаженні з подальшим видаленням продуктів розпаду бульбашково-плівковою екстракцією. Шляхом співставлення результатів аналізів, показана перспективність використання комбінованої (фільтраційно-флотаційної) системи очищення (доочищення) води.

В пошуках ефективних методів очищення стічних вод науковцями проекту проводяться дослідження направлені на застосування процесів електрокоагуляції, електрофлукуляції і електродіалізу для очищення водних розчинів від різного типу розчинних і диспергованих домішок. Електрохімічні методи дозволяють очищати стічні води від забруднювачів при використанні відносно простої технологічної схеми очищення не використовуючи хімічних реагентів. В роботі [18] представлені результати процесу електрокоагуляції для змодельованого в лабораторних умовах зразка стічних вод з використанням залізних електродів. Досліджуваний зразок води був підготовлений до електричної обробки, а змодельована система підтримувала продуктивність аналізу в семи повторних дослідках, створюючи базу даних для достовірної статистичної та математичної обробки. Електрокоагуляція стічної води проводилась за допомогою хронопотенціометричної установки в статичних умовах при постійній силі струму $I = 0,3$ А. Результатом досліджень було визначення таких показників як рН, ка-

ламутність, хімічне споживання кисню, концентрація зважених твердих частинок та сумарна концентрація фосфору в очищених стічних водах після електрокоагуляції. Було запропоновано новий метод визначення оптимальної дози залізного електрокоагулянту. Запропонований метод теоретично обґрунтовано і продемонстровано практично, а також доведено, що він надає можливість точно визначити дозу електрокоагулянту. Використання алюмінієвих електродів [19], дозволяє збільшити ефективність видалення сполук фосфору з модельних розчинів стічних вод за рахунок збільшення дози електрокоагулянту. Також в даній роботі запропоновано новий метод визначення оптимальної дози алюмінію шляхом застосування функції поліному третього ступеня.

Актуальним питанням в процесах очистки стічних вод є видалення органічних речовин. У статті [20] авторами запропоновано механізм видалення природних органічних речовин шляхом ультрафільтрації з дозуванням коагулянту в потоці. У статті визначено оптимальні умови ведення процесу, а саме: тип і доза коагулянту, діапазон температур і рН, тривалість контакту.

Для очистки води від токсичних домішок в процесі водопідготовки ефективно застосовують різноманітні окисники, серед яких важливе місце займає озono-повітряна суміш. Авторами в роботах [21, 22, 23] розглянуто механізми хімічного розкладання озону у водних розчинах з отриманням ефективних окислювачів, тобто кисневмісних радикалів. Були визначені залежності поточних концентрацій окислювачів від вихідної концентрації озону, температури та рН вихідних модельних розчинів стічних вод. Запропоновано [24] в якості ефективного окислювача органічних сполук використовувати розчин, що містить розчинник, озон, воду і активні реагенти. Встановлено, що вихідна концентрація окислювача є основним показником для отримання необхідної концентрації радикалів. Вивчено і запропоновано кілька методів хемодеструкції озону у водних розчинах органічних сполук. Також в роботі [25] представлені результати розробки ефективної технології застосування цілого ряду окислювачів для очистки стічних вод промислових підприємств.

Ефективним методом очищення стічних вод є сорбційний метод, який зазвичай використовується для очищення стоків забрудне-

них ароматичними сполуками, барвниками, аліфатичними сполуками, неелектролітами або слабкими електролітами. Розробка ефективних та екологічно безпечних сорбентів завжди є актуальним питанням. Науковці та дослідники проекту «Водна гармонія» в своїх працях приділяють значну увагу дослідженню сучасних тенденцій розвитку сорбційних процесів в питаннях водоочищення. Авторами [26] було досліджено видалення природних органічних речовин (ПОР) чотирма різними гранульованими сорбентами: активованим вугіллям, аніонообмінною смолою, активованим оксидом алюмінію і гранульованим гідроксидом заліза. Визначено кінетичні параметри та проведений адсорбційний аналіз, який був застосований для опису сорбційних рівноваг. Експериментальні дослідження проводились на модельній установці в умовах поверхневої дифузії для дослідження поглинання ПОР в колонках з нерухомим шаром каталізатора. Отримані результати показали, що адсорбція ПОР активованим вугіллям і активованим оксидом алюмінію може бути змодельована досить успішно методом, який використовується, а поглинання ПОР аніонообмінною смолою, може бути передбачене за ємністю, в той час як двох кінетичних параметрів явно недостатньо, щоб правильно описати швидкість поглинання. Адсорбція ПОР гранульованим гідроксидом заліза виявилась дуже повільною, яка не може бути передбаченою з використанням параметрів, отриманих з даних експерименту.

В роботі [27] наводяться результати синтезу магнітних композитних сорбентів на основі сапонітових глин з різним вмістом магнетиту (2-7 мас.%). Зразки аналізували за допомогою методів дифракції рентгенівських променів. Було встановлено, що магнітні нанокompозити мають більш розвинену поверхню мікропор і мезопор в порівнянні з сапонітовою глиною. Були визначені сорбційні властивості магнітних нанокompозитних сорбентів та встановлено, що їх ефективність значно вища, ніж окремі фази композиційного матеріалу. Також було показано, що всі відпрацьовані композитні магнітні сорбенти успішно видалені з водного середовища за допомогою магнітної сепарації.

Перспективним напрямком в галузі водопідготовки є використання сорбентів для вилучення важких металів з водних розчинів.

Авторами [28] вивчались закономірності адсорбції катіонів важких металів з водних розчинів за допомогою нанокompозитного сорбційного матеріалу на основі активованого вугілля і нанодисперсного оксиду цирконію (IV). При отриманні нанокompозиту використовувався метод хімічного осадження з гомогенної фази при використанні сечовини в якості осаджувача. За ізотермами сорбції нанокompозитним матеріалом різних катіонів важких металів були визначені кінетичні параметри. Потенціометричним методом титрування та інфрачервоною спектроскопією визначався механізм взаємодії сорбційного матеріалу нанокompозиту з катіонами важких металів (на прикладі іонів заліза). В результаті дослідження показано, що ефективність сорбційного вилучення катіонів важких металів за допомогою синтезованих нанокompозитних матеріалів на основі активованого вугілля і нанодисперсного оксиду цирконію (IV) зростає зі збільшенням їх заряду і розміру (максимальний ступінь вилучення спостерігається в разі використання заліза (III)). Також з'ясувалося, що адсорбція всіх досліджуваних катіонів важких металів відбувається відповідно до моделі Ленгмюра і має хімічну природу взаємодії: міцність хімічного зв'язку «адсорбат-адсорбент» тим більша, чим менше розмір катіонного забруднювача. Під час вилучення катіонів важких металів за допомогою синтезованих нанокompозитних матеріалів існує в основному необоротна специфічна адсорбція з утворенням β -FeOOH-типу кристалічної структури на поверхні нанодисперсного оксиду цирконію (IV).

З метою удосконалення сорбції катіонів важких металів в процесах доочистки питної води науковцями проекту проводяться дослідження направлені на розробку нових типів сорбентів на основі природних речовин. В роботі [29] наведені результати дослідження сорбційних властивостей хітинвмісних сорбентів, які синтезовані з відходів біотехнологічного виробництва лимонної кислоти. Вивчався процес видалення важких металів (Cu (II), Zn (II), Cr (VI), Cd (II), Pb (II)) з водних розчинів та досліджувався вплив фізико-хімічних параметрів природного сорбенту на ефективність вилучення йонів важких металів в процесах доочистки питної води. На прикладі сорбції йонів свинцю описано механізм сорбційного процесу методом молекулярної меха-

ніки MM+, який підтвердив утворення халатних комплексів в системі Pb(II) – хітин.

Авторами цілого ряду робіт проведені дослідження направлені на вивчення адсорбційних властивостей модифікованих форм бентонітових глин. Наведені результати експериментальних випробувань вказують на ефективність використання активованих природних сорбентів для вилучення пестицидів з поверхневих вод [30, 31, 32, 33].

Також були представлені результати досліджень хемодеструкції органічних сполук стічних вод хімічних виробництв та надані порівняльні характеристики каталітичної активності активованого вугілля та ряду модифікацій активованих природних сорбентів [34].

Забруднення природної води миш'яком є проблемою у всьому світі. Токсичність миш'яку для людини добре відома, так прийом всередину в невеликих кількостях призводить до поступового отруєння, а доза 0,2 г на кг ваги людини може бути летальною. Більшість країн, останнім часом, змінили норми концентрації миш'яку в питній воді від 50 мкг/л до 10 мкг/л. Було запропоновано кілька технологій для того, щоб задовольнити нові критерії якості води, а саме, використання процесів хімічного осадження та сорбційних процесів, коагуляції та мембранних технологій. Застосування спеціальних залізовмісних сорбентів виявилось найбільш перспективним для вирішення цієї проблеми. В роботі [35] висвітлені результати порівняння ефективності різних комерційно доступних миш'як-селективних сорбентів зі спеціально розробленими гібридними сорбентами. Встановлено, що комерційно доступні сорбенти є менш ефективними, так як вони можуть бути регенеровані тільки виробником. У той час як гібридні сорбенти регенеруються прямо в фільтрі і можуть використовуватись безпосередньо у виробничому циклі.

На сьогоднішній день, одним з типових процесів у технології водопідготовки та водочищення, а також одним із перспективних сорбційних методів є іонний обмін, який здійснюється при застосуванні різноманітних іонообмінних матеріалів. Основними напрямками застосування іонітів є пом'якшення та демінералізація води, а також очистка стічних вод промислових підприємств. Авторами [36] розроблено технологію та створено апарат пом'якшення та очищення води в іонообмінному фільтрі безперервної дії, який одночасно

суміщує процеси очищення води та регенерації сорбенту з мінімальними втратами енергії і реагентів. На відпрацьованій іонообмінній смолі вивчена технологія безперервної водопідготовки замкнутого водооборотного циклу, як сфери життя водних організмів.

Також у роботі [37] досліджувались аніоніти, які насичені гуміновими речовинами під час промислової очистки стічної води. Встановлено, що в процесі очистки промислових вод гумінові речовини сорбуються аніонітами та рівномірно розподіляються в шарі аніоніту. Для порівняння досліджувались сорбційні характеристики по відношенню до іонів заліза (II) чистих аніонобмінних смол та смол насичених гуміновими речовинами. Отримані дані свідчать про те, що поглинання Fe(III) гідроксидів відбувається в обох випадках, але для аніонітів, насичених гуміновими речовинами кількість гідроксидів вища, ніж для смол ненасичених гуміновими сполуками. Доведено, що поглинання Fe(III) гідроксидів відбувається завдяки взаємодії між залізовмісними речовинами і гуміновими сполуками на поверхні аніоніту.

Мембранні технології дозволяють вирішувати широкий спектр задач очистки води і надають можливість використовувати нетрадиційні джерела водопостачання, а також забезпечують високий рівень автоматизації, ефективного використання доступних виробничих площ, знижують кількість використаних хімічних реагентів, а також сприяють проектуванню більш гнучких модульних систем [1].

Науковцями проекту, в роботі [38], розглядалось декілька традиційних і нетрадиційних технологій, що використовують мембранні і іонні методи обміну. Аналіз оптимізації основних експлуатаційних витрат процесів демінералізації води Чорного моря показав, що двоступеневий зворотній осмос з використанням середньої і низької щільності мембран можна з успіхом використовувати замість звичайного високого тиску. Це дозволяє знизити основні експлуатаційні витрати на 15-28%. Питна вода може бути отримана шляхом застосування двохстадійного процесу, заснованому на нанофільтрації та мембранних елементах з низькою щільністю. Показано, що основні експлуатаційні витрати на 15-35% нижче в порівнянні зі звичайними процесами обробки морської води.

На сьогоднішній день надзвичайно популярним напрямком в мембранній технології є створення мембранних систем, наповнених

функціональними матеріалами. Використання природних матеріалів в мембранах сприяє покращенню їх проникливості, підвищенню стійкості, механічної та термічної стабільності, а також природні полімерні матеріали можуть надавати мембранам нових унікальних властивостей. Авторами [39] пропонується в якості наповнювачів застосовувати природні полісахариди, а саме хітин та хітозан, які характеризуються унікальними та особливими хімічними та біологічними характеристиками, біосумісністю та бактерицидністю а також здатністю до хелатоутворення з іонами важких металів. В роботі [40] наведені результати дослідження хітозанових плівок, сформованих сухим способом та розглянуті можливості їх модифікації з метою упорядкування структури та зменшення розчинності. На думку авторів досить актуальним є питання іммобілізації хітозану на поверхні мембран з метою покращення їх функціоналізації.

Дослідження осаду. Технологічні процеси водопідготовки завжди супроводжуються утворенням великої кількості відходів, які, в свою чергу, є шкідливими забруднювачами навколишнього середовища. Серед тих відходів, які супроводжують процес водоочищення, слід відзначити небезпечні та токсичні шлами різноманітних виробництв. В зв'язку з цим, в роботах науковців проекту приділяється особлива увага проблемам знешкодження та переробки відходів водоочищення. Авторами [41] показано, що структура шламу тісно пов'язана з процесом очистки стічних вод. В роботі вивчався процес коагуляції синтетичних барвників з стічних вод з використанням коагулянтів PAX і PIX і електрокоагуляції на алюмінієвому електроді. В процесі очистки стічних вод також використовувався органічний полімер. Зображення поверхневих структур досліджуваного шламу були отримані з використанням сканувального електронного мікроскопу (SEM). Аналіз, отриманих результатів дозволяє встановити вплив структури досліджуваного шламу на процес осадження та його зневоднення.

Деякі дослідники розглядають шлам, який отримують при очистці стічних вод, як джерело для отримання фосфору. При вивченні механізму коагуляції, авторами [42] встановлено, що тільки 10% фосфору вилучається при коагуляції стічних вод з використанням коагулянтів на основі алюмінію і заліза. В зв'язку з цим актуальним питанням є можливість покращення якості шламу на ста-

дії його отримання. Вивчалась можливість часткового заміщення неорганічних коагулянтів на органічні катіонні полімери. Експерименти, проведені на модельних стічних водах показали, що при частковій заміні неорганічних коагулянтів на полімерні катіонні є можливість збільшити кількість вилученого фосфору до 44%. Питання знешкодження шламів є надзвичайно актуальним і потребує нових перспективних ідей в напрямку пошуку шляхів їх переробки та подальшого використання.

Висновки. Таким чином, в ході аналізу теоретичних, експериментальних та практичних наукових розробок дослідників з усіх університетів-партнерів, що об'єднують свої зусилля в рамках проекту «Водна гармонія», автори статті дійшли до наступних висновків:

- для всіх країн-членів проекту характерно те, що на законодавчому рівні розглядаються та розв'язуються питання, пов'язані з регулюванням водопостачання та водовідведення, які направлені на виконання вимог до питної води та стоків, частоти їх контролю, а також вимог до систем збирання стічних вод та очисних споруд;

- надзвичайно актуальним питанням є розробка ефективних технологічних схем для очистки води з використанням сучасного обладнання, що сприяє отриманню питної води високої якості;

- особливої уваги заслуговують проблеми, пов'язані з вдосконалення систем очищення на підприємствах важкої, легкої та хімічної промисловостей, які містять різноманітні за складом стічні води зі специфічними домішками;

- значну увагу науковці приділяють фізико-хімічним методам очищення стічних вод, які використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними та біологічними методами.

- вибір методів та способів управління відходами (шламами), що утворюється в процесах водоочищення, базується на обов'язковому їх знешкодженні та переробці.

- основні концепції, на які спрямовані розробки дослідників з країн-партнерів, присвячені розв'язку надзвичайно актуальних питань водопостачання та водовідведення при використанні сучасних наукових підходів з метою збереження дорогоцінного дару природи – питної води для себе та всіх майбутніх поколінь.

Список літератури

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами: підручник. В рамках проекту "Water Harmony", ТОВ "Друкарня Вольф". 2015. 578 с. ISBN 978-82-999978-3-6.
2. Fettig, J. Drinking water quality and protection of resources. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 2010. 1 (1-2). P. 51–54.
3. Meinzinger, F., Oldenburg, M. Water characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. *Science and Technology*. 2009. 59 (9). P. 1785–1791.
4. Oldenburg, M., Sekoulov, I. Multipurpose filters with ion-exchanger for the equalization of ammonia peaks. *Water Science and Technology*. 2009. 32 (7). P. 199–206.
5. Fettig, J., Pick, V., Austermann-Haun, U., Blumberg, M., & Phuoc, N. V. Treatment of tapioca starch wastewater by a novel combination of physical and biological processes. *Water Science and Technology*. 2013. 68 (6). P. 1264–1270.
6. Obushenko, T., Tolstopalova, N., Kulesha, O., Astrelin, I. Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. 10 (4). P. 515–518.
7. Kosogina, I., Astrelin, I., Krimets, G., Vereshchuk, N. The process of wastewater treatment with advanced oxidation methods to remove dye. *Chemistry & Chemical Technology*. 2014. 8 (3). P. 365–369.
8. Солодовник Т. В. Сорбция растворимых красителей на хитинсодержащих комплексах. *Химия и технология воды*. 2003. 25 (4). С. 342–349.
9. Dontsova, T. A., Ivanenko, I., Astrelin, I. Synthesis and characterization of titanium (IV) oxide from various precursors. *Springer Proceedings in Physics*. 2015. 167. P. 275–293.
10. Mykhailenko, N., Makarchuk, O., Dontsova, T., Gorobets, S. and Astrelin, I. Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. 4. P. 13–20.
11. Kozminykh, P., Heistad, A., Ratnaweera, H. C. & Todt, D. Impact of organic polyelectrolytes on coagulation of source-separated black water. *Environmental technology*. 2016. 37 (14). P. 1723–1732.
12. Sivchenko, N., Kvaal, K., & Ratnaweera, H. Evaluation of image texture recognition techniques in application to wastewater coagulation. *Cogent Engineering*. 2016 (just-accepted).
13. Ratnaweera, H. & Fettig, J. State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. *Water*. 2015. 7 (11). P. 6574–6597.
14. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Kosobucka, M., Pierożyński, B., Wardzyńska, R. & Załęska-Chróst, B. Destabilization of model wastewater in the chemical coagulation process. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2014. 21 (2). P. 269–279.
15. Fettig, J., Miethe, M. & Kassebaum, D. I. F. Coagulation and precipitation by an alkaline aluminium coagulant. *Chemical Water and Wastewater Treatment IV*. 1996. P. 107–117.
16. Chepurna, I., Smotraev, R., Kanibolotsky, V., Strelko, V. Colloidal and chemical aspects of nanosized hydrated zirconium dioxide synthesized via a sol-gel process. *Journal of Colloid and Interface Science*. 356 (2). P. 404–411.
17. Гевод В. С., Решетняк И. Л. Гевод С. В., Шклярова И. Г. Биосорбция и биоокисление в комбинированных водоочистительных устройствах с пузырьково-пленочной экстракцией и циркуляционной гетерокоагуляцией. *Вопросы химии и химической технологии*. 2009. 3. С. 162–172.
18. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B. & Kosobucka, M. Electrocoagulation of model wastewater using iron elect. *Ecological Chemistry and Engineering. A*. 2013. 20 (10), pp. 1143–1152.
19. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B., Kosobucka, M. Electrocoagulation of model wastewater using aluminum electrodes. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2012. 14 (3). P. 66–70.
20. Svetlieishaya, E. M., Mitchenko, T. E., Astrelin, I. M. Removal of natural organic matters by ultrafiltration with coagulant dispensing in a flow. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2014. 36 (1). P. 47–56.

21. Столяренко Г. С. Механизм реакции хемодеструкции озона в гетерофазных окислительных процессах. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 1. С. 98–104.
22. Столяренко Г. С. Розкладання озону у водних системах газ-рідина. *Експрес-новини: наука, техніка, виробництво*. Укр-ІНТЕІ. 1998. № 7. С. 12–14.
23. Столяренко Г. С. Хемодеструкция озона и гетерофазные окислительные процессы. *Современные проблемы ХТНВ: сб. науч. тр.* 2001. 1. С. 161–163.
24. Stolyarenko, H. Selective method of ozone-radical destruction cells malignant tumors. The method “soft radiation”. *Journal of International Scientific Publications: Ecology Safety*. 2013. 7 (1). P. 275–287.
25. Столяренко Г. С. Озонирование и электрокатализ. Теоретические основы и технологии (к 40-летию творческой деятельности в области патентования). *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2010. № 1. С. 92–107.
26. Fettig, J. Modelling the uptake of natural organic matter (NOM) by different granular sorbent media. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*. 2005. 54 (2). P. 83–93.
27. Makarchuk, O. V., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. Magnetic nanocomposites as efficient sorption materials for removing dyes from aqueous solutions. *Nanoscale Research Letters*. 2016. 11 (1). P. 161.
28. Doncova, T. A., Astrelin, I. M. and Fedenko, J. N. Regularities of cation sorption from water by an activated carbon-based nanocomposite. *Water and Ecology*. 2015. 1. P. 29–38.
29. Solodovnik, T. Application of chitincontaining sorbents for treatment of water solution. In: J. M. Loureiro and M. T. Kartel (eds). *Combined and Hybrid Adsorbents*. 2006. P. 275–280.
30. Фоміна Н. М. Проблеми водопідготовки та одержання якісної питної води. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 1. С. 105–109.
31. Фоміна Н. М. Озоно-каталітичний метод очищення стічних вод з використанням природних сорбентів. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 3. С. 44–48.
32. Фоміна Н. М., Столяренко Г. С. Дослідження каталітичної активності природних сорбентів при очищенні стічних вод. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 2000. № 1. С. 41–48.
33. Фомина Н. М., Столяренко Г. С. Исследования каталитической активности природных сорбентов при очистке сточных вод. *Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технология: сб.* 2005. № 2. С. 173–176.
34. Фоміна Н. М., Столяренко Г. С., Діденко Т. В. Рациональне використання природних сорбентів для одержання чистої питної води. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 1999. № 4. С. 120–125.
35. Maletskyi, Z. et al. Comparative assessment of sorption properties of commercially available and experimental hybrid materials aimed to impurities of As (III) and As (V) in water. *Water & Water Purification Technologies. Scientific & Technical News*. 2012. 1. P. 21–30.
36. Stolyarenko, H., Kostygin, V., Gromyko, A. Using the ion exchange reactor of continuous action. Selected publications from the Water Harmony project: Water Research and Technology. 2015. P. 245–252.
37. Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N. & Hoell, W. H. Properties of anion exchange resins exhausted by humic compounds. *Desalination and Water Treatment*. 2011. 25 (1-3). P. 78–83.
38. Fendri, F., Mitchenko, T. & Maletskyi, Z. Optimization of the reverse osmosis seawater demineralization technologies for a power producing industry. *Desalination and Water Treatment*. 2011. 25 (1-3). P. 84–90.
39. Пат. 89696 України, МКП C08B 37/08. Спосіб отримання плівок на основі хітозану. Столяренко Г. С., Солодовнік Т. В., Куриленко Ю. М., Єгорова О. В. (Україна), Заяв. 09.12.13, Опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8
40. Солодовнік Т. В., Столяренко Г. С., Єгорова О. В., Сафонова О. Ф., Кравченко С., Дзігора Ю. Термічна модифікація плівок на основі хітозану для застосування в технологічних процесах очистки води. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2015. № 1. С. 167–173.

41. Smoczyński, L., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Smoczyński, M., Kalinowski, S. & Kvaal, K. Modelling the structure of sludge aggregates. *Environmental technology*. 2016. 37 (9). P 1122–1132.
42. Manamperuma, L. D., Ratnaweera, H. C. Coagulation mechanisms during the substitution of inorganic salts with cationic polymers to increase the sludge value. *Journal of Water Resource and Protection*. 2015. 7 (17). P. 1495.
9. Dontsova, T. A., Ivanenko, I., Astrelin, I. (2015). Synthesis and characterization of titanium (IV) oxide from various precursors. *Springer Proceedings in Physics*, 167, pp. 275–293.
10. Mykhailenko, N., Makarchuk, O., Dontsova, T., Gorobets, S. and Astrelin, I. (2015). Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4, pp. 13–20.
11. Kozminykh, P., Heistad, A., Ratnaweera, H. C., & Todt, D. (2016). Impact of organic polyelectrolytes on coagulation of source-separated black water. *Environmental technology*, 37 (14), pp. 1723–1732.
12. Sivchenko, N., Kvaal, K., & Ratnaweera, H. (2016). Evaluation of image texture recognition techniques in application to wastewater coagulation. *Cogent Engineering* (just-accepted).
13. Ratnaweera, H. & Fettig, J. (2015). State of the art of online monitoring and control of the coagulation process. *Water*, 7 (11), pp. 6574–6597.
14. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Kosobucka, M., Pierożyński, B., Wardzyńska, R. & Załęska-Chróst, B. (2014). Destabilization of model wastewater in the chemical coagulation process. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21 (2), pp. 269–279.
15. Fettig, J., Miethe, M. & Kassebaum, D. I. F. (1996). Coagulation and precipitation by an alkaline aluminium coagulant. *Chemical Water and Wastewater Treatment IV*, pp. 107–117.
16. Chepurna, I., Smotraev, R., Kanibolotsky, V., Strelko, V. Colloidal and chemical aspects of nanosized hydrated zirconium dioxide synthesized via a sol–gel process. *Journal of Colloid and Interface Science*. 356 (2), pp. 404–411.
17. Hevod, V. S., Reshetniak, Y. L., Hevod, S. V., Shkliarova, Y. H. (2009). Biosorption and biooxidation in combined water purification devices with bubble-film extraction and circulating heterocoagulation. *The Issues of Chemistry and Chemical Technology*, (3), pp. 162–172 (in Rus.).
18. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B. & Kosobucka, M. (2013). Electrocoagulation of model wastewater

References

1. Physico-chemical methods of water purification. Management of water resources. Textbook. The project “Water Harmony”, TOV “Drukarnia Volf”, 2015. 578 p. ISBN 978-82-999978-3-6 (in Ukr.).
2. Fettig, J. (2010). Drinking water quality and protection of resources. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 1 (1-2), pp. 51–54.
3. Meinzinger, F., Oldenburg, M. (2009). Water characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. *Science and Technology*, 59 (9) pp. 1785–1791.
4. Oldenburg, M., Sekoulov, I. (2009). Multipurpose filters with ion-exchanger for the equalization of ammonia peaks. *Water Science and Technology*, 32 (7), pp. 199–206.
5. Fettig, J., Pick, V., Austermann-Haun, U., Blumberg, M., & Phuoc, N. V. (2013). Treatment of tapioca starch wastewater by a novel combination of physical and biological processes. *Water Science and Technology*, 68 (6), pp. 1264–1270.
6. Obushenko, T., Tolstopalova, N., Kulesha, O., Astrelin, I. (2016). Thermodynamic studies bromphenol blue removal from water using solvent sublation. *Chemistry & Chemical Technology*, 10 (4), pp. 515–518.
7. Kosogina, I., Astrelin, I., Krimets, G., Vereshchuk, N. (2014). The process of wastewater treatment with advanced oxidation methods to remove dye. *Chemistry & Chemical Technology*, 8 (3), pp. 365–369.
8. Solodovnik, T. V. (2003). Sorption of soluble dyes on chitincontaining complexes. *Chemistry & Chemical Technology*, 25 (4), pp. 342–349 (in Rus.).

- using iron elect. *Ecological Chemistry and Engineering. A*, 20 (10), pp. 1143–1152.
19. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B., Kosobucka, M. (2012). Electrocoagulation of model wastewater using aluminum electrodes. *Polish Journal of Chemical Technology*, 14 (3), pp. 66–70.
 20. Sviatlieishaya, E. M., Mitchenko, T. E., Astrelin, I. M. (2014). Removal of natural organic matters by ultrafiltration with coagulant dispensing in a flow. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 36 (1), pp. 47–56.
 21. Stolyarenko, H. (1999). Mechanism of reaction of ozone chemodestruction in heterophase oxidation processes. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 98–104 (in Rus.).
 22. Stolyarenko, H. (1998). The decomposition of ozone in water systems gas-liquid. *Ekspres-novyny: nauka, tekhnika, vyrobnytstvo*. UkrINTEI, (7), pp. 12–14 (in Ukr.).
 23. Stolyarenko, H. (2001). Chemodestruction of ozone and heterophase oxidation processes. *Sovremennye problemy KhTNV: sb. nauch. tr.*, (1), pp. 161–163 (in Rus.).
 24. Stolyarenko, H. (2013). Selective method of ozone-radical destruction cells malignant tumors. The method “soft radiation”. *Journal of International Scientific Publications: Ecology Safety*, 7 (1), pp. 275–287.
 25. Stolyarenko, H. (2010). Ozonation and electrocatalysis. Theoretical bases and technologies (to the 40th anniversary of creative activity in the field of patenting). *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu*, (1), pp. 92–107 (in Rus.).
 26. Fetting, J. (2005). Modelling the uptake of natural organic matter (NOM) by different granular sorbent media. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 54 (2), pp. 83–93.
 27. Makarchuk, O. V., Dontsova, T. A., Astrelin, I. M. (2016). Magnetic nanocomposites as efficient sorption materials for removing dyes from aqueous solutions. *Nanoscale Research Letters*, 11 (1), p. 161.
 28. Doncova, T. A., Astrelin, I. M. and Fedenko, J. N. (2015). Regularities of cation sorption from water by an activated carbon-based nanocomposite. *Water and Ecology*, (1), pp. 29–38.
 29. Solodovnik, T. (2006). Application of chitincontaining sorbents for treatment of water solution. In: J. M. Loureiro and M. T. Kartel (eds)/ *Combined and Hybrid Adsorbents*, pp. 275–280.
 30. Fomina, N. (1999). The problems of water and obtain safe drinking water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 105–109 (in Ukr.).
 31. Fomina, N. (1999). Ozone-catalytic wastewater treatment using natural sorbents. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (3), pp. 44–48 (in Ukr.).
 32. Fomina, N., Stolyarenko, H. (2000). Investigation of the catalytic activity of natural sorbents with sewage water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (1), pp. 41–48 (in Ukr.).
 33. Fomina, N. Stolyarenko, H. (2005). Studies of the catalytic activity of natural sorbents in wastewater treatment. *Ozon i drugiye ekologicheskkiye chistye okisliteli. Nauka i tekhnologiya: sb.* (2), pp. 173–176 (in Rus.).
 34. Fomina, N. Stolyarenko, H., Didenko, T. (1999). Rational use of natural sorbents for clean drinking water. *Visnyk Cherkaskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*, (4), pp. 120–125 (in Ukr.).
 35. Maletskyi, Z. et al. (2012). Comparative assessment of sorption properties of commercially available and experimental hybrid materials aimed to impurities of As (III) and As (V) in water. *Water & Water Purification Technologies. Scientific & Technical News*, (1), pp. 21–30.
 36. Stolyarenko, H., Kostygin, V., Gromyko A. (2015). Using the ion exchange reactor of continuous action. Selected publications from the Water Harmony project: Water Research and Technology, pp. 245–252.
 37. Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N. & Hoell, W. H. (2011). Properties of anion exchange resins exhausted by humic compounds. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), pp. 78–83.
 38. Fendri, F., Mitchenko, T. & Maletskyi, Z. (2011). Optimization of the reverse osmosis seawater demineralization technologies for a power producing industry. *Desalination and Water Treatment*, 25 (1-3), pp. 84–90.

39. Ukrainian patent 89696, MKP C08B 37/08. The method of chitosan based films production. Stolyarenko, H. S., Solodovnik, T. V., Kurilenko, U. M., Egorova, O. V (Ukraine). Applied 09.12.13, Published 25.04.2014, Bulletin № 8 (in Ukr.).
40. Solodovnik, T., Stolyarenko, H., Yehorova, O., Safonova, O., Kravchenko, S., Dzihora, Yu. (2015). Thermal modification of films based on chitosan for use in manufacturing processes of water treatment. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universytetu*, (1), pp. 167–173 (in Ukr.).
41. Smoczyński, L., Ratnaweera, H., Kosobucka, M., Smoczyński, M., Kalinowski, S. & Kvaal, K. (2016). Modelling the structure of sludge aggregates. *Environmental technology*, 37 (9), pp. 1122–1132.
42. Manamperuma, L. D., Ratnaweera, H. C. (2015). Coagulation mechanisms during the substitution of inorganic salts with cationic polymers to increase the sludge value. *Journal of Water Resource and Protection*, 7 (17), p. 1495.

T. V. Solodovnik, Ph.D., associate professor,
e-mail: t.solodovnik@chdtu.edu.ua

H. S. Stolyarenko, Dr.Tech.Sc., professor
e-mail: radikal@ukr.net

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

ADDRESSING OF TOPICAL ISSUES OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT BY SCIENTISTS OF INTERNATIONAL PROJECT «WATER HARMONY»

This article analyzes the areas of scientific research that are devoted to water treatment and water supply. The authors of the articles are presented in the literature review, there are scientists from partner universities working in the project «Water Harmony» Erasmus+ «Harmonising water related graduate education».

The purpose of the work. The aim is to analyze the results described in the articles and aimed at solving the problems of drinking water, wastewater treatment, disposal and recycling of sludge.

The main material. The article described the general approaches to the regulation of water treatment and water supply, aimed at meeting the requirements for wastewater treatment, the frequency of their control and requirements for collection systems and wastewater treatment plants. The authors analyzed the main directions of development of technological schemes for sewage treatment and the effective use of modern equipment. The paper shows the characteristic towards improving treatment systems for heavy, light and chemical industries. Wastewater these factories have different composition of specific impurities.

Scientists of project in their articles make recommendations for research, classification and treatment of domestic wastewater. And they also pay special attention to physical-chemical wastewater treatment, used either alone or in combination with mechanical, chemical and biological methods. Scientists of project examined ways of disposal and recycling of precipitation sludge generated in the water purification process.

Conclusions. Thus, research of scientists from partner countries based on concepts aimed at the solution of highly topical issues of water treatment and water supply, as well as the use of modern scientific approaches to preserve the precious gift of nature - drinking water for themselves and all future generations.

Keywords: water treatment, drinking water, waste water, filtration, coagulation, sorption, sludge.

Статтю представляє Г. С. Столяренко, д.т.н, професор, Черкаський державний технологічний університет.

О. І. Бойко, викладач інформатики, спеціаліст I категорії

Шевченківський коледж Уманського національного університету садівництва

20214, вул. Шевченка, 74, с. Шевченкове

Звенигородського району, Черкаської області, Україна

e-mail: ksena4561@rambler.ru

ЕЛЕКТРОННЕ ПОРТФОЛІО ВИКЛАДАЧА – АЛЬТЕРНАТИВНА ФОРМА ОЦІНКИ ЙОГО ПЕДАГОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ПРОФЕСІОНАЛІЗМУ

Розглянуто проблемні питання розробки та застосування альтернативної форми оцінювання діяльності викладача з точки зору впливу на його педагогічну майстерність та професіоналізм. Проаналізовано доцільність використання електронного портфоліо викладача в його педагогічній діяльності. Визначаються структура та функції електронного портфоліо, аналізуються його можливості та переваги.

Ключові слова: електронне портфоліо, оцінювання педагогічної діяльності та професіоналізму, методика, педагогічна майстерність.

Постановка проблеми. Сьогодні держава робить серйозні спроби перебудови системи освіти, а саме створення єдиного освітнього інформаційного середовища. Однак освітній процес має індивідуальний характер, тому першочерговим питанням є створення унікального середовища педагогічної діяльності, яке формується відповідно до певних цілей, досягнутим успіхам, професіоналізмом конкретного педагога. Таким середовищем, на погляд автора, може стати електронне портфоліо викладача [1].

Походження терміну «портфоліо» в різних джерелах має різне пояснення:

- від французького «porter» – висловлювати, формулювати, нести і «folio» – лист, сторінка – досьє, збір досягнень;
- від італійського «portfolio» – портфель, папка для документів.

Однак незалежно від походження терміну, в найбільш загальному вигляді він служить для позначення збірки зразків діяльності професіонала, які відображають рівень його майстерності.

Портфоліо викладача – це спосіб фіксації, накопичення матеріалів, що демонструють рівень професіоналізму викладача і вміння вирішувати завдання своєї професійної діяльності. Портфоліо викладача показує рівень його підготовленості і рівень активності у навчальних та позанавчальних видах діяльності.

Головне призначення портфоліо – продемонструвати найбільш значущі результати практичної діяльності для оцінки своєї професійної компетенції, такі як реалізовані проєк-

ти, участі в олімпіадах і конкурсах, проведені педагогом дослідження.

Портфоліо дозволяє педагогу проаналізувати, узагальнити і систематизувати результати своєї роботи, об'єктивно оцінити свої можливості та спланувати дії з подолання складнощів і досягнення більш високих результатів, зміщуючи акцент з оцінки на самооцінку.

Друге важливе призначення портфоліо викладача – це альтернативна форма оцінки професіоналізму та результативності роботи педагога при проведенні експертизи на відповідність заявленої кваліфікаційної категорії. Це й інструмент для забезпечення моніторингу професійного зростання педагога.

Тому, виникає необхідність розробки електронного портфоліо викладача, як альтернативної форми оцінки його педагогічної діяльності та професіоналізму

Аналіз дослідження. Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що проблема організації та впровадження електронного портфоліо викладача є актуальною на сучасному етапі розвитку освіти України. Такий інструмент, на відміну від культури великих корпорацій, є дещо новий у вищій школі і наразі перебуває під постійною та прискіпливою увагою науковців. Зокрема, коло питань, що стосуються цієї проблеми, висвітлюються С. Лабудько, Л. В. Капустою, Л. Васильченко, В. К. Загвоздкіним, Е. Simon та ін. [2–8].

Поведений літературний огляд в цьому напрямку доводить, що перехід від адміністративної системи обліку результативності пе-

дагогічної діяльності до інтерактивної електронної системи портфоліо для оцінювання успішності викладача, як в урочній, так і позаурочній роботі є актуальним, проте виникає необхідність спрямувати зусилля науковців на розробку дидактичного і методичного забезпечення для впровадження електронного портфоліо викладача.

Мета статті – розробити методику створення електронного портфоліо викладача, що дозволяє швидко та якісно оцінити його педагогічну діяльність та професіоналізм.

Викладення основного матеріалу та обговорення результатів. Серед викладачів портфоліо завойовує все більшу популярність, і стає необхідним для педагогів, які підвищують свій професійний рівень.

Робота над Портфоліо розвиває дослідницьку культуру викладача, удосконалюючи особистісну, соціальну й професійну компетентність – уміння самостійно здобувати, аналізувати й ефективно використовувати інформацію, уміння раціонально працювати у світі, що постійно змінюється. Орієнтуючись на самооцінку і рефлексію, Портфоліо викладача може стати мотиваційною основою діяльності педагога і сприяти його особистісному розвитку, стимулюючи до самоосвіти й удосконалення професійної підготовки.

За своїми видами, портфоліо поділяються залежно: від мети створення, від авторства та від носія інформації [9, 10].

Залежно від мети створення розрізняють такі портфоліо:

- Портфоліо досягнень – найбільший наголос слід зробити на документах які підтверджують успіхи діяльності викладача.
- Презентаційне Портфоліо – необхідний при працевлаштуванні на нове місце роботи, особливо у тих випадках, коли заробітна плата призначається за підсумками співбесіди.
- Тематичне Портфоліо – наголоси розміщуються на тематично відокремлених творчих роботах у різних сферах діяльності.
- Комплексне Портфоліо – об'єднує в собі перелічені вище види портфоліо і придатний, наприклад, для презентації портфоліо викладача коледжу.

Залежно від носія інформації розрізняють паперове та електронне портфоліо. При цьому останнє має суттєві переваги в порівнянні з паперовим варіантом, рис. 1.

Залежно від авторства портфоліо поділяються на: портфоліо студента, портфоліо ви-

кладача, портфоліо методиста, портфоліо методичного об'єднання та портфоліо навчального закладу.

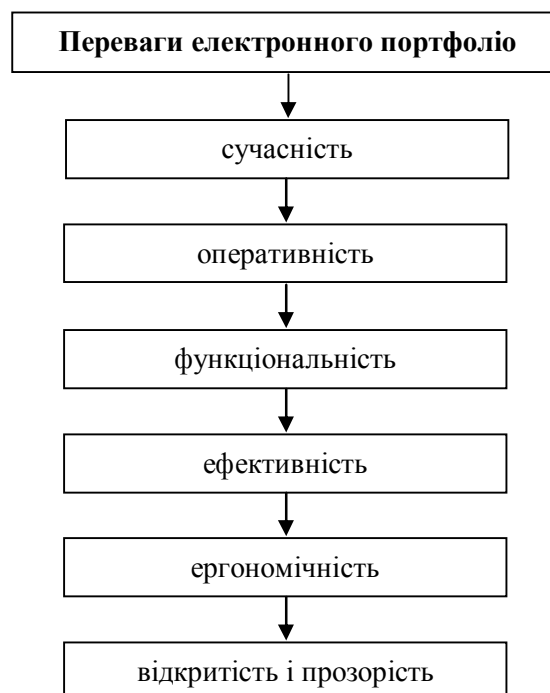


Рис. 1. Переваги електронного варіанту портфоліо

Структура портфоліо викладача наведена на рис. 2, а опис цієї структури розглянемо більш детально.

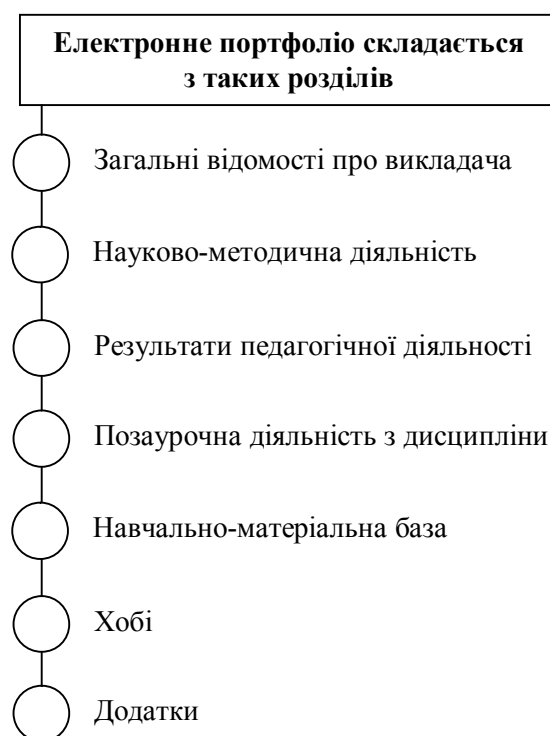


Рис. 2. Структура електронного портфоліо викладача

Загальні відомості про викладача.

ПІБ. Прізвище, ім'я та по-батькові мають бути позначені яскраво і чітко, що б з перших секунд перегляду електронного портфоліо викладача вони добре запам'яталися. ПІБ має бути прописаний досить великим, гарним, добре читаним шрифтом. Для цього підбирається виразний шрифт і колір, тоді з'явиться шанс, що портфоліо викличе позитивні емоції, а його автор не залишиться безіменним.

Освіта. У цьому розділі потрібно вказати основну спеціальність і кваліфікацію викладача за дипломом. Якщо у викладача кілька дипломів, то всіх їх треба перерахувати.

Трудовий і педагогічний стаж роботи. Цей розділ відображає стан на кар'єрних сходинках педагога. Не треба забувати оновлювати цей розділ. Тут потрібно перерахувати всі навчальні заклади, в яких викладачу доводилося працювати. Цей розділ є одним з найбільш важливих, оскільки демонструє педагогічний досвід і його різноманітність, а це один з ключових параметрів оцінки його діяльності.

Підвищення кваліфікації. У цьому розділі вказуються курси, семінари в яких викладачу вдалося взяти участь або проявити себе. Можливо, він був організатором подібних курсів або семінарів – це також варто відзначити. Якщо курси не були пов'язані з професією педагога (із суміжних областей), то про них все одно варто згадати. Більш докладно описуються найбільш значимі епізоди з усієї практики підвищення кваліфікації (де і коли прослухані курси, їх проблематика).

Нагороди, грамоти, листи подяки. Цей розділ дозволяє судити про процес індивідуального розвитку педагога. Головна порада – розміщувати нагороди, грамоти та листи подяки слід у порядку значимості. Останні рядки розділу зазвичай отримують менше уваги, тому треба намагатися найбільш вагоме розмістити спочатку.

Науково-методична діяльність.

До цього розділу відносяться методичні матеріали, які свідчать про професіоналізм педагога:

- обґрунтування вибору освітньої програми і комплексу навчально-методичної літератури;
- обґрунтування вибору освітніх технологій, що використовуються;
- обґрунтування застосування у своїй практиці тих чи інших засобів педагогічної діагностики для оцінки освітніх результатів;

- використання інформаційно-комунікативних технологій в освітньому процесі;
- робота в методичному об'єднанні, співпраця з науково-методичним центром та іншими установами;
- участь у професійних і творчих педагогічних конкурсах;
- участь у методичних і предметних тижнях;
- організація та проведення семінарів, "круглих столів", майстер-класів тощо;
- проведення наукових досліджень;
- розробка авторських програм;
- підготовка творчого звіту, доповіді, статті.

Результати педагогічної діяльності.

У цьому розділі мають бути зібрані:

- матеріали, що демонструють результати освоєння студентами освітніх програм і сформованості у них ключових компетентностей з дисципліни, що викладається;
- порівняльний аналіз діяльності педагогічного працівника за три роки на підставі контрольних зрізів, участі студентів у олімпіадах, конкурсах;
- результати проміжної та підсумкової атестації студентів;
- відомості про наявність дипломів з відзнакою;
- відомості про вступ до ВНЗ за фахом тощо.

Матеріали цього розділу мають скласти уявлення про динаміку результатів педагогічної діяльності викладача, що атестується.

Позаурочна діяльність з дисципліни.

Розділ має містити наступні документи:

- перелік творчих робіт, рефератів, навчально-дослідних робіт, проєктів, виконаних студентами з предмета;
- список переможців олімпіад, конкурсів, змагань, інтелектуальних марафонів тощо;
- сценарії позааудиторних заходів, фотографії і відеозаписи проведених заходів (виставки, предметні екскурсії, КВК, брейн-ринги тощо);
- програми роботи гуртків та факультативів;
- інші документи.

Навчально-матеріальна база.

У цьому розділі міститься виписка з паспорту навчального кабінету (при його наявності):

- перелік словників та іншої довідкової літератури з предмету;
- перелік наочних посібників (макети, таблиці, схеми, ілюстрації, портрети та інше);
- перелік дидактичного матеріалу (прикладів виконання завдань, написання творів і подібне);

- перелік технічних засобів для впровадження ІКТ у навчально-виховний процес (комп'ютер, проектор, SMART-дошка, мультимедійні підручники, аудіо-відео-посібники тощо).
- аудіо- та відеопосібники;
- презентації інформаційних проектів студентів, які можна використовувати як довідкову літературу
- інші документи за бажанням викладача.

Хобі.

Додатки.

Портфоліо – це живий документ, який вимагає до себе уваги й безперервного коригування даних, що застаріли, і внесення нових матеріалів.

Необхідно пам'ятати про досить низьку реальну швидкість каналів Інтернету у більшості користувачів. Відповідно до цього, необхідно визначити той необхідний мінімум графічних, динамічних, музичних, анімаційних тощо об'єктів, які треба розмістити на сайті.

Не треба забувати про те, що сайт будуть переглядати користувачі, які мають різні браузери і програмні продукти. Не всі «фантастичні» можливості, використані в електронному портфоліо при створенні сайту, вони зможуть побачити. Тому не треба перевантажувати свій сайт інформацією і ефектами.

Також необхідно пам'ятати, що грамотна навігація полегшить роботу з сайтом і приверне до нього відвідувачів. Фон, заголовки і загальне розташування матеріалів на екрані повинні відповідати один одному і не порушувати цілісності сприйняття.

Створення Портфоліо дає змогу від адміністративної системи обліку результативності педагогічної діяльності викладача перейти до об'єктивної системи оцінювання рівня успішності його професійної діяльності.

Таким чином, використання електронного портфоліо дає змогу викладачеві досягти таких цілей:

- простежити еволюцію своєї професійної педагогічної діяльності;
- систематизувати створені ним навчальні матеріали та інші доробки;
- створити можливість гідного представлення колегам свого досвіду;
- запропонувати спосіб організації та ефективні методи, прийоми і технології навчальної дисципліни;

- підготуватися до участі в конкурсах педагогічної майстерності та підвищення кваліфікації;
- підвищити рівень професійної конкурентоспроможності;
- підготуватися до атестації.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Резюмуючи можливості електронного портфоліо викладача з точки зору впливу на його педагогічну майстерність та професіоналізм, можна зробити наступні висновки. Завдяки таким характеристикам інформаційних технологій, як інтерактивність, мультимедійність, гіпертекстовість, наявність ефективних засобів накопичення, систематизації, аналізу, прогнозування, електронне портфоліо викладача набуває значних можливостей. За своєю сутністю електронне портфоліо є одночасно і дидактично-методичним комплексом, призначеним для більш досконалої організації навчального процесу, і засобом моніторингу професійного зростання викладача, корекції і самокорекції, що у комплексі сприяє зростанню його педагогічної діяльності та професіоналізму.

Робота над створенням Портфоліо вирішує чимало завдань, що постають перед сучасним викладачем та має широку сферу використання. Портфоліо дає можливість педагогу продемонструвати ті результати практичної діяльності, які він вважає найбільш значущими для оцінки своєї професійної компетенції, дозволяє демонструвати не лише результати діяльності, але і прогрес в порівнянні з попередніми результатами.

Таким чином, наявність електронного портфоліо є однією з педагогічних умов формування професійної підготовки викладача, відображає рівень його підготовленості до здійснення педагогічної діяльності.

Електронне портфоліо створює умови для самореалізації та самовираження викладача, рефлексії своєї педагогічної діяльності, формування успішності та індивідуального професійного зростання.

До перспектив дослідження цієї проблеми слід віднести визначення вимог до роботи та наповнення електронного портфоліо викладача, специфіки портфоліо викладачів, що викладають дисципліни різних циклів, портфоліо викладачів вищої школи тощо.

Список літератури

References

1. Васильченко Л. Технологія портфоліо в освіті. *Управління школою*. 2007. № 13.
2. Капуста Л. В. Портфоліо вчителя [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://lit-1.blogspot.com/2012/02/blogpost_02.html#more.
3. Лабудько С. Блог як засіб представлення портфоліо сучасного вчителя. *Освіта Сумщини*. 2014. № 1 (21). С. 52–55.
4. Simon E. Do I Need a Digital Teaching Portfolio? [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.edutopia.org/blog/digital-teaching-portfolio-edwige-simon?utm_source=facebook&utm_medium=post&utm_campaign=blog-digital-teaching-portfolio-link
5. Загвоздкін В. К. Роль портфоліо в навчальному процесі. Деякі психолого-педагогічні аспекти. *Педагогічна психологія*. 2006. № 1. 12 с.
6. Kirichenko V. A. Portfolio teacher – as a generalization and systematization of his educational achievements. *Electronic Collected Works of Zaporizhzhya Regional Institute of Postgraduate Education*. № 3 (13).
7. Novikova H. T., Pynskaya A. M., Prutchenkov S. A., Fedotov E. E. Portfolio in foreign educational practice. *Education Matters. Educational Studies*. 2004. Issue 3. P. 201–239. URL: <http://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:voprob:2004:i:3:p:201-239>.
8. Морзе Н. Електронне портфоліо як інструмент вимірювання результатів діяльності викладача сучасного вишу. *Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах*. 2014. № 5. С. 36–41.
9. Варченко-Троценко Л. О. Характеристика сервісів створення Портфоліо викладача. *Освітологічний дискурс*. 2014. № 3 (7). С. 9–19.
10. Kuzmenchuk I. V. Portfolio as an individual trajectory of teacher training. *Teaching Almanac*. 2010. Number 6.
1. Vasyli'chenko, L. (2007) Tekhnolohiya portfolio v osviti. *Upravlinnya shkoloyu*. № 13. [in Ukrainian].
2. Kapusta, L.V. Portfolio vchytelya. URL: http://lit-1.blogspot.com/2012/02/blog-post_02.html#more [in Ukrainian].
3. Labud'ko, S. (2014) Bloh yak zasib predstavlennya portfolio suchasnoho vchytelya. *Osvita Sumshchyny*. № 1 (21). P. 52–55 [in Ukrainian].
4. Simon, E. Do I Need a Digital Teaching Portfolio? URL: https://www.edutopia.org/blog/digital-teaching-portfolio-edwige-simon?utm_source=facebook&utm_medium=post&utm_campaign=blog-digital-teaching-portfolio-link/
5. Zagvozdkin, V. K. (2006) Rol portfolio v navchalnomu protsesi. Deyaki psihologo-pedagogichni aspekty. *Pedagogichna psihologiya*. № 1. 12 p. [in Ukrainian].
6. Kirichenko, V. A. Portfolio teacher – as a generalization and systematization of his educational achievements. *Electronic Collected Works of Zaporizhzhya Regional Institute of Postgraduate Education*. № 3 (13).
7. Novikova, H. T., Pynskaya, A. M., Prutchenkov, S. A., Fedotov, E. E. (2004) Portfolio in foreign educational practice, *Education Matters. Educational Studies*. Issue 3. P. 201–239. URL: <http://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:voprob:2004:i:3:p:201-239>.
8. Morze, N. (2014) Elektronne portfolio jak instrument vymiruvannya rezul'tativ diyalnosti vykladača sučasnoho Vyšu (Electronic portfolio as a tool to measure the performance of modern university teacher). *Informatyka ta informacijni tehnolohiji v navchalnyh zakladach*. № 5. P. 36–41 [in Ukrainian].
9. Varčenko-Trocenko, L. O. (2014) Charakterystyka servisiv stvorennia Portfolio vykladača (The characteristics of services creation. Teacher Portfolio). *Osvitolohičnyj dyskurs*. № 3 (7). P. 9–19 [in Ukrainian].
10. Kuzmenchuk, I. V. (2010) Portfolio as an individual trajectory of teacher training. *Teaching Almanac*. Number 6.

O. I. Boyko, *science teacher, specialist of the first category*
Shevchenko College of Uman National University of Horticulture
Ukraine, 20214, Shevchenkove, Shevchenka str., 74
ksena4561@rambler.ru

TEACHER'S ELECTRONIC PORTFOLIO – AN ALTERNATIVE FORM OF EVALUATION OF HIS EDUCATIONAL ACTIVITIES AND PROFESSIONALISM

Problematic issues are considered related to the development and use of alternative forms of evaluation of teachers and the pedagogical skills and professionalism. The feasibility of using electronic portfolios teacher in pedagogical activity is analyzed. Structure and function of an electronic portfolio defined by its features and benefits analyzed.

Method of creating an electronic portfolio presented to quickly and efficiently teaching career and professionalism of the teacher to assess.

Electronic portfolios are didactic and methodical complex for the perfect organization of educational process, a means of monitoring teacher professional development, adjustment and self-correction. This, together promotes educational activities and teacher professionalism.

Further studies are identified requirements for design and content of e-portfolios teacher, teachers specificity Portfolio different cycles of disciplines, portfolio high school teachers and others.

Key words: *electronic portfolio, evaluation of educational activities and expertise, methodology, teaching skills.*

Рецензенти: *Антонюк В. С., д.т.н., професор,*
 Мусієнко М. П., д.т.н., професор.

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ
1 • 2017

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY
1 • 2017

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS
of Cherkasy State
Technological University

SERIES: ENGINEERING SCIENCES
1 • 2017

Статті друкуються в авторській редакції.

*За точність посилань та достовірність фактичного матеріалу
відповідальність несуть автори. Редакція може не поділяти погляди авторів.
Матеріали друкуються з максимальним збереженням авторської стилістики
та орфографії.*

*Технічний редактор Давиденко К. В.
Комп'ютерна обробка Вознюк Т. І.*

Видавець і виготівник – Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.
Свідectво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
Поліграфічні послуги: ФОП Гордієнко Є. І.

Формат 60x84 1/8. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 18,1. Обл.-вид. арк. 19,9. Зам. № 17-040.