

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

2/2019

Редакційна колегія:

Фауре Е. В., д.т.н., доц.

(головний редактор)

Антонюк В. С., д.т.н., проф.

Базіло К. В., к.т.н., доц.

Батраченко О. В., к.т.н., доц.

Бондаренко М. О., д.т.н., доц.

Бондаренко Ю. Ю., к.т.н., доц.

Вамболь В. В., д.т.н., проф.

Ващенко В. А., д.т.н., проф.

Вязовик В. М., д.т.н., доц.

Гальченко В. Я., д.т.н., проф.

Заболотній С. В., д.т.н., доц.

Кажіс Р., д.т.н., проф. (Литва)

Котов В. М., д.фіз.-мат.н., проф. (Білорусь)

Лукашенко В. М., д.т.н., проф.

Мусієнко М. П., д.т.н., проф.

Нерода М. В., к.т.н., доц. (Білорусь)

Палагін В. В., д.т.н., проф.

Петрищев О. М., д.т.н., проф.

Півоваров О. А., д.т.н., проф.

Прокопенко Т. О., д.т.н., доц.

Ситник О. О., д.т.н., проф.

Столяренко Г. С., д.т.н., проф.

Уткіна Т. Ю., к.т.н., доц.

Федоров Є. Є., д.т.н., доц.

Хоменко О. М., к.х.н., доц.

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ – Черкаський
державний технологічний університет

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

Виходить 4 рази на рік

У ВИПУСКУ:

**АВТОМАТИЗАЦІЯ
І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРІЯ,
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**

Відповідальна за випуск:
Ю. Ю. Бондаренко

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЧДТУ, к. 604/1, бульвар Шевченка, 460,
м. Черкаси, 18006,
тел. (0472) 51-15-89
vtn.chdtu.edu.ua (подання статей)

Сисоєнко С. В. *(технічний секретар)*
Мельник І. В. *(відповідальний секретар)*
тел. (0472) 51-36-39; e-mail: mal_04@ukr.net

2-2019

ВІСНИК

**Черкаського державного
технологічного університету**

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

VISNYK

**Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu**

TECHNICAL SCIENCE

2 • 2019

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

**Видання зареєстровано
у міжнародних наукометричних базах,
каталогах і системах пошуку:**

Index Copernicus Journals Master List,
CiteFactor,
Google Академія,
ResearchBib – Academic Resource Index,
Ulrich's Periodicals Directory,
WorldCat
Наукова періодика України

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

pISSN 2306-4412 / eISSN 2306-4455

Затверджено науково-технічною
радою Черкаського державного
технологічного університету,
протокол № 3 від 06.09.2019 р.

При повному або частковому
передрукуванні матеріалів
посилання на «Вісник Черкаського
державного технологічного
університету» є обов'язковим.

© Черкаський державний
технологічний університет, 2019
© Автори, 2019

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗАЦІЯ І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Базіло К. В. Дослідження характеристик біморфних п'єзоелектричних перетворювачів.....	5
Бондаренко Ю. Ю., Філімонов С. О., Мисан А. О., Бачеріков Д. С. Залежність частоти коливань від геометричних параметрів п'єзокерамічного актуатора для малогабаритних літальних апаратів.....	12
Трембовецька Р. В., Гальченко В. Я., Тичков В. В., Сторчак А. В. Оцінка точності нейромережевих метамоделей кругових накладних вихрострумів перетворювачів.....	18
Филимонов С. А., Батраченко А. В., Яценко С. С., Филимонова Н. В. Использование SMART PIEZOCERAMICS для обработки почвы в сельском хозяйстве.....	30
Марценюк В. П., Сверстюк А. С., Козодій Н. В., Давиденко Є. О. Дослідження фазових площин моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням в пакеті R	37
Гавриш О. С., Костюк С. І., Обруч Ю. Ю., Багрій М. О. Віртуальний інструментарій для дослідження хвилеводу прямокутного перетину	48
Кузьмич Л. В., Орнатський Д. П., Квасніков В. П. Цифрова корекція похибки вимірювання тензодатчика.....	55

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Первунінський С. М., Олексюк В. В. Завадостійкість модема множинного доступу шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової.....	60
Бушуєв С. Д., Пузійчук А. В. Подальший розвиток моделей і методів проектного менеджменту для ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній.....	69
Сепеда Гуаман Д. Ф. Матриця ризиків стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків.....	75
Воркут Т. А., Севост'янова А. В. Особливості проектів вітроенергетики та специфіка управління ними.....	86
Бедрій Д. І. Класифікація конфліктів у наукових проектах	96
Бас Д. В. Методи ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами	107

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Гончаренко Т. П., Жицька Л. І., Плахотня Л. І. Комплексна оцінка техногенного впливу на довкілля по регіонах України	117
Мислюк О. О., Хоменко О. М., Єгорова О. В., Пидоренко В. І. Екологічні аспекти стану урбаноземів.....	126
Загоруйко Н. В., Ящук Л. Б., Свояк Н. І. Медико-екологічна оцінка якості бутильованої мінеральної питної води.....	134

CONTENTS

AUTOMATION AND CONSTRUCTION OF DEVICES

Bazilo C. V. Investigation of characteristics of bimorph piezoelectric transducers.....	5
Bondarenko Yu. Yu., Filimonov S. A., Misan A. A., Bachirikov D. S. Dependence of oscillation frequency on geometrical parameters of piezoceramic actuator for small-sized aircraft	12
Trembovetska R. V., Halchenko V. Ya., Tychkov V. V., Storchak A. V. Estimation of accuracy of neuro-network metamodels of surface eddy current probes.....	18
Filimonov S. A., Batrachenko A. V., Yashenko S. S., Filimonova N. V. The use of SMART PIEZOCERAMICS for cultivating the soil in agriculture	30
Marsenyuk V. P., Sverstiuk A. S., Kozodii N. V., Davydenko Ye. O. Research of phase planes of immunosensor model on a rectangular lattice using the differential equations with delay in the R package.....	37
Havrysh O. S., Kostiuk S. I., Obruch Yu. Yu., Bagrii M. O. Virtual tools for research of rectangular waveguide	48
Kuzmych L. V., Ornatskyi D. P., Kvasnikov V. P. The digital correction of the strain gauge error	55

INFORMATION TECHNOLOGIES

Pervuninsky S. M., Oleksjuk V. V. Noise immunity of the modem of noise signals multiple access taking into account the effect of quadratic component	60
Bushuyev S. D., Puziichuk A. V. Further development of project management models and methods for value-oriented management by the projects of construction companies reengineering.....	69
Cepeda Guaman D. F. Matrix of risks of organizational projects stakeholders in the field of aircraft maintenance.....	75
Vorkut T. A., Sevostianova A. V. Specific features of wind power projects and their management specification	86
Bedrii D. I. Classification of conflicts in scientific projects.....	96
Bas D. V. Methods of value-oriented art project management	107

CHEMICAL TECHNOLOGIES AND ENGINEERING, ECOLOGICAL SECURITY

Goncharenko T. P., Zhitskaya L. I., Plachotnja L. I. Comprehensive assessment of man-caused impact on environment in the regions of Ukraine.....	117
Myslyuk O. O., Khomenko O. M., Yehorova O. V., Pydorenko V. I. Environmental aspects of urban soils	126
Zagoruiko N. V., Yashchuk L. B., Svojak N. I. Medical-ecological assessment of quality of bothylene mineral drinking water	134

К. В. Базіло, к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
БІМОРФНИХ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У роботі розглянуто технологію додаткових елементів, при якій не потрібна будь-яка доробка п'єзоелемента, а зміна характеристик перетворювача здійснюється за рахунок зовнішніх для п'єзоелемента кіл. Вивчено вплив додаткових індуктивності й ємності на амплітудно-частотні характеристики п'єзоелектричного перетворювача. Досліджено вплив на амплітудно-частотні характеристики п'єзоелектричного перетворювача додаткового опору, підключеного на його вхід і між п'єзоелектричним перетворювачем та загальним проводом. Розглянуто конструкцію та математичну модель біморфного дискового п'єзоелектричного трансформатора з симетричним електричним навантаженням у вторинному електричному колі, що побудована з мінімальною кількістю припущень, які спрощують реальну ситуацію.

Ключові слова: п'єзоелектричний диск, біморфний елемент, технологія проектування, додаткові елементи.

Вступ. Біморфні п'єзокерамічні елементи, в яких збуджуються пружні коливання поперечного вигину, застосовують для вирішення досить широкого кола наукових і технічних задач [1–3].

У роботі [4] описано методи синтезу п'єзоелектричних перетворювачів. Ці методи дають змогу не тільки розширити можливості технології проектування, але й створювати перетворювачі з необхідними характеристиками.

Серед описаних методів особливий інтерес становить технологія додаткових елементів, тому що в цьому випадку не потрібна будь-яка доробка п'єзоелемента, а зміна характеристик перетворювача здійснюється за рахунок зовнішніх для п'єзоелемента кіл.

Суть цієї технології полягає в тому, що до п'єзоелемента приєднують додаткові елементи, які змінюють характеристики перетворювача. До п'єзоелемента механічно приєднують другий п'єзоелемент, металеву пластину або ультразвуковий концентратор, або електричними зв'язками приєднують ємність, індуктивність чи опір [4].

Основною метою статті є дослідження характеристик біморфного п'єзоелектричного елемента.

Матеріали і методи. Розглянемо конструкцію дискового п'єзоелектричного трансформатора, розрахункову схему якого зображено на рисунку 1.

На рисунку 1 позицією 1 показано нерухомому опору, позицією 2 – металевий диск,

позицією 3 – два однакові п'єзокерамічні диски. Поверхні дисків, які знаходяться в механічному контакті з металевим диском, повністю електродовані і приклеєні високомолекулярним струмопровідним клеєм до металевій круглій пластині. Металева пластина заземлена. На зовнішніх поверхнях п'єзокерамічних дисків розташовуються два кільцеві електроди. На рисунку 1, б зображено вид зверху на дисковий біморфний п'єзоелектричний трансформатор. Позицією 4 на рисунку 1, б показано кільцевий електрод первинного електричного кола. Точно такий же електрод є на зовнішній поверхні нижнього п'єзокерамічного диска. На цю пару кільцевих електродів подається різниця електричних потенціалів від джерела електричних сигналів з вихідним електричним опором Z_1 .

Напрямки електричної поляризації п'єзокерамічних дисків зображено на рисунку 1, а жирними стрілками. При такому механічному поєднанні п'єзокерамічних дисків електричний потенціал $U_0 e^{i\omega t}$ на парі кільцевих електродів первинного електричного кола створює, завдяки зворотному п'єзоелектричному ефекту, що змінюється в часі за законом $e^{i\omega t}$, згинальні моменти в області номер 4 (рисунку 1, а), тобто в кільці $R_3 \leq \rho \leq R_4$. Під дією цих згинальних моментів вся конструкція починає здійснювати віссиметричні коливання поперечного вигину. Деформації, що виникають при цьому, фор-

мують в об'ємі п'єзокерамічних дисків змінну в часі за законом $e^{i\omega t}$ електричну поляризацію. На кільцевих електродах вторинного електричного кола дискового п'єзоелектричного трансформатора (позиція 5 на рисунку 1, б) виникають електричні заряди, які своїм електричним полем змушують рухатися вільні носії електрики в провідниках, що з'єднують електричні навантаження (символи $Z_2^{(\pm)}$ на рисунку 1, а) з електродами вторинного електричного кола. В результаті проходження електричного струму на електричних навантаженнях $Z_2^{(\pm)}$ формуються електричні потенціали $U_2^{(\pm)}e^{i\omega t}$, які є вихідними електричними сигналами розглянутого функціонального елемента п'єзоелектроніки.

На рисунку 1, а цифрами 1, 2, 3 і 4 пронумеровано різні за своїми фізичними властивостями області п'єзокерамічних дисків. В областях непарних номерів $n = 1; 3$ відсутнє електродне покриття на зовнішніх поверхнях дисків (область № 1: $R \leq R_1$, область № 3: $R \in (R_2; R_3]$). В областях парних номерів $m = 2; 4$ зовнішні поверхні дисків мають електродне покриття (область № 2: $R \in (R_1; R_2]$, область № 4: $R \in (R_3; R_4]$). Область № 5 – це кільце металевої пластини $R_4 \leq R$ (рисунк 1, а).

У загальному випадку можлива ситуація, коли $Z_2^{(+)} \neq Z_2^{(-)}$. Внаслідок цього амплітудні значення вихідних потенціалів $U_2^{(+)} \neq U_2^{(-)}$. Це змушує визначити математичну модель дискового біморфного п'єзоелектричного трансформатора в такий спосіб:

$$K^{(\pm)} = \frac{U_2^{(\pm)}}{U_1}. \quad (1)$$

В роботі [5] наведено розрахунки математичної моделі біморфного дискового п'єзоелектричного трансформатора з симетричним електричним навантаженням у вторинному електричному колі, яка може бути записана як

$$K^{(+)}(\omega, \Pi) = \frac{K_0^{(2)}(\omega, \Pi_2)}{1 + 2i\omega C_4^\sigma Z_1 [\Psi_{40}(\lambda_2, \Gamma_4) + 1]}, \quad (2)$$

де ω – колова частота; символом Π_2 позначено набір геометричних, фізико-механічних та електричних параметрів області № 2 біморфного п'єзоелектричного трансформатора; сим-

вол Γ_4 позначає набір геометричних параметрів області № 4; $C_4^\sigma = \pi(R_4^2 - R_3^2)\chi_{33}^\sigma/\alpha$ – динамічна електрична ємність кільцевого об'єму верхнього п'єзокерамічного диска п'єзоелектричного трансформатора; χ_{33}^σ – діелектрична проникність; α – товщина диска; Z_1 – відмінний від нуля комплексний вихідний опір джерела електричного потенціалу; λ_2 – хвильове число; $K_0^{(2)}(\omega, \Pi_2)$ – коефіцієнт електроакустичного зв'язку; символом $\Psi_{40}(\lambda_2, \Gamma_4)$ позначено аналітичну конструкцію. При цьому розглядалися тонкі круглі пластини, товщина яких на порядок менша їх діаметра [5].

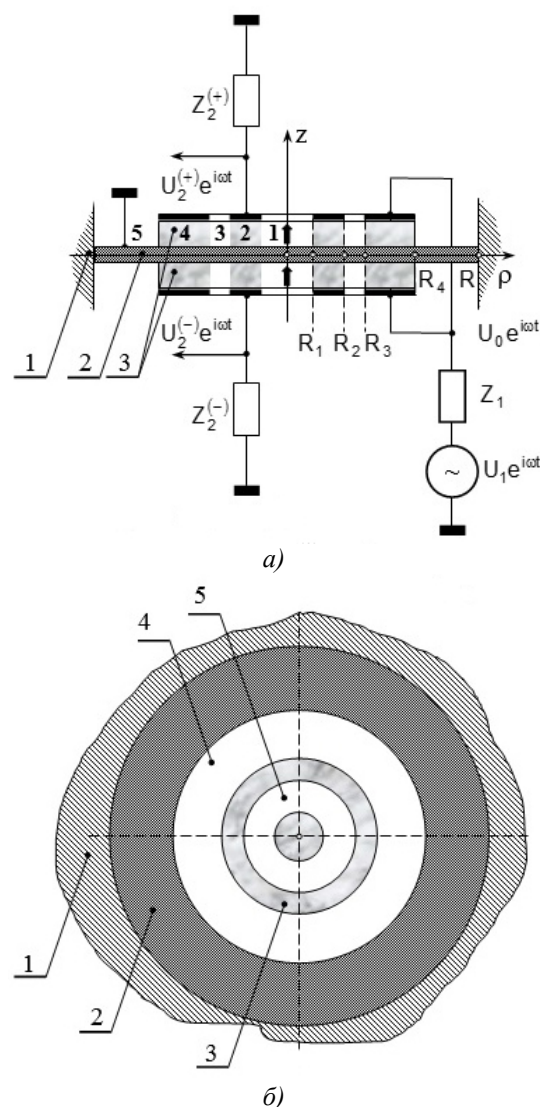


Рисунок 1 – Розрахункова схема біморфного дискового п'єзоелектричного трансформатора

Експериментальні дослідження. Для експериментальних досліджень було використано електроакустичний перетворювач ЗП-19. Перетворювач складається з пластини зі сталі 40Х діаметром 32 мм і товщиною 0,15 мм. До пластини приклеєний епоксидним компаундом п'єзоелемент Ø23 мм і товщиною 0,2 мм. Біморфний елемент закріплений у корпусі з ударостійкого полістиролу (рисунок 2).

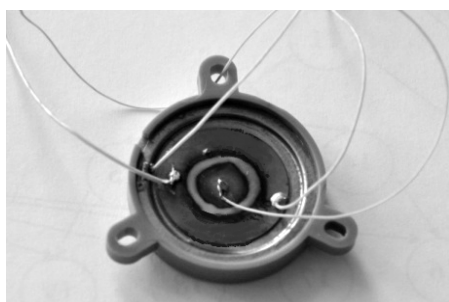


Рисунок 2 – Електроакустичний перетворювач ЗП-19

На вхід п'єзоелектричного трансформатора (ПТ) подавалася напруга від генератора ГЗ-109. Напруга на виході вимірювалася за допомогою мілівольтметра ВЗ-38 (рисунок 3, а). Вимірювалася амплітудно-частотна характеристика п'єзоелектричного перетворювача (рисунок 3, б).

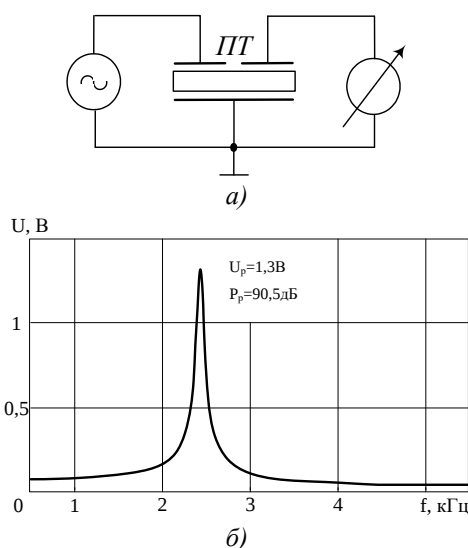


Рисунок 3 – Схема підключення п'єзоелектричного трансформатора (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)

Якщо на вхід п'єзоелемента підключити додаткову індуктивність $L_{\text{доп}}$ таким чином, щоб ця індуктивність і міжелектродна ємність

$C_{\text{ел}}$ утворили послідовний коливальний контур, характеристики п'єзоелемента зміняться [6, 7].

На рисунку 4, а зображено п'єзоелектричний перетворювач у вигляді п'єзотрансформатора з додатковою індуктивністю, причому індуктивність $L1$ разом із вхідною міжелектродною ємністю п'єзоелектричного перетворювача утворюють коливальний контур. Крім того, індуктивність підбирається таким чином, щоб резонансна частота утвореного коливального контуру збігалася з резонансною частотою механічних коливань п'єзотрансформатора [7].

Результати вимірювань показано на рисунку 4, б.

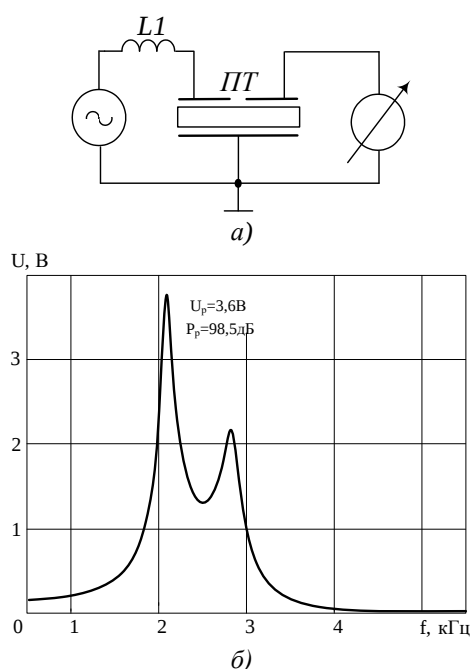


Рисунок 4 – П'єзоелектричний перетворювач з додатковою індуктивністю (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)

З рисунка 4 видно, що для перетворювача з додатковою індуктивністю вдалося підвищити вихідну напругу з 1,3 до 3,6 В, а також збільшити рівень звукового тиску з 90,5 до 98,5 дБ відносно перетворювача без додаткових елементів (рисунок 3) [8].

Міжелектродні ємності п'єзоелемента вимірювалися за допомогою цифрового мультиметра Voice kraft M890G. На вхід п'єзоелемента подавався синусоїдальний сигнал амплітудою 1 В. Для вимірювань амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) використовувалися генератор ГЗ-109 і мілівольтметр ВЗ-41.

Цікавим є вивчення впливу додаткової ємності, яка підключається до п'єзоелемента одночасно з додатковою індуктивністю.

Для випадку, коли додаткова індуктивність підключається на вхід п'єзоелемента, варіанти підключення додаткової ємності зображено на рисунку 5.

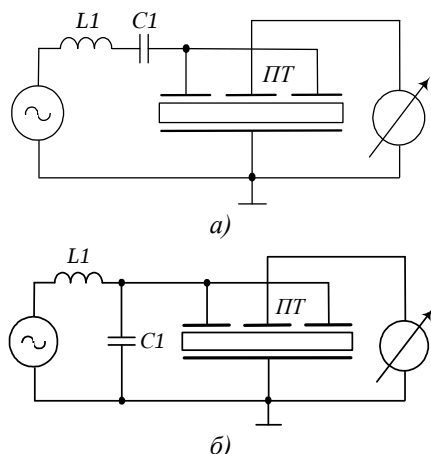


Рисунок 5 – П'єзoeлектричний перетворювач з додатковими індуктивністю і ємністю

У першому варіанті (рисунку 5, а) додаткова ємність $C1$ підключається послідовно $L1$. При послідовному з'єднанні $C1$ і вхідної міжелектродної ємності п'єзоелемента C_{ex} сумарна ємність зменшується, тому слід очікувати зсуву резонансних частот в область високих частот. Це видно з наведених АЧХ для цього варіанта (рисунку 6).

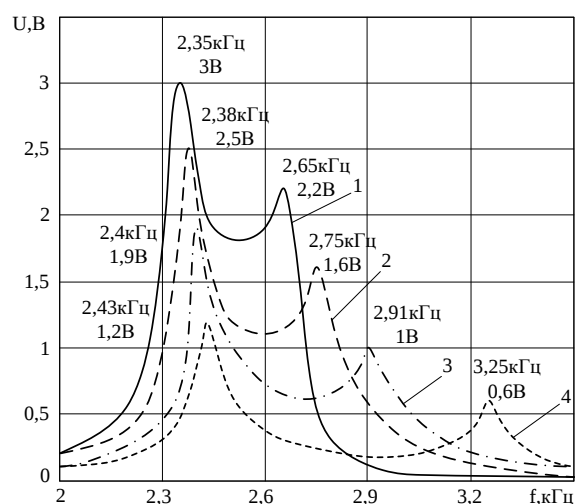


Рисунок 6 – Амплітудно-частотні характеристики п'єзoeлектричного перетворювача згідно з рисунком 5, а
при $L1 = const$, 1 – $C = 60$ нФ, 2 – $C = 33$ нФ, 3 – $C = 22$ нФ, 4 – $C = 14$ нФ

У другому випадку (рисунку 5, б) утворюється коливальний контур $L1$ ($C1 + C_{ex}$), що призводить до зсуву резонансної частоти в область низьких частот (рисунку 7) [9].

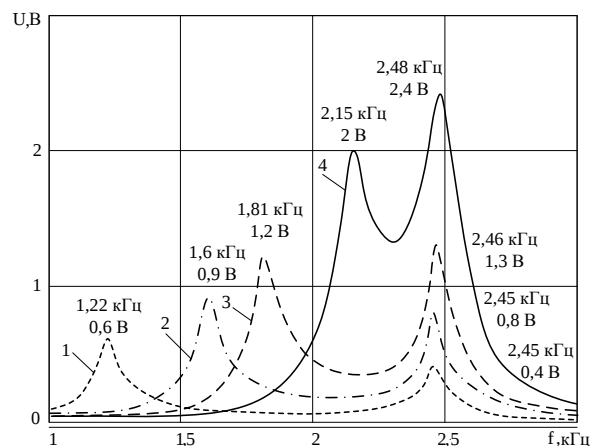


Рисунок 7 – Амплітудно-частотні характеристики п'єзoeлектричного перетворювача згідно з рисунком 5, б
при $L1 = const$, 1 – $C = 33$ нФ, 2 – $C = 14$ нФ, 3 – $C = 7$ нФ, 4 – $C = 1$ нФ

Для розширення робочого діапазону п'єзоелементи можуть включатися в схеми електричних фільтрів. Найчастіше в цих випадках використовуються схеми фільтрів нижніх і верхніх частот.

На рисунку 8 зображено схему підключення додаткового опору на вхід п'єзoeлектричного перетворювача [10], а на рисунку 9 – її амплітудно-частотні характеристики.

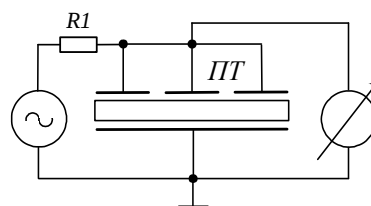
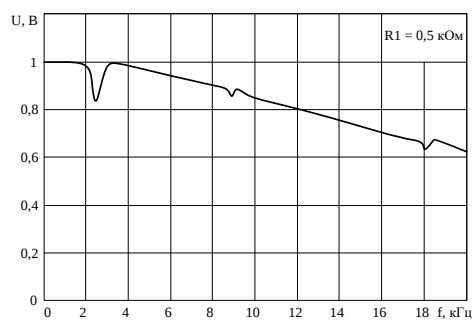
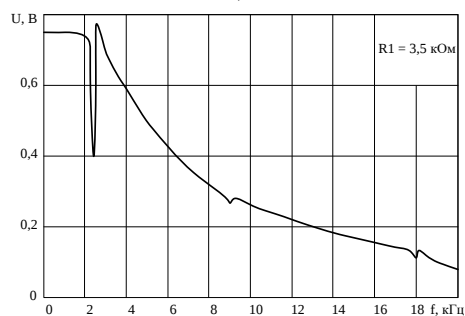


Рисунок 8 – Схема підключення додаткового опору $R1$ на вхід перетворювача

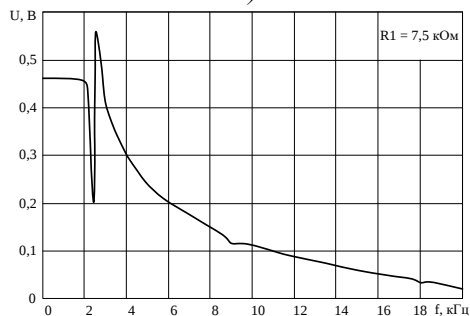
На рисунку 10 зображено схему підключення додаткового опору між п'єзoeлектричним перетворювачем і загальним проводом [10], а на рисунку 11 – її амплітудно-частотні характеристики.



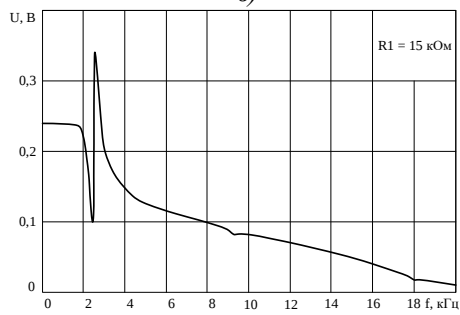
а)



б)



в)



г)

а) 0,5 кОм; б) 3,5 кОм; в) 7,5 кОм; г) 15 кОм

Рисунок 9 – Амплітудно-частотна характеристика п'єзоелектричного перетворювача з додатковим опором $R1$ згідно з рисунком 8

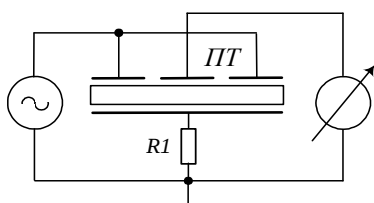
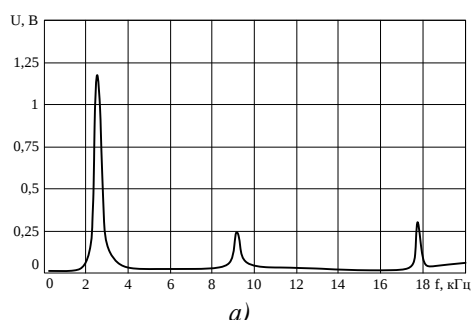
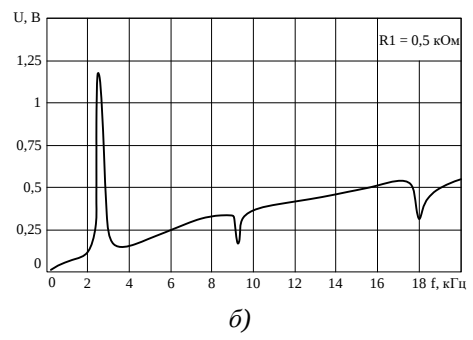


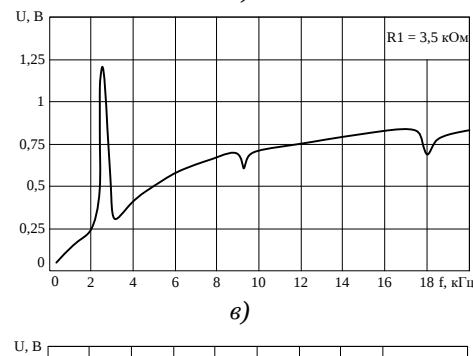
Рисунок 10 – Схема підключення додаткового опору $R1$ на вхід перетворювача



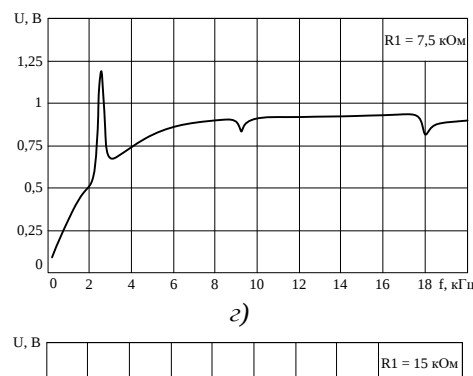
а)



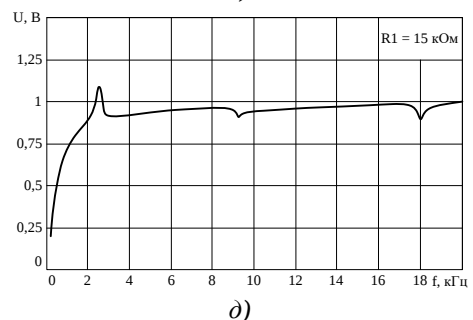
б)



в)



г)



д)

а) 0 кОм; б) 0,5 кОм; в) 3,5 кОм;
г) 7,5 кОм; д) 15 кОм

Рисунок 11 – Амплітудно-частотна характеристика п'єзоелектричного перетворювача з додатковим опором $R1$ згідно з рисунком 10

Як видно з рисунків 9, 11, підключення додаткового опору на вхід п'єзоелектричного перетворювача або між п'єзоелектричним перетворювачем і загальним проводом, тобто створення схем фільтрів нижніх або верхніх частот на основі п'єзоелектричного перетворювача, дає змогу керувати полозою частот пропускання перетворювача.

Висновки. Основний результат статті можна зафіксувати в такий спосіб: розглянуто технологію додаткових елементів; вивчено вплив додаткових індуктивності й ємності на амплітудно-частотні характеристики п'єзоелектричного перетворювача; досліджено вплив на амплітудно-частотні характеристики п'єзоелектричного перетворювача додаткового опору, підключеного на його вхід та між п'єзоелектричним перетворювачем і загальним проводом.

Список літератури

- [1] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. Springer, 2011.
- [2] Р. Г. Джагупов и А. А. Ерофеев, *Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления*. Санкт-Петербург: Политехника, 1994.
- [3] О. Н. Петрищев, "Гармонические колебания пьезокерамических элементов в вакууме и метод резонанса – антирезонанса" (часть 1) в *Гармонические колебания пьезокерамических элементов*. Киев: Аверс, 2012.
- [4] В. М. Шарапов, "Технологии синтеза пьезокерамических датчиков", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, 2010 (Технічні науки).
- [5] О. Н. Петрищев, и К. В. Базило, *Принципы и методы математического моделирования колеблющихся пьезоэлектрических элементов*. Черкассы: ЧП Гордиенко, 2019.
- [6] В. М. Шарапов, "Спосіб створення акустичних коливань за допомогою п'єзоелемента", *56930 Україна, МПК H04R 17/00. № 201012462*, Янв. 25, 2011.
- [7] В. М. Шарапов, та ін. "Електроакустичний перетворювач", *56932 Україна, МПК H04R 17/00. № 201012464*; Янв. 25, 2011.
- [8] В. М. Шарапов, К. В. Базило, Ж. В. Сотула, и В. Е. Снитюк, "Исследование пьезоэлектрических преобразователей с добавочными колебательными контурами", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 1, с. 35-38, 2013 (Технічні науки).
- [9] В. М. Шарапов, К. В. Базило, Ж. В. Сотула, А. С. Ткаченко, и др., "Методы синтеза пьезоэлектрических преобразователей: метод добавочных элементов. Индуктивность + емкость", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 59-62, 2011 (Технічні науки).
- [10] В. М. Шарапов, В. В. Туз, К. В. Базило, и А. С. Ткаченко, "Схемотехническое моделирование пьезоэлектрических преобразователей с добавочным сопротивлением", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 74-76, 2011 (Технічні науки).

References

- [1] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. Springer, 2011.
- [2] R. G. Dzhangupov, and A. A. Erofeev, *Piezoelectronic devices of computing equipment, control and monitoring systems*. St. Petersburg: Politehnika, 1994 [in Russian].
- [3] O. N. Petrishchev, Part 1. "Harmonic vibrations of piezoceramic elements in vacuum and a method of resonance – antiresonance" (part 1) in *Harmonic oscillations of piezoceramic elements*. Kiev: Avers, 2012 [in Russian].
- [4] V. M. Sharapov, "Technologies of synthesis of piezoceramic sensors", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 3, 2010 [in Russian].
- [5] O. N. Petrishchev, and C. V. Bazilo, *Principles and methods of mathematical modelling of oscillating piezoelectric elements*. Cherkasy: Gordienko, 2019 [in Russian].
- [6] V. M. Sharapov, "A method of creating acoustic oscillations using a piezoelectric element", *Patent of Ukraine 56930*, Jan. 25, 2011 [in Ukrainian].
- [7] V. M. Sharapov, et al. "Electroacoustic transducer", *Patent of Ukraine 56932*, Jan. 25, 2011 [in Ukrainian].
- [8] V. M. Sharapov, C. V. Bazilo, Zh. V. Sotula, and V. E. Snityuk, "Investigation of piezoelectric transducers with additional oscillatory circuits", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 1, pp. 35-38, 2013 [in Russian].

- [9] V. M. Sharapov, C. V. Bazilo, Zh. V. Sotula, A. S. Tkachenko, et al., "Methods of synthesis of piezoelectric transducers: the method of additional elements. Inductance + capacitance", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 59-62, 2011 [in Russian].
- [10] V. M. Sharapov, V. V. Tuz, C. V. Bazilo, and A. S. Tkachenko, "Circuit simulation of piezoelectric transducers with additional resistance", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 3, pp. 74-76, 2011 [in Russian].

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

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF BIMORPH PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS

Bimorph piezoceramic elements, in which elastic oscillations of transverse bending are excited, are used to solve a wide range of scientific and technical problems. The relevance of the use of various functional elements of piezoelectronics in power and informational systems is explained, first of all, by their high reliability, as well as small dimensions and weight, which greatly facilitates the solution of the problem of miniaturization of such systems. The technologies and devices that use the direct and / or reverse piezoelectric effect in the principles of their work are promising. The purpose of this article is to study the characteristics of a bimorph piezoelectric element.

The main result of this article can be fixed as follows: the paper considers the technology of additional elements, which does not require any refinement of the piezoelement, and the change in the characteristics of the transducer is carried out due to the external circuits for the piezoelement. The influence of additional inductance and capacitance on the amplitude-frequency characteristics of the piezoelectric transducer is studied. The influence of additional resistance connected to piezoelectric transducer's input on its amplitude-frequency characteristics is investigated. Manipulating the additional elements, you can have a significant effect on the energy of oscillatory motion of material particles of piezoelectric disk volume. The construction and mathematical model of a bimorph disk piezoelectric transformer with a symmetric electric load in a secondary electric circuit, constructed with a minimal number of assumptions, which simplify the real situation, are considered. In addition, using a mathematical model, the sensitivity of the characteristics of piezoelectric transformer to variations in the parameters of its design elements is easily determined. Having these dependencies, it is possible to make a rational choice of the technology for manufacturing a product. Thus, a qualitative mathematical model can significantly reduce the time and cost of developing new models of piezoelectric transformers.

Keywords: piezoelectric disk, bimorph element, design technology, additional elements.

Ю. Ю. Бондаренко, к.т.н., доцент,

e-mail: julybo110976@gmail.com

С. О. Філімонов, к.т.н., доцент,

e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

А. О. Мисан, аспірант,

e-mail: andreyka.misan@gmail.com

Д. С. Бачеріков, аспірант

e-mail: abaka94@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО АКТУАТОРА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Робота знайшла своє застосування при конструюванні малогабаритних літальних апаратів, де як рушійну силу використовують п'єзокерамічні пластини. При конструюванні малогабаритних апаратів на основі п'єзокераміки є вкрай важливим вплив співвідношення довжини та ширини п'єзокерамічної пластини на її резонансну частоту. В результаті досліджень отримано математичні залежності для прогнозування частоти коливань залежно від геометричних розмірів п'єзоелектричної пластини. Адекватність отриманих чисельних розрахунків підтверджено експериментальними дослідженнями.

Ключові слова: малогабаритні літальні апарати, моделювання, п'єзокераміка, п'єзокерамічний актуатор.

Вступ. В статті приділено увагу особливостям конструювання малогабаритних літальних апаратів (МЛА), які здійснюються в повітря за допомогою крил, що відповідно ґрунтується на біонічному принципі – копіювання рухів літаючих живих об'єктів (птахів або комах) [1].

Як рушійну силу в малогабаритних літальних апаратах зазвичай використовують електромагнітні двигуни. На рисунку 1 зображено малогабаритний літальний апарат DelFly Explorer, в якому як рушійна сила використовується такий електродвигун [2].

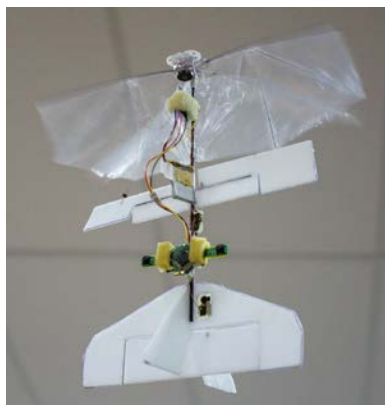


Рисунок 1 – DelFly Explorer

Зменшення конструкцій вимагає зменшення габаритів електромагнітних двигунів, що, в свою чергу, призводить до зменшення їх коефіцієнта корисної дії, а це неприпустимо. Таким чином, подальше зменшення конструкцій викликає зменшення габаритів електродвигуна, що призводить до зменшення вантажопідйомності [3].

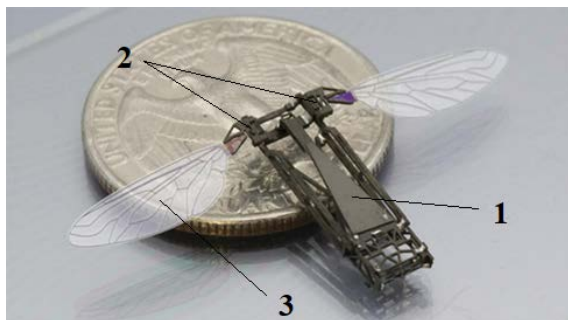
В інших різновидах малогабаритних літальних апаратів як рушійну силу використовують п'єзоактуатори.

П'єзоактуатор – це п'єзомеханічний пристрій, що для приведення в дію механізмів, систем або управління ними використовує явище п'єзоелектричного ефекту.

Прикладом застосування п'єзоактуаторів як рушійної сили в малогабаритних літальних апаратах є розробка вчених із Гарварда з проектом «RoboBees» на рисунку 2 [5]. Основним елементом RoboBees є п'єзоактуатор 1.

Використання п'єзоактуаторів як приводів має ряд переваг: швидкість спрацьовування, розвиток великих сил, відсутність магнітного поля, низьке споживання енергії, неохильність до зношування, можливість роботи в екстремальних умовах [4].

Таким чином, використання п'єзоактуаторів у малогабаритних літальних апаратах є більш раціональним.



1 – п'єзокерамічний актуатор,
2 – редукторний механізм, 3 – крила

Рисунок 2 – RoboBees

Проте аналіз технічної літератури, наукових статей, а також патентів показав, що на сьогоднішній день невисвітленим є питання впливу геометричних розмірів на частотні характеристики п'єзоактуаторів. Таким чином, визначення впливу геометричних розмірів п'єзоактуатора на частотні характеристики є важливою актуальною задачею, а її вирішення є метою цієї роботи.

Опис об'єкта і методу дослідження. Основною складовою п'єзокерамічного актуатора є п'єзокерамічна пластина. На рисунку 3 зображено аксонометричну модель п'єзокерамічної пластини.

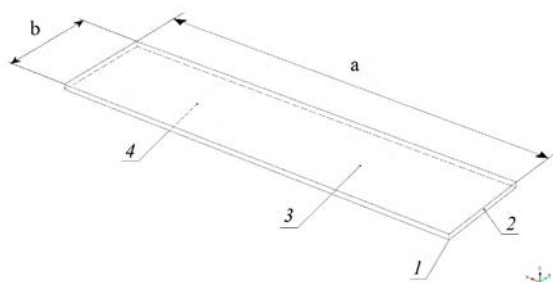


Рисунок 3 – Аксонометрична модель п'єзоелектричного актуатора

Враховуючи технічні особливості п'єзоелектричних актуаторів і всі складнощі, що виникають при їх виготовленні, оптимальним рішенням є використання чисельних методів розрахунку, що реалізуються спеціальними САПР [6].

Для дослідження амплітуди коливань було проведено чисельне моделювання процесу роботи п'єзоелектричного актуатора в програмі COMSOL Multiphysics 5.2.

Всередині п'єзоелектричного елемента існує зв'язок між деформацією та електричним полем, який визначається матеріальним або конститутивним співвідношенням:

$$\begin{aligned} T &= C_E S - e^T E, \\ D &= eS + \epsilon_S E, \end{aligned} \quad (1)$$

де S – деформація, T – напруга, E – електричне поле, D – електричне зміщення поля.

Складові рівняння (1) C_E і eS є комплексними величинами, що описують основні параметри матеріалу (відповідно жорсткість матеріалу, коефіцієнт електромеханічного зв'язку та діелектричну проникність). Ці величини є тензорами 4-го, 3-го і 2-го рангу відповідно, але, оскільки тензори симетричні за фізичними причинами, вони можуть бути представлені у вигляді матриць у скороченому записі, що зазвичай є більш зручним [7].

Використовувалися Лагранжові кінцеві елементи з елементарними базисними функціями другого порядку – Lagrange-Quadratic.

Аналіз п'єзокерамічного актуатора здійснювався в режимі Frequency response. Розрахункова сітка кінцевих елементів у пункті «Mesh» вибиралася ортогональною – Normal. Сітка була побудована тетрагональним розбиттям, а досліджувані тривимірні моделі були представлені сукупністю з більш ніж тисячі елементів кожна. Як розв'язувач використовувався Direct, в якому був обраний чисельний метод SPOLES для вирішення систем лінійних рівнянь з розрідженими матрицями.

Для визначення впливу геометричних розмірів на частоту п'єзоелектричного актуатора (рисунку 3) було проведено моделювання. Товщина п'єзопластини залишалася незмінною протягом усього циклу досліджень та становила 0,5 мм. Інші геометричні розміри п'єзокерамічної пластини були представлені коефіцієнтом $K = b/a$ в безрозмірній величині (відношення ширини основи b до довжини a).

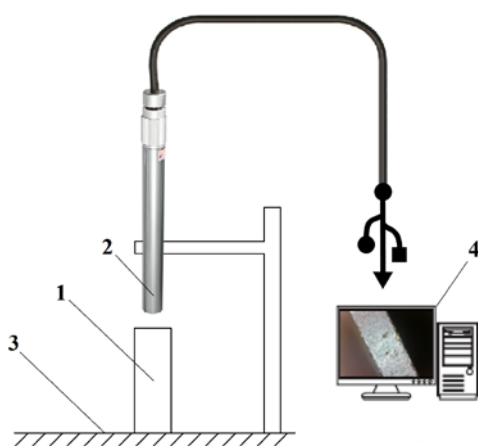
На першому етапі моделювання коефіцієнт K змінювався від 0,27 до 0,44 з кроком 0,1, при цьому ширина b лишалася незмінною ($b = 5$ мм), а змінювалась тільки довжина a .

На другому етапі моделювання було досліджено вплив геометричних розмірів ширини b на частоту коливань п'єзокерамічної пластини при постійній довжині a ($a = 40$ мм), коефіцієнт K змінювався аналогічно з першим етапом.

При моделюванні п'єзоелектричного актуатора були прийняті такі граничні умови: п'єзокерамічна пластина 1 по ширині площини 2 має тип граничних умов Fixed, електрична напруга (Electric potential) 100 В прикладена до електрода 5, а земля (Ground) – до електрода 4 на протилежній стороні (рисунок 3).

Для перевірки адекватності моделювання проводився експеримент з обраним актуатором, довжина якого становила 40 мм, ширина – 5 мм, а товщина – 0,5 мм.

Методика проведення експериментів полягала в наступному. П'єзоелектрична пластина 1 жорстко закріплювалася на основі 3 (рисунок 4).



1 – п'єзоелектрична пластина, 2 – USB мікроскоп,
3 – основа, 4 – комп'ютер

Рисунок 4 – Схематичне представлення експериментальної установки для визначення коливань п'єзоелектричної пластини

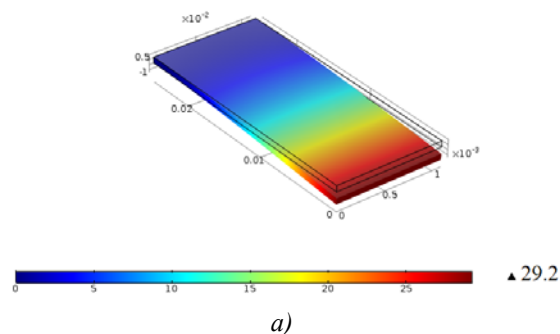
При подачі змінної електричної напруги на електроди п'єзоелектричної пластини 1 в останній виникали механічні коливання, які фіксувалися USB мікроскопом 2. За значенням максимальної амплітуди коливань визначали частоту резонансу.

Опис результатів. Деякі результати чисельного моделювання п'єзоелектричного актуатора в процесі зміни довжини його п'єзоелектричної пластини при її постійній ширині зображено на рисунку 5. З рисунка 5 наочно видно динаміку зміни частоти та амплітуди коливань п'єзокерамічного актуатора залежно від зміни геометричних розмірів застосованої в ньому п'єзоелектричної пластини.

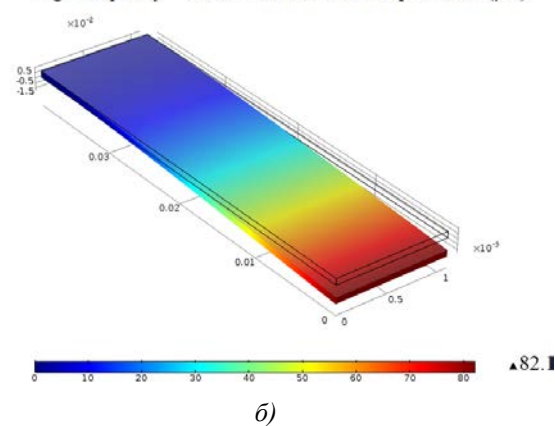
Отримані результати чисельного моделювання представлено графічно у вигляді залежності частоти коливань f від коефіцієнта $K = b/a$ актуатора і зображено на рисунку 6.

© Ю. Ю. Бондаренко, С. О. Філімонов, А. О. Мисан, Д. С. Бачеріков, 2019
DOI: 10.24025/2306-4412.2.2019.169493

Eigenfrequency = 515.53 Surface: Totat displacement (μm)



Eigenfrequency = 196.82 Surface: Total displacement (μm)



a) $K=0,44$; б) $K=0,27$

Рисунок 5 – Результати моделювання п'єзоелектричного актуатора з різними значеннями коефіцієнта K при постійній ширині п'єзоелектричної пластини

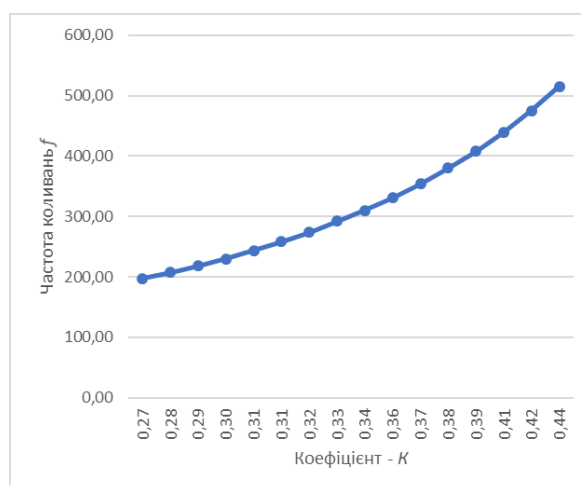


Рисунок 6 – Графік залежності частоти коливань f п'єзоелектричного актуатора при постійній ширині та з різними значеннями коефіцієнта K

З рисунка 6 видно, що максимальна частота коливань 515 Гц п'єзоелектричного актуатора відповідає коефіцієнту $K = 0,44$, що еквівалентно довжині $a = 40$ мм.

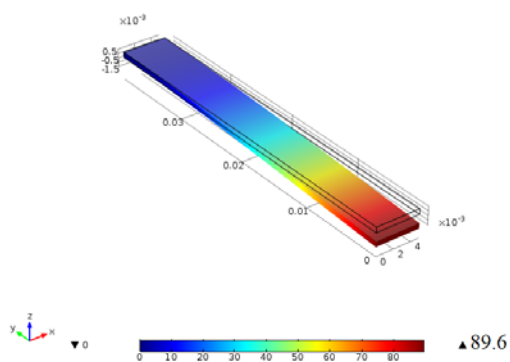
Отримана в результаті чисельного моделювання графічна залежність для амплітуди коливань актуатора була апроксимована за допомогою квадратичної функції

$$f = a + bx + cx^2, \quad (2)$$

де f – частота коливань актуатора; x – коефіцієнт K ; a, b, c – коефіцієнти рівняння (відповідно $a = 34,191882$, $b = -267,62638$, $c = 3101,041$).

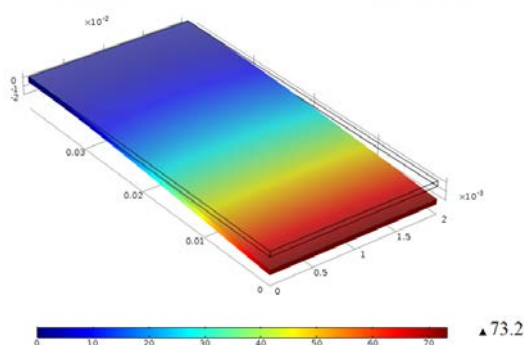
Наступним кроком визначалася частота коливань f при зміні ширини b п'єзоелектричної пластини при постійному значенні довжини $a = 40$ мм. Ширина b змінювалася в межах від 5 до 20 мм з кроком 1 мм. Зменшення ширини на величину, меншу ніж 5 мм, призводить до великих механічних напруг у п'єзоелектричній пластині, що може спричинити її руйнування. Деякі з результатів чисельного моделювання зображено на рисунку 7.

Eigenfrequency = 191.63 Surface: Total displacement (μm)



а)

Eigenfrequency = 203.09 Surface: Total displacement (μm)



б)

а) $K=0,125$; б) $K=0,5$

Рисунок 7 – Результати моделювання п'єзоелектричного актуатора при постійній довжині a з різними коефіцієнтами K

На основі результатів чисельного моделювання побудований графік залежності частоти коливань f п'єзоелектричного актуатора з різними значеннями коефіцієнта K при постійній довжині, який зображено на рисунку 8.

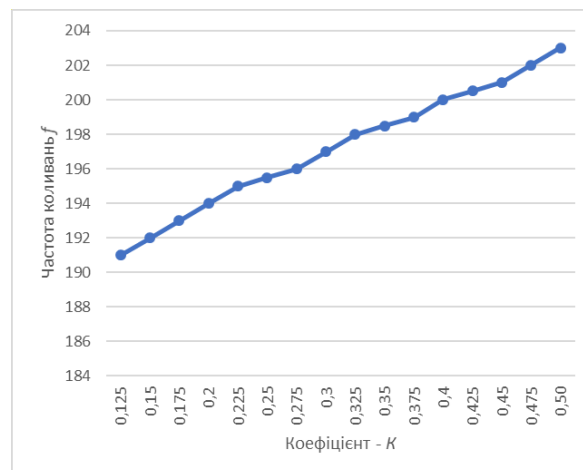


Рисунок 8 – Графік залежності частоти коливань f п'єзоелектричного актуатора при постійній довжині a з різними значеннями коефіцієнта K

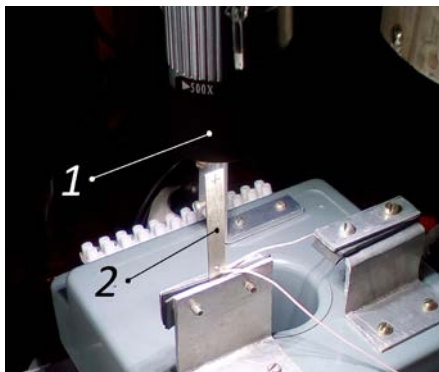
Таким чином, було встановлено, що за умови фіксації незмінною довжини актуатора та при зміні лише його ширини матиме місце лінійне зростання частоти коливань на проміжку K від 0,125 до 0,5. Максимальна частота коливань у цьому випадку дорівнюватиме 203 Гц при $K = 0,5$, тобто відповідатиме ширині пластини 20 мм, а мінімальна частота коливань становитиме 191 Гц при $K = 0,125$, що відповідно еквівалентно ширині 5 мм.

Отриману в результаті чисельного моделювання залежність для частоти коливань було апроксимовано за допомогою лінійної функції

$$f = a + bx, \quad (3)$$

де f – частота коливань актуатора, x – коефіцієнт K , $a = 187,19737$, $b = 31,819549$ – коефіцієнти.

Для підтвердження результатів моделювання було проведено фізичний експеримент зі зразком п'єзоелектричної пластини. На рисунку 9 зображено стенд для експериментального дослідження п'єзокерамічних актуаторів. Результат моделювання було зіставлено з результатами фізичних експериментів на дослідних зразках.



1 – USB мікроскоп; 2 – п'єзоелектрична пластина

Рисунок 9 – Експериментальна установка для визначення частоти коливань п'єзоактуатора

На рисунку 10 зображено візуалізацію коливань торця п'єзокерамічних пластин, отриману за допомогою мікроскопа.



а) в стані спокою; б)

а) в стані спокою;

б) при подачі напруги 100 В з частотою 146 Гц

Рисунок 10 – Експериментальні результати візуалізації коливань вільної сторони п'єзоактуатора під мікроскопом, збільшення у 250 разів

Висновки. Таким чином, основні результати досліджень можна сформулювати наступним чином: шляхом чисельного моделювання було визначено залежності впливу геометричних параметрів п'єзоелектричних пластин на частоту коливань п'єзоактуаторів на їх основі. Отримані дані можна використовувати при проектуванні малогабаритних літальних апаратів чи в будь-яких інших пристроях, де як рушійна сила використовуються п'єзокерамічні актуатори подібної форми. Отримані математичні залежності допоможуть спрогнозувати зміну частоти коливань п'єзоактуаторів залежно від геометричних розмірів їх п'єзоелектричних пластин.

Список літератури

- [1] Ю. Ю. Бондаренко, С. О. Филимонов, и А. А. Мисан, "Влияние геометрических параметров на амплитуду колебаний пьезоактуатора", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 70-75, 2018 (Технічні науки).

зоелектрического актуатора малогабаритных летательных аппаратов", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 70-75, 2018 (Технічні науки).

- [2] DelFly Explorer. [Online]. Available: <http://www.delfly.nl/explorer.html>
- [3] А. Б. Смирнов, *Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами*. Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2003.
- [4] А. Е. Панич, и С. Н. Жуков, "Пьезоэлектрические актуаторы" (т. 4), в *Пьезоэлектрическое приборостроение*. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2008.
- [5] Wyss Institute. [Online]. Available: <https://wyss.harvard.edu/technology/autonomous-flying-microrobots-robobees/>
- [6] В. И. Егоров, *Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности*. Санкт-Петербург: СПб ГУ ИТМО, 2006.
- [7] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [8] В. М. Лохин, "Тенденции развития беспилотных летательных аппаратов мини и микро классов", *Нано- и микросистемная техника*, № 2, 2005.
- [9] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [10] С. Н. Жуков, *Пьезоэлектрическая керамика: принципы и применение*. Минск: ООО ФУАуинформ, 2003.

References

- [1] Yu. Yu. Bondarenko, S. A. Filimonov, and A. A. Misan, "Influence of geometric parameters on the amplitude of oscillations of a piezoelectric actuator of small-sized flying vehicles", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 70-75, 2018 [in Russian].
- [2] DelFly Explorer. [Online]. Available: <http://www.delfly.nl/explorer.html>
- [3] A. B. Smirnov, *Mechatronics and robotics. Systems of micro-displacements with piezoelectric drives*. St.Petersburg: SPbSPU, 2003 [in Russian].
- [4] A. E. Panich, and S. N. Zhukov, "Piezo-electric actuators" (vol. 4), in *Piezoelectric instrument making*. Rostov-on-Don: CVUR, 2008 [in Russian].

- [5] Wyss Institute. [Online]. Available: <https://wyss.harvard.edu/technology/autonomous-flying-microrobots-robobees/>
- [6] V. I. Egorov, *Application of a computer for solving problems of heat conduction*. St. Petersburg: SPb GU ITMO, 2006 [in Russian].
- [7] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [8] V. M. Lokhin, "Trends in the development of pilotless flying vehicles of mini and micro classes", *Nano- i mikrosistemnaya tehnika*, no. 2, 2005 [in Russian].
- [9] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [10] S. N. Zhukov, *Piezoelectric ceramics: principles and applications*. Minsk: OOO FU-Auinform, 2003 [in Russian].

Yu. Yu. Bondarenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: julybo110976@gmail.com

S. A. Filimonov, Ph. D., associate professor,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

A. A. Misan, graduate student,
e-mail: andreyka.misan@gmail.com

D. S. Bachirikov, graduate student,
e-mail: abaka94@gmail.com

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

DEPENDENCE OF OSCILLATION FREQUENCY ON GEOMETRICAL PARAMETERS OF PIEZOCERAMIC ACTUATOR FOR SMALL-SIZED AIRCRAFT

In the article the attention is paid to the peculiarities of the construction of small-sized aircraft flying into the air with the help of wings based on the bionic principle – copying movements birds or insects. Micro devices of such size and type have a wide range of applications and a number of tasks set before them, such as: pollination of crops, search and rescue operations, observation, as well as monitoring of weather, climate and environment with high resolution. The work has found its application in the design of small-sized aircraft, where piezoceramic plates are used as a driving force. The piezoceramics becomes much more relevant than that of an electric motor, since with the reduced design of a small-sized flying machine built on the basis of an electric motor, it will have to reduce the electromagnetic engine itself, that will lead to a loss in the efficiency factor of the engine and the aircraft in general. The piezoceramic engine is capable of converting electric energy into a mechanical one with a very high operating coefficient, which in some cases amounts to more than ninety percents. In addition, the use of piezoactuators has a number of advantages: operating speed, the development of large forces, the absence of a magnetic field, low energy consumption, no tendency to wear, the ability to work in extreme conditions. When constructing small-sized devices based on piezoceramics, the ratio of the length and width of the piezoceramic plate to its resonant frequency is extremely important. As a result of the research, mathematical dependences have been obtained for predicting the oscillation frequency, depending on geometric dimensions of the piezoelectric plate. The adequacy of the obtained numerical calculations is confirmed by experimental studies.

Keywords: small-sized planes, modeling, piezoceramics, piezoceramic actuator.

Р. В. Трембовецька, к.т.н., доцент,

В. Я. Гальченко, д.т.н., професор,

В. В. Тичков, к.т.н., доцент,

А. В. Сторчак, аспірант

Черкаський державний технологічний університет

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

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МЕТАМОДЕЛЕЙ КРУГОВИХ НАКЛАДНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Для задачі синтезу вихрострумowego перетворювача із однорідною зоною чутливості створені його RBF-метамоделі, які мають високу обчислювальну ефективність. Дані метамоделі можна використовувати для проектування перетворювача із заданим розподілом густини вихрових струмів в контрольних точках простору, що розташовані на поверхні струмопровідного об'єкту в зоні контролю перетворювача. Котушка збудження концентричного накладного вихрострумowego перетворювача представлена витком, що живиться змінним струмом та який розташований над об'єктом контролю з постійними електрофізичними параметрами. Отримані метамоделі перевірені на адекватність та інформативність за комплексом статистичних показників з об'єктивною оцінкою їх статистичної значущості. При апроксимації поверхні відгуку використовувався комп'ютерний план експерименту, а саме багатовимірний простір пошуку заповнювався точками, які згенеровані за допомогою ЛПГ-последовностей, що рівномірно розташовані на поверхні відгуку. Перевірено відтворюваність поверхні відгуку за допомогою отриманої метамоделі в усій області моделювання. Досягнута прийнятна похибка апроксимації.

Ключові слова: метамодель, апроксимація поверхні відгуку, нейронна мережа, комп'ютерний план експерименту, адекватність метамоделі, інформативність метамоделі, вихрострумовой перетворювач, котушка збудження, густина вихрових струмів.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Накладні вихрострумові перетворювачі (НВСП) класичних конструкцій мають ряд недоліків, один із яких – нерівномірна чутливість. На етапі проектування він частково усувається створенням нестандартної конструкції, як то сукупності збуджувальних котушок з певним їх розташуванням та схемою включення. Серед можливих конструкцій системи збудження виділяють гомогенні та гетерогенні структури збудження НВСП. Гомогенні структури містять систему тільки кругових витків із радіусами r_{oi} або тільки систему витків у вигляді рамок розмірами $a \times b$ із різним розташуванням відносно об'єкта контролю (ОК). Наприклад, рамка розташована паралельно до ОК або перпендикулярно, тоді як гетерогенні структури складаються із різних типів витків, як кругових так і рамових, та різноманітного їх розташування один відносно іншого. Геометричні моделі структур збу-

дження у вигляді кругових витків розглянуто в роботі [1].

Застосуванням гомогенних та гетерогенних структур збудження із відповідною схемою включення досягається зменшення неоднорідності розподілу густини вихрових струмів (ГВС) та збільшення чутливості вихрострумowego методу контролю. У результаті ці структури генерують максимально наближений до ідеального однорідний розподіл ГВС на поверхні ОК. Створення такої нестандартної конструкції системи збудження НВСП є проектною задачею, яку доцільно вирішувати із застосуванням оптимального синтезу.

Функція цілі оберненої задачі в оптимізаційній постановці задається класично у вигляді квадрата відхилення між модулем ГВС у контрольній точці ОК з номером i , створеним відповідною k -ю котушкою системи збудження НВСП J_{ik} , та бажаним значенням модуля

ГВС у контрольній точці $J_{reference}$. Надалі ця функція мінімізується. Для синтезу НВСП застосування традиційного підходу є недоцільним і неможливим через суттєву складність реалізації обчислювального процесу, що відповідно впливає на надзвичайно велику тривалість розв'язання задачі.

Так, розрахунок розподілу ГВС J_{ik} за математичною моделлю [2-4], яка отримана рішенням прямої задачі електродинаміки у вигляді диференціальних рівнянь Максвелла, становить від 5 до 20 годин залежно від форми витка та його розмірів [5]. Безсумнівно, що велика ресурсоемність не дозволяє реалізувати оптимальний синтез в його традиційному розумінні.

Ефективним вирішенням такої проблеми є застосування сурогатної оптимізації, що широко використовується в різноманітних галузях, наприклад в аерокосмічному будівництві, турбінобудуванні, будівництві, машино- та приладобудуванні тощо. Найбільшого поширення набули такі алгоритми побудови метамоделей: алгоритми поліноміального регресійного аналізу [6, 7], регресії на основі гаусівських процесів [8, 9], багатопараметричної нелінійної регресії, крігінг [10], адаптивні алгоритми регресійного аналізу [11, 12], еволюційні алгоритми самоорганізації [13], алгоритми штучних нейронних мереж [14].

Одним із недоліків алгоритму поліноміального регресійного аналізу є проблема вибору порядку моделі залежно від складності функції цілі [6, 7]. Реалізується ітеративно в бік підвищення. Для регресії на основі гаусівських процесів необхідно мати в наявності заздалегідь задану коваріаційну функцію, яка необхідна при оцінюванні параметрів цих процесів, що відповідно впливає на обчислювальну складність методу [8, 9]. Розрахунок параметрів метамоделі методом максимальної правдоподібності виконується в крігінговому методі [10]. При цьому розрахунок виходу моделі крігінговим методом передбачає виконання досить громіздких матричних перетворень, що суттєво впливає на складність реалізації зі збільшенням розмірності задачі.

В адаптивному алгоритмі регресійного аналізу розрахунок невідомих коефіцієнтів виконується методом найменших квадратів [11, 12]. Так само, як і в попередньому алгоритмі, основним недоліком цього алгоритму є

складнощі розрахунку коефіцієнтів моделі, коли розв'язується задача великої розмірності. Вибір оптимальної структури моделі передбачає і метод МГУА, де здійснюється сортування поступово ускладнених моделей [13]. Метод потребує додаткових інтелектуальних зусиль на пошук ефективного виду моделі. Завдяки тому, що RBF-нейронна мережа має лише один прихований шар нейронів, а це суттєво спрощує задачу вибору архітектури мережі, ці мережі мають широке застосування при побудові метамоделей у різноманітних технічних задачах [14]. Окрім того, такі мережі швидко навчаються, оскільки використовують добре вивчені методи лінійної оптимізації при підборі параметрів лінійної комбінації у вихідному шарі мережі. Зважаючи на переваги та недоліки відомих апроксимаційних методів, у цьому дослідженні використано математичний апарат штучних нейронних мереж.

Задачу оптимального синтезу НВСП в загальному випадку вирішують у декілька етапів: 1-й етап – побудова метамоделі з використання RBF-мережі з гаусовою функцією активації; 2-й етап – оптимальний синтез; 3-й етап – перевірка на «точних» електродинамічних моделях отриманого результату та корекція структури збудження НВСП (рисунк 1).



Рисунок 1 – Етапи виконання оптимального синтезу НВСП

Мета роботи: побудова RBF-метамоделі кругового вихрострумового перетворювача та оцінювання її точності із перевіркою метамоделі на адекватність, інформативність та достовірність.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо модельний приклад побудови метамоделі нерухомого НВСП у вигляді витка, що розташований над ОК, при таких вихідних даних: товщина струмопровідного матеріалу ОК $d = 10$ мм; висота розташування над ОК $z_0 = 3$ мм; частота струму збудження $f = 1$ кГц; електрофізичні параметри матеріалу $\sigma = 3,745 \cdot 10^7$ См/м, $\mu_r = 1$.

В подальшому побудова метамоделі ВСП розглядається як рішення кожної окремої підзадачі (рисунок 1). Початковим для побудови метамоделі є створення плану експерименту із рівномірним комп'ютерним заповненням точками багатовимірного простору пошуку. Кількість точок дорівнює $N_{\text{відв.}}$. Враховуючи переваги та недоліки різноманітних генераторів розподілу точок [15], в дослідженні використано сукупності ЛП_т-послідовностей Соболя $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{52}$. Так, наприклад, для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм реалізовувалися такі випадки ЛП_т-послідовностей як ξ_1, ξ_2, ξ_5 , так і ξ_1, ξ_3, ξ_5 , а для $6 < r \leq 11$ мм – послідовності ξ_1, ξ_2, ξ_6 .

Побудову метамоделі виконано при варіюванні трьох параметрів у межах $x = 0 \dots 30$ мм; $y = 0 \dots 30$ мм; $r = 2 \dots 15$ мм та за умови, що НВСП нерухомий, тобто $\vec{v} = (0, 0, 0)$. Метамоделі, отримані за допомогою одинарних RBF нейронних мереж, показали низьку точність [1]. Тому доцільним є застосування додаткових методів підвищення точності нейромережевого рішення [16]. Так, у роботі [1] побудовано множинну RBF-метамодель, яка має вигляд комітету нейронних мереж. При такій побудові вдалося лише незначно зменшити величину середньої модельної похибки апроксимації MAPE, %. Зокрема, одинарні RBF-мережі на етапі навчання мають MAPE від 22 % до 29 %, тоді як мережі, організовані в комітет, забезпечують MAPE на етапі навчання до 18,08 % та на етапі відтворення – до 19,8 %, тобто похибка зменшується лише на 4-9 %, що недостатньо для відтворення поверхні відгуку. При побудові мережі у вигляді композита із одиночних мереж [16] вдається досягти зменшення MAPE майже в два рази на обох етапах побудови. Зокрема, композитна мережа із восьми каскадів дає MAPE до 10,12 % при навчанні та 15,93 % при відтворенні поверхні відгуку. Таким чином, доцільно застосувати

при побудові метамоделі архітектуру гібридної множинної мережі, що складається із композитів та комітетів нейронних мереж.

Для підвищення точності побудови метамоделі область пошуку розділена на три підобласті: $2 \leq r \leq 6$ мм, $6 < r \leq 11$ мм, $11 < r \leq 15$ мм, для яких отримано апроксимаційні залежності з використанням гібридної множинної мережі, тобто застосовується декомпозиція.

Створено групи RBF-нейронних мереж для кожної із підобластей із кількістю точок плану експерименту $N_{\text{навч.}} \in N_{\text{відм.}}$, з яких відібрано найкращі (таблиці 1-3). Для оцінювання якості отриманої метамоделі на етапі навчання використано чисельні показники коефіцієнта детермінації R^2 , відношення стандартних відхилень $S.D.\text{ratio}$; середньої відносної величини модельної похибки (або середньої похибки апроксимації) MAPE, %, суми квадратів залишків SS_R , середнього квадрата залишків MS_R . Також проводиться графічний аналіз залишків у вигляді гістограм та діаграм розсіювання значень модуля ГВС для «точної» моделі J_{ik} та побудованої метамоделі $\hat{J}_{ik}$. Надалі перевіряється правильність відтворюваності поверхні відгуку за допомогою отриманої математичної моделі в усій області моделювання. Оцінювання відновлення поверхні відгуку виконується за допомогою формули, що описує вихід RBF-мережі [1].

В таблицях 1–3 наведено архітектуру кожного каскаду композитної мережі та мережі, які використовувалися для створення комітетів для відповідних підобластей пошуку, а також чисельні показники якості множинної нейронної мережі при навчанні та відтворенні.

Для порівняння ефективності метамоделі J_1 на першому та $J_{\Sigma \text{комітет}}$ на останньому каскаді мереж для відповідних підобластей на рисунках 3, 4, 8, 9, 13, 14 наведено результати чисельного моделювання відновлення поверхні відгуку, що відтворена на точках вибірки $N_{\text{відм.}}$. Для прикладу, результати подано у вигляді ліній рівня відновленої поверхні відгуку для радіусів $r = 5, 10, 15$ мм і діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції.

На рисунках 5, а, 6, б, 10, а, 11, б, 15, а, 16, б зображено результати відносної модельної похибки апроксимації поверхні відгуку, що представлено у вигляді ліній рівня та гіс-

тограм її розподілу також для J_1 та $J_{\Sigma \text{комітет}}$ кожної підобласті відповідно.

На рисунках 2, а, 7, а, 12, а зображено деякі статистичні показники, отримані за допомогою універсальної комп'ютерно-інтегрованої системи STATISTICA. Використовуючи їх, оцінено адекватність та достовір-

ність отриманих метамоделей для зазначених підобластей. За допомогою модуля Correlation matrices отримано значення коефіцієнта кореляції та коефіцієнта детермінації. З їх використанням оцінюється інформативність метамоделей для кожної підобласті (рисунки 2, б, 7, б, 12, б).

Таблиця 1 – Чисельні показники якості множинної нейронної мережі для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм

Композитна нейромережа	Метамоделі, що є складовими композита	MAPE, %		MS _R		SS _R	
		навчання N=1036	відтворення N=2060	навчання	відтворення	навчання	відтворення
J_1	RBF-3-299-1(1)	11.49	12.9	0.000437	0.000691	0.453	1.425
J_2	RBF-3-302-1(5)	9,91	11,07	0,000103	0,000332	0,107	0,685
J_3	RBF-3-300-1(30)	7,88	9,27	0,0000731	0,000374	0,0758	0,772
J_4	RBF-3-305-1(46)	6,51	7,97	0,0000596	0,000314	0,0618	0,647
J_5	RBF-3-297-1(4)	6,05	7,45	0,0000480	0,000317	0,0498	0,654
	RBF-3-298-1(9)	6,15	7,43	0,0000381	0,000280	0,0395	0,578
	RBF-3-299-1(12)	5,98	7,39	0,0000444	0,000299	0,046	0,617
	RBF-3-306-1(48)	5,98	7,32	0,0000415	0,000283	0,043	0,584
$J_{\Sigma \text{комітет}}$	№4+№9+№12+ +№48	5,38	6,76	0,000038	0,000289	0,0394	0,597

Working_error_2_5 мм* - Descriptive statistics (Table_x_y_r0_r_2_5)

Переменная	N набл.	Среднее	Сумма	Минимум	Максим.	Дисперсия	Ст.откл.
Jplan_norm	2060	0,083896	172,8260	0,000000	1,000000	0,023062	0,151862
J1+J2+J3+J4+J5	2060	0,083215	171,4231	-0,018909	0,967497	0,022764	0,150879
J5_остатки	2060	0,000677	1,3952	-0,467543	0,179869	0,000290	0,017027
J5_остатки - Абс. Ост.	2060	0,004231	8,7152	0,000002	0,467543	0,000272	0,016507
SSR	2060	0,000290	0,5979	0,000000	0,218596	0,000026	0,005128
SSD	2060	0,022754	46,8729	0,000000	0,780751	0,007024	0,083809
SST	2060	0,023051	47,4851	0,000000	0,839246	0,007257	0,085187

а)

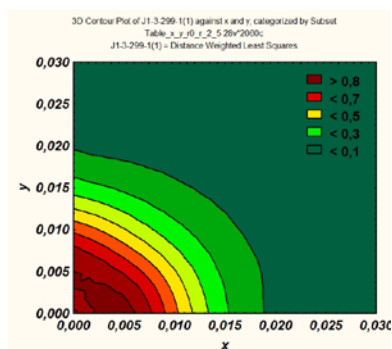
Working_error_2_5 мм* - Correlations (Table_x_y_r0_r_2_5)

Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < 0,05000$

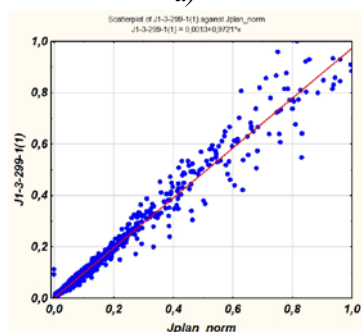
Пер.X и Пер.Y	Среднее	Стд.откл.	$r(X,Y)$	r^2	t	p	N	Св. член завис.Y	Наклон завис.Y	среднее завис.X	Наклон завис.X
Jplan_norm	0,083896	0,151862									
Jplan_norm	0,083896	0,151862	1,000000	1,000000			2060	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000
J1+J2+J3+J4+J5	0,083215	0,150879	0,993695	0,987429	402,0581	0,00	2060	0,000388	0,987258	0,000667	0,00173
J1+J2+J3+J4+J5	0,083215	0,150879	0,993695	0,987429	402,0581	0,00	2060	0,000667	1,000173	0,000388	0,987258
J1+J2+J3+J4+J5	0,083215	0,150879	1,000000	1,000000			2060	0,000000	1,000000	0,000000	0,000000

б)

Рисунок 2 – Статистичні показники для оцінювання адекватності та інформативності метамоделей для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм



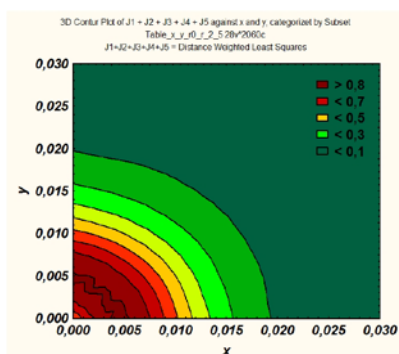
а)



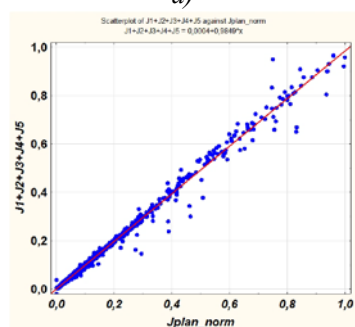
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=5$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 3 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі RBF-3-299-1(1)



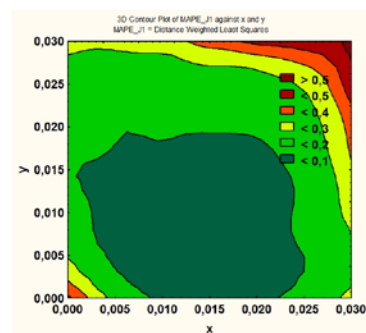
а)



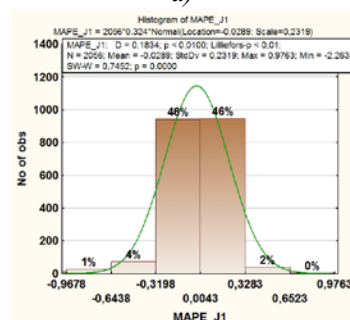
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=5$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 4 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$



а)



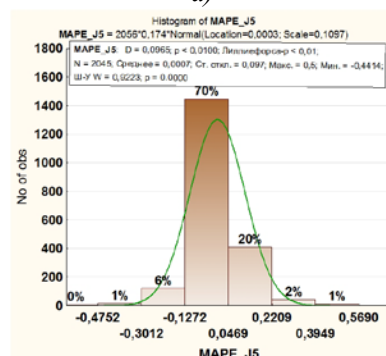
б)

а) лінії рівня для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 5 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі RBF-3-299-1(1)



а)



б)

а) лінії рівня для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 6 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$

Для перевірки відповідності отриманої функції відгуку експериментальним даним встановлювалась адекватність отриманої математичної моделі за критерієм Фішера:

$$F_{n_D; n_R}^{експ} > F_{a; n_D; n_R}^{крим}, F_{n_D; n_R}^{експ} = \frac{MS_D}{MS_P}, \quad (1)$$

де $F_{\alpha; v_D; v_R}^{крит}$ – критичне значення критерію Фішера, заздалегідь розраховане значення з певним рівнем значущості α ; $MS_D = \frac{SS_D}{n_D}$ – середній квадрат регресії; $MS_R = \frac{SS_R}{N - n - 1}$ – середній квадрат залишків; SS_D – сума квадратів регресії; SS_R – сума квадратів залишків; SS_T – загальна сума квадратів; $v_D=n$, $v_R=N-n-1$ – кількість степенів свободи, N – кількість спостережень; n – кількість заданих незалежних змінних.

Тоді отримана метамодель $J_{\Sigma \text{ансамбль}}$ для підобласті $2 \leq r \leq 6$ мм має експериментальне значення показника Фішера

$$F_{V_D; V_R}^{\text{експ}} = F_{3; 2056}^{\text{експ}} = 78,886, \text{ а критичне значення}$$

цього критерію з рівнем значущості $\alpha = 5\%$ і

кількістю степенів свободи $v_R=2056$, $v_D=3$ становить $F_{\alpha; v_D; v_R}^{\text{крит}} = F_{0,05; 3; 2056}^{\text{крит}} = 2,6$. Таким чином, умова (1) виконується, метамоделі адекватна і прогноз результатів по моделі не суперечить дійсності.

Перевірка моделі на інформативність проводиться шляхом розрахунку коефіцієнта детермінації R^2 :

$$R^2 = \frac{SS_D}{SS_T} = \frac{SS_T - SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_R}{SS_T}. \quad (2)$$

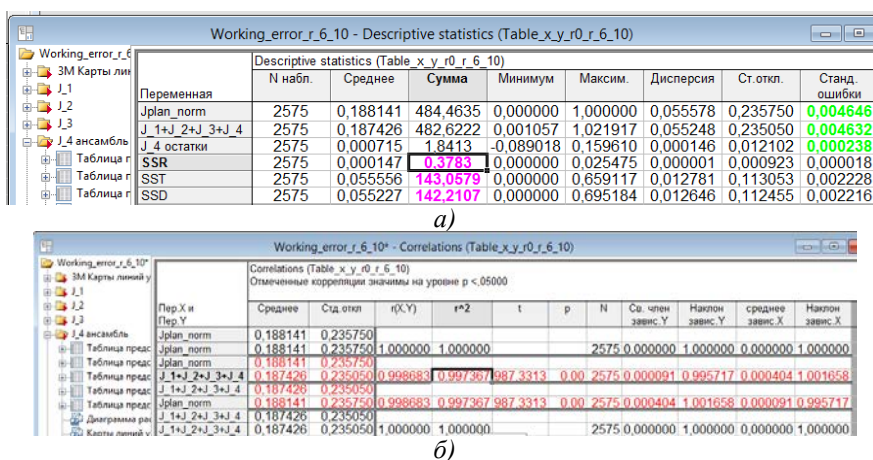
Перевірку гіпотези про значущість множинного коефіцієнта кореляції R^2 (інформативність моделі) виконано з використанням F -критерію Фішера (1), де

$$F_{\nu_D; \nu_R}^{eckn} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{\nu_R}{\nu_D}. \quad (3)$$

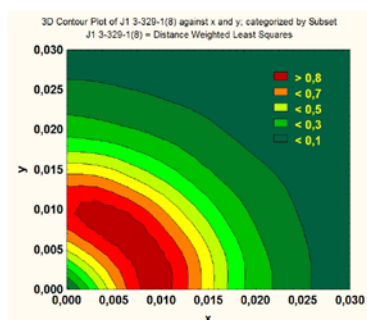
Метамоделі інформативна, оскільки $R^2 > 0,95$ (рисунк 2, б), та значимо достовірна за F -критерієм при рівні значущості 5 %, оскільки умова (1) виконується для експериментального значення $F_{3;2056}^{експ} = 75,812$.

Таблиця 2 – Чисельні показники якості множинної нейронної мережі для підобласті $6 < r \leq 11$ мм

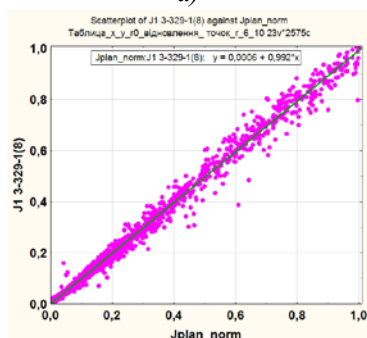
Композитна нейромережа	Метамоделі, що є складовими композита	MAPE,%		MS _R		SS _R	
		навчання N=1299	відтворення N=2575	навчання	відтво- рення	навчання	відтво- рення
J_1	RBF-3-329-1(8)	10.04	9.82	0.000361	0.000406	0.469	1.046
J_2	RBF-3-332-1(1)	6,36	6,52	0,000192	0,000246	0,250	0,636
J_3	RBF-3-328-1(8)	5,69	6,01	0,000127	0,000183	0,165	0,472
J_4	RBF-3-326-1(3)	5,07	5,38	0,000102	0,000159	0,133	0,411
	RBF-3-329-1(20)	5,04	5,25	0,000101	0,000160	0,132	0,414
	RBF-3-326-1(42)	4,99	5,49	0,000101	0,000163	0,132	0,422
	RBF-3-332-1(80)	4,91	5,13	0,0001	0,000157	0,13	0,399
$J_{\text{скомпітована}}$	№3+№20+№42+№80	4,48	4,8	0,0000894	0,000146	0,116	0,378



**Рисунок 7 – Статистичні показники для оцінювання адекватності та інформативності метамоделі
для підобласті $6 < r \leq 11$ мм**



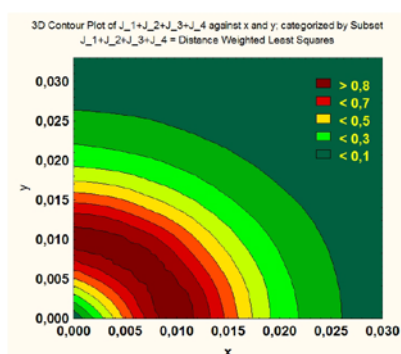
а)



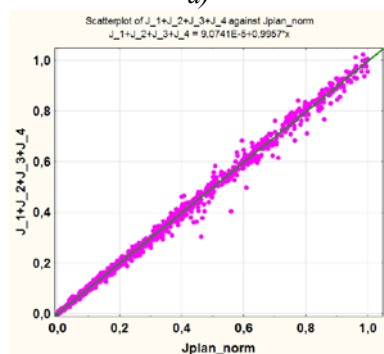
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=10$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 8 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі RBF-3-329-1(8)



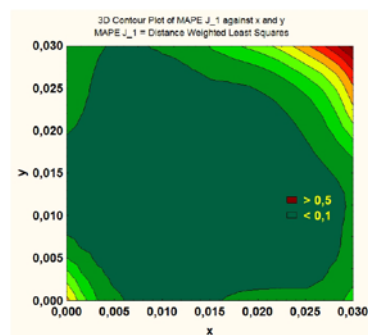
а)



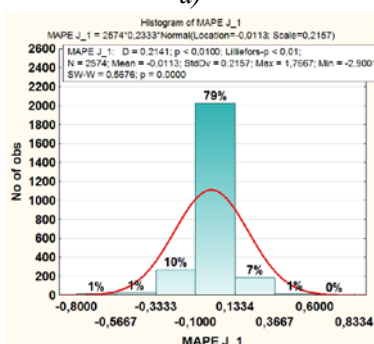
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=10$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 9 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$



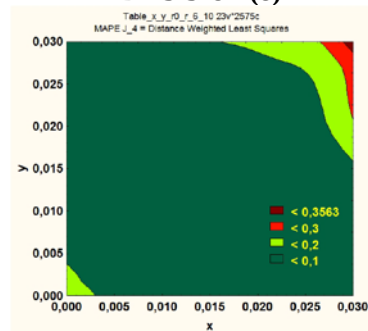
а)



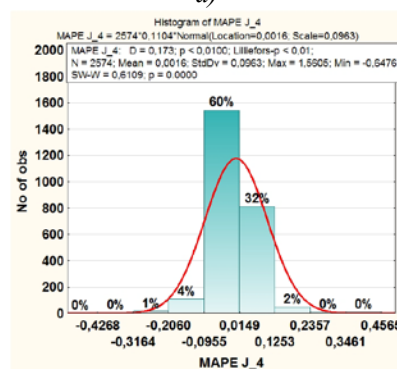
б)

а) лінії рівня для підобласті $6 < r \leq 11$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 10 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі RBF-3-329-1(8)



а)



б)

а) лінії рівня для підобласті $6 < r \leq 11$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 11 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$

Для підобласті $6 < r \leq 11$ мм експериментальне значення показника Фішера становить $F_{v_D; v_R}^{експ} = F_{3; 2571}^{експ} = 375$, а критичне значення Фішера з рівнем значущості $\alpha=5\%$ і кількістю степенів свободи $v_R=2571$, $v_D=3$ дорівнює $F_{0,05; 3; 2571}^{крит} = 2,6$. Умова (1) виконується, мета-модель для цієї підобласті є адекватною.

Експериментальне значення F -критерію Фішера для перевірки гіпотези про значущість множинного коефіцієнта кореляції становить $F_{3; 2571}^{експ} = 331,91$. Отже, метамодель $J_{\Sigma комітет}$ для цієї підобласті інформативна, оскільки $R^2 > 0,95$ (рисунок 7, б), та значимо достовірна за F -критерієм Фішера при $\alpha=5\%$.

Таблиця 3 – Чисельні показники якості композитної нейронної мережі для підобласті $11 < r \leq 15$ мм

Композитна нейро-мережа	Метамоделі, що є складовими композита	MAPE, %		MS _R		SS _R	
		навчання N=1040	відтворення N=2061	навчання	відтворення	навчання	відтворення
J_1	RBF-3-297-1(2)	7,94	7,77	0,000698	0,000883	0,725	1,821
J_2	RBF-3-300-1(11)	5,75	6,55	0,000365	0,000619	0,38	1,276
J_3	RBF-3-300-1(13)	4,7	5,68	0,000245	0,000503	0,252	1,038
J_4	RBF-3-306-1(77)	4,11	5,12	0,000181	0,000428	0,189	0,883
J_5	RBF-3-297-1(1)	3,74	5,04	0,000149	0,000396	0,155	0,817
	RBF-3-301-1(22)	3,72	4,8	0,000142	0,000380	0,148	0,785
	RBF-3-309-1(63)	3,79	4,94	0,000149	0,000392	0,155	0,808
$J_{\Sigma комітет}$	№1+№22+№63	3,56	4,78	0,000136	0,000379	0,142	0,782

Working_error_r_11_15 - Descriptive statistics (Table_x_y_r0_r_11_15)

Переменная	N наб.	Среднее	Сумма	Минимум	Максим.	Дисперсия	Ст.откл.
Jplan_norm	2060	0,307579	633,6120	0,000000	1,000000	0,079280	0,281568
J_1+J_2+J_3+J_4+J_5	2060	0,305711	629,7639	0,012394	1,061280	0,078701	0,280537
J_5 остатки	2060	0,001868	3,8481	-0,106473	0,370844	0,000376	0,019404
SSR	2060	0,000380	0,7824	0,000000	0,137525	0,000013	0,003545
SST	2060	0,079242	163,07824	0,000000	0,479627	0,011183	0,105748
SSD	2060	0,078666	162,0520	0,000000	0,568261	0,010675	0,103319

а)

Working_error_r_11_15* - Correlations (Table_x_y_r0_r_11_15)

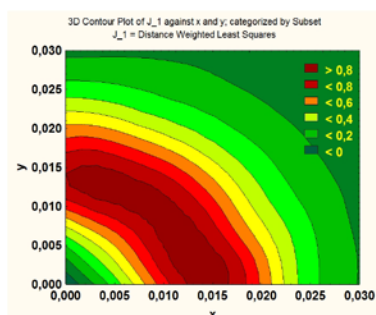
Пер.X и Пер.Y	Среднее	Стд.откл.	r(X,Y)	r^2	t	p	N	Св.член	Наклон	Среднее	Наклон
J_1+J_2+J_3+J_4+J_5	0,305711	0,280537	1,000000	1,000000			2060	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000
J_1+J_2+J_3+J_4+J_5	0,305711	0,280537	0,997624	0,995253	656,8518	0,00	2060	0,001474	1,001288	-0,000014	0,993973
Jplan_norm	0,307579	0,281568	0,997624	0,995253	656,8518	0,00	2060	-0,000014	0,993973	0,001474	1,001288
J_1+J_2+J_3+J_4+J_5	0,305711	0,280537	1,000000	1,000000			2060	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000
Jplan_norm	0,307579	0,281568	1,000000	1,000000			2060	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000

б)

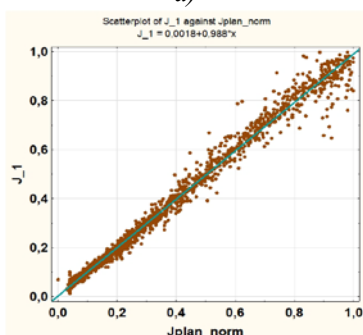
Рисунок 12 – Статистичні показники для оцінювання адекватності та інформативності метамоделі для підобласті $11 < r \leq 15$ мм

Для цього піддіапазону отримано експериментальне значення критерію Фішера $F_{v_D; v_R}^{експ} = F_{3; 2057}^{експ} = 207$. Як і для попередніх випадків, табличне значення критерію Фішера становить $F_{0,05; 3; 2057}^{крит} = 2,6$. Отримана метамодель також адекватна за умовою (1).

Експериментальне значення F -критерію Фішера для перевірки гіпотези про значущість R^2 становить $F_{3; 2057}^{експ} = 198,6$. У результаті отримана метамодель для підобласті $11 < r \leq 15$ мм інформативна, оскільки $R^2=0,995$ (рисунок 12, б), та значимо достовірна за F -критерієм Фішера при $\alpha=5\%$.



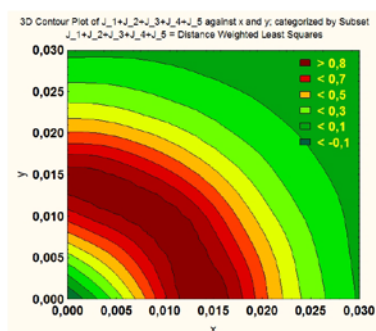
а)



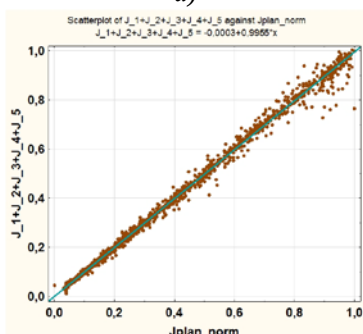
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=15$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 13 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі RBF-3-297-1(2)



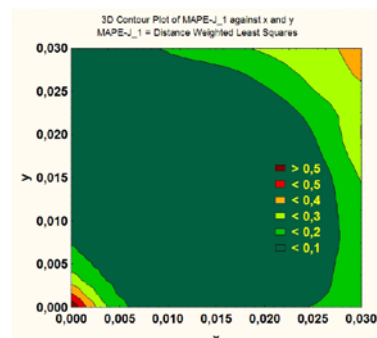
а)



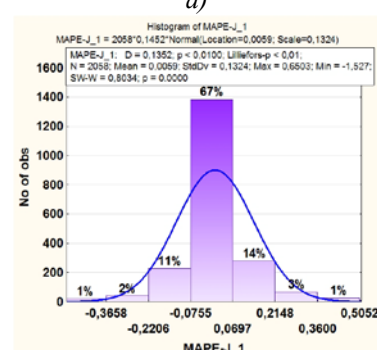
б)

а) лінії рівня відновленої поверхні відгуку для радіуса $r=15$ мм; б) діаграми розсіювання значень «точної» та відновленої функції

Рисунок 14 – Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$



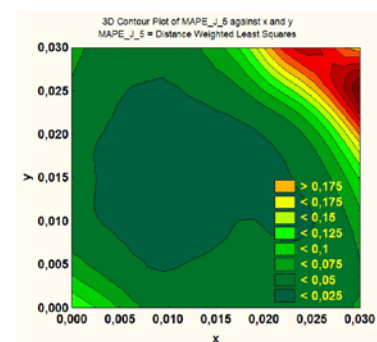
а)



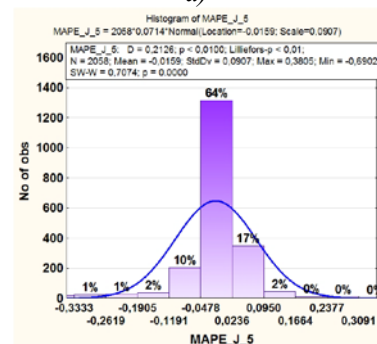
б)

а) лінії рівня для підобласті $11 < r \leq 15$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 15 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі RBF-3-297-1(2)



а)



б)

а) лінії рівня для підобласті $11 < r \leq 15$ мм; б) гістограми розподілу цієї похибки

Рисунок 16 – Відносна модельна похибка апроксимації поверхні відгуку для метамоделі $J_{\Sigma \text{комітет}}$

Висновки. Створено RBF-метамоделі концентричного кругового нерухомого НВСП. За рахунок побудови нейромережі у вигляді гібриду множинних мереж, що складається із композитів та комітету, зменшено значення МАРЕ. Отримані метамоделі мають середнє значення модельної похибки 6,76 % для першої підобласті, 4,8 % – для другої та 4,78 % – для третьої. Отримані метамоделі адекватні за критерієм Фішера; інформативні за коефіцієнтом детермінації та значимо достовірні.

Таким чином створені метамоделі $\hat{J}_{ik}$ значно простіші в реалізації і менш ресурсомі. Це дає можливість використовувати їх як одну зі складових цільової функції, а саме замість J_{ik} в задачі оптимального синтезу НВСП.

Список літератури

- [1] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, and V. V. Tychkov, "Development of excitation structure RBF-metamodels of moving concentric eddy current probe", *Electrical engineering & electromechanics*, № 2, pp. 28-38, 2019.
- [2] T. Itaya, K. Ishida, Ya. Kubota, A. Tanaka, and N. Takehira, "Visualization of eddy current distributions for arbitrarily shaped coils parallel to a moving conductor slab", *Progress in Electromagnetics Research M.*, vol. 47, pp. 1-12, 2016.
- [3] T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka, N. Takehira, and T. Miki, "Eddy current distribution for a rectangular coil arranged parallel to a moving conductor slab", *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 43-51, 2012.
- [4] K. Ishida, T. Itaya, A. Tanaka, and N. Takehira, "Magnetic field analysis of an arbitrary shaped coil using shape functions", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 45, no. 1, pp. 104-112, 2009.
- [5] R. V. Trembovetska, V. Ya. Halchenko, and V. V. Tychkov, "Studying the computational resource demands of mathematical models for moving surface eddy current probes for synthesis problems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 95, no. 5/5, pp. 39-46, 2018.
- [6] М. А. Чубань, "Аппроксимация поверхности отклика для использования в процессе параметрического синтеза машиностроительных конструкций", *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Транспортное машиностроение*. Харьков: НТУ "ХПИ", № 43 (1152), с. 161-164, 2015.
- [7] С. Г. Радченко, "Анализ методов моделирования сложных систем", *Математичні машини і системи*, № 4, с. 123-127, 2015.
- [8] Е. Бурнаев, М. Панов, Д. Кононенко, и И. Коноваленко "Сравнительный анализ процедур оптимизации на основе гауссовских процессов". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://itas2012.iitp.ru/pdf/1569602385.pdf>. Дата обращения: Нояб. 4, 2015.
- [9] Е. В. Бурнаев, П. Д. Ерофеев, и П. В. Приходько, "Выделение главных направлений в задаче аппроксимации на основе гауссовских процессов", *Труды МФТИ*, т. 5, №. 3, с. 24-35, 2013.
- [10] N. V. Queipo, R. T. Haftka, W. Shyy, T. Goel, R. Vaidyanathan, and P. K. Tucker, "Surrogate-based analysis and optimization", *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 41, no. 1, pp. 1-28, 2005.
- [11] J. H. Friedman, "Multivariate adaptive regression splines", *The Annals of Statistics*, vol. 19, no. 1, pp. 1-67, 1991.
- [12] В. Р. Целых, "Многомерные адаптивные регрессионные сплайны", *Машинное обучение и анализ данных*, т. 1, № 3, с. 272-278, 2012.
- [13] А. Г. Ивахненко, *Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем*. Киев: Наук. думка, 1982.
- [14] П. В. Афонин, и О. Ю. Ламскова, "Алгоритмы оптимизации имитационных моделей сложных систем на основе нейронных сетей", *Известия ЮФУ: Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР»*, № 12 (101), с. 226-232, 2009.
- [15] В. Я. Гальченко, Р. В. Трембовецька, та В. В. Тичков, "Застосування нейрокомп'ютинга на етапі побудови метамоделей в процесі оптимального сурогатного синтезу антен", *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*, № 74, с. 60-72, 2018.
- [16] Р. В. Трембовецька, В. Я. Гальченко, та В. В. Тичков, "Методи покращення точності нейромережевих метамоделей накладних вихрострумових перетворювачів для сурогатного синтезу", в *2-nd Sci.*

Conf. with Internat. Participation Non-Destructive Testing in Context of the Associated Membership of Ukraine in the European Union (NDT-UA 2018) (Poland, Lublin, 15-19 Oct. 2018), Poland: USNDT, 2018, No. 2, pp. 47-49.

References

- [1] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, and V. V. Tychkov, "Development of excitation structure RBF-metamodels of moving concentric eddy current probe", *Electrical engineering & electromechanics*, no. 2, pp. 28-38, 2019.
- [2] T. Itaya, K. Ishida, Ya. Kubota, A. Tanaka, and N. Takehira, "Visualization of eddy current distributions for arbitrarily shaped coils parallel to a moving conductor slab", *Progress in Electromagnetics Research M.*, vol. 47, pp. 1-12, 2016.
- [3] T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka, N. Takehira, and T. Miki, "Eddy current distribution for a rectangular coil arranged parallel to a moving conductor slab", *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 43-51, 2012.
- [4] K. Ishida, T. Itaya, A. Tanaka, and N. Takehira, "Magnetic field analysis of an arbitrary shaped coil using shape functions", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 45, no. 1, pp. 104-112, 2009.
- [5] R. V. Trembovetska, V. Ya. Halchenko, and V. V. Tychkov, "Studying the computational resource demands of mathematical models for moving surface eddy current probes for synthesis problems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 95, no. 5/5, pp. 39-46, 2018.
- [6] M. A. Chuban, "Approximation of the response surface for the use in the process of parametric synthesis of engineering structures", *Vestnik Nats. tehn. un-ta "HPI"*. Themat. issue: Transport machine-building; coll. of sci. papers. Kharkov: NTU "HPI", no. 43 (1152), pp. 161-164, 2015 [in Russian].
- [7] S. G. Radchenko, "Analysis of methods for modeling complex systems", *Matematychni mashyny i systemy*, no. 4, pp. 123-127, 2015 [in Russian].
- [8] E. Burnaev, M. Panov, D. Kononenko, and I. Konovalenko, "Comparative analysis of optimization procedures based on Gaussian processes". [Online]. Available: <http://itas2012.iitp.ru/pdf/1569602385.pdf>. Accessed on: Nov. 4, 2015.
- [9] E. V. Burnaev, P. D. Erofeev, and P. V. Prikhodko, "Highlighting of the main directions in the approximation problem based on Gaussian processes", *Trudy MFTI*, vol. 5, no. 3, pp. 24-35, 2013 [in Russian].
- [10] N. V. Queipo, R. T. Haftka, W. Shyy, T. Goel, R. Vaidyanathan, and P. K. Tucker, "Surrogate-based analysis and optimization", *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 41, no. 1, pp. 1-28, 2005.
- [11] J. H. Friedman, "Multivariate adaptive regression splines", *The Annals of Statistics*, vol. 19, no. 1, pp. 1-67, 1991.
- [12] V. R. Tselykh, "Multidimensional adaptive regression splines", *Mashinnoe obuchenie i analiz dannykh*, vol. 1, no. 3, pp. 272-278, 2012 [in Russian].
- [13] A. G. Ivakhnenko, *Inductive method of self-organization of models of complex systems*. Kiev: Nauk. dumka, 1982 [in Russian].
- [14] P. V. Afonin, and O. Yu. Lamskova, "Algorithms for optimization of simulation models of complex systems based on neural networks", *Izvestiya YUFU: Tehnicheskie nauki*, Themat. issue: Intellectual CAD, no. 12 (101), pp. 226-232, 2009 [in Russian].
- [15] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, and V. V. Tychkov, "The use of neurocomputing at the stage of metamodels development in the process of optimal surrogate antennas synthesis", *Visnyk NTUU «KPI». Seriya Radiotekhnika. Radioaparaturbuduvannia*, no. 74, pp. 60-72, 2018 [in Ukrainian].
- [16] R. V. Trembovetska, V. Ya. Galchenko, and V. V. Tychkov, "Methods of improving the accuracy of neural network metamodels of overhead eddy current converters for surrogate synthesis", in *2-nd Sci. Conf. with Internat. Participation Non-Destructive Testing in Context of the Associated Membership of Ukraine in the European Union (NDT-UA 2018)* (Poland, Lublin, 15-19 Oct. 2018), Poland: USNDT, 2018, no. 2, pp. 47-49 [in Ukrainian].

R. V. Trembovetska, Ph. D. (Eng), associate professor,
V. Ya. Halchenko, Dr. Sc. (Eng), professor,
V. V. Tychkov, Ph. D. (Eng), associate professor,
A. V. Storchak, postgraduate student
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ESTIMATION OF ACCURACY OF NEURO-NETWORK METAMODELS OF SURFACE EDDY CURRENT PROBES

For the problem of synthesis of an eddy current probe with a homogeneous sensitivity zone, its RBF-metamodels which have high computational efficiency are created. These metamodels can be used to design a probe with a given distribution of the density of eddy currents at testing points of the space located on the surface of the conductive object in the testing area of the probe. The excitation coil of a concentric surface eddy current probe is represented by an actuator which is powered by an alternating current and located above the testing object with constant electrophysical parameters. The obtained metamodels are checked for adequacy and informativeness on a complex of statistical indicators with an objective estimation of their statistical significance. At the approximation of the response surface, the computer experiment plan was used, namely, the multidimensional search space was filled with points generated by means of LP_τ -sequences that were evenly located on the response surface. The reproducibility of the review surface is checked using the resulting metamodel throughout the modeling area. A reasonable approximation error has been achieved. The results of numerical experiments show the effectiveness of the use of RBF-metamodel for the response surface approximation. The resulting metamodels have an average model error of 6.76 % for the first subregion, 4.8 % for the second and 4.78 % for the third one. Created metamodel is adequate according to Fisher criterion; informative on the coefficient of determination and significantly reliable. At the same time, it allows to reduce the workload of calculations in the tasks of computer designing of eddy current probes. This opens up new possibilities for the synthesis of surface eddy current probes – both parametric and structural-parametric ones.

Keywords: metamodel, response surface approximation, neural network, computer experiment plan, metamodel adequacy, metamodel informativity, eddy current probe, excitation coil, eddy current density.

С. А. Филимонов, к.т.н., доцент,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

А. В. Батраченко, к.т.н., доцент,
e-mail: avbetrachenko1980@gmail.com

С. С. Ященко,

Н. В. Филимонова, к.т.н., старший преподаватель,
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

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

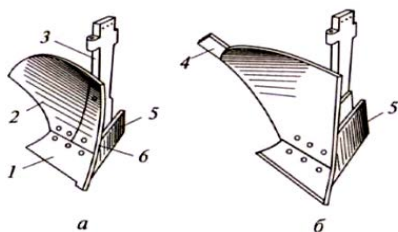
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SMART PIEZOCERAMICS ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье на основе анализа литературных источников и научных публикаций предложена оригинальная конструкция вибрирующих рабочих органов плуга для выполнения основной задачи обработки почвы. Авторами статьи путем использования SMART PIEZOCERAMICS и вибрационных принципов выполнено совершенствование рабочих органов культивации посредством уменьшения общей величины тягового сопротивления (трения) почвы по лемехо-полевой поверхности и уменьшения залипания рабочих органов.

Ключевые слова: SMART PIEZOCERAMICS, исследования, сельское хозяйство, вибрационные технологии.

Сельское хозяйство – отрасль экономики, направленная на обеспечение населения продовольствием и получение сырья для ряда отраслей промышленности. Сельскохозяйственная отрасль является одной из важнейших и представлена практически во всех странах. От состояния этой отрасли зависит продовольственная безопасность государств [1].

Основным орудием культивации почвы в сельском хозяйстве является плуг. Плуг – это приспособление для вспашки плотной почвы, поднятия целины. На рисунке 1 представлены некоторые виды плугов [1].



а) культурный; б) полувинтовой;
1 – лемеха; 2 – отвалы; 3 – стойка; 4 – перо отвала;
5 – полевая доска; 6 – грудь отвала

Рисунок 1 – Некоторые виды плугов

Плуг имеет две основные составляющие – лемех и отвал.

Плужный отвал – одна из рабочих частей плуга. Основной его задачей является срез от стенки пласта почвы, ее крошение и переворачивание, то есть, во многом от качества отвала зависит то, насколько хорошо будет подготовлена почва.

Лемех – это часть плуга, подрезающая пласт земли, и именно по нему срезанный слой почвы поднимается и попадает на отвал.

Основными достоинствами плуга (см. рисунок 1) являются его простота в изготовлении и относительно невысокая цена.

Основной недостаток такого плуга – высокая сопротивляемость (трение), возникающая при вспашке почвы, при этом значительно повышаются энергозатраты.

На сегодняшний день мы можем наблюдать различные усовершенствования техники для обработки земли и сбора урожая, при этом основной орган культивации не претерпел серьезных изменений, если не считать внедрения более прочных и надежных материалов. Однако обработка почвы до настоящего времени является одной из самых энергоемких операций в современном сельскохозяйственном производстве.

Применение новейшей высокоэффективной техники и оборудования при умень-

шении металлоемкости и энергозатрат – одна из главных задач развития современного машиностроения. Но на этом пути существуют ограничения производительности традиционных машин, коэффициент полезного действия которых колеблется в пределах 0,19-0,38.

Одним из направлений улучшения обработки почвы и снижения трения между почвой и плугом является применение вибрационных технологий, которые могут дать значительный эффект. Вибрационная техника и технология радикальным образом отличаются от традиционных прототипов. Применение вибрационных методов в различных сферах человеческой деятельности и, в частности, в сельском хозяйстве открывает большие перспективы ускорения технического прогресса на качественно новой основе [2-4].

Одно из решений использования вибраций в сельском хозяйстве представлено на рисунке 2 [2].

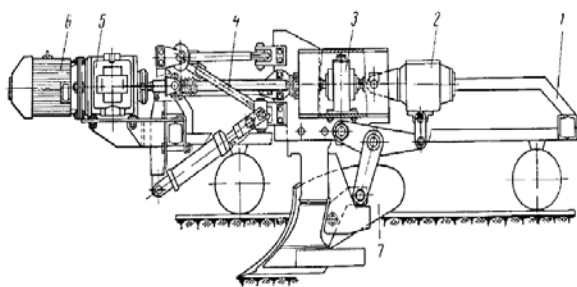


Рисунок 2 – Плуг с гидроприводом

Данное устройство состоит из следующих узлов: рамы 1 со стойкой плуга, которая может быть установлена на самоходной тележке или надета на трактор; шарнирно подвешенного к стойке вибрационного лемеха 7 с полкой; рычажного передаточного механизма 4, дебалансов вибратора 2 с направленными колебаниями; редуктора 3 для синхронизации вращения дебалансов вибратора; электродвигателя 6 и бесступенчатого фрикционного вариатора 5, который позволяет менять число оборотов в пределах 1500-6000 в минуту; системы управления вариатором электрической или гидравлической (рисунок 2) [2].

Основными недостатками данной конструкции являются сложность изготовления, большие габаритные размеры и, как следствие, большой вес, которые могут превысить положительные характеристики гидравлическо-вибрационных технологий.

Целью данной работы является усовершенствование рабочих органов культивации при помощи уменьшения общей величины тягового сопротивления (трения) грунта по поверхности лемеха и уменьшения залипания рабочих органов путем использования SMART PIEZOCERAMICS и вибрационных принципов.

Для решения данной проблемы предложено использовать smart-технологии. Smart-технологии способны менять свои свойства или свойства прилегающих к ним материалов в зависимости от внешних или внутренних факторов, при этом обеспечивая компактные и надежные конструкции.

Конструктивно структурная схема smart-системы (материала или конструкции) представлена на рисунке 3.

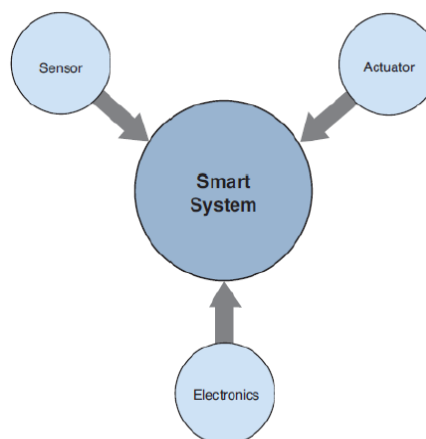


Рисунок 3 – Схема концепции smart-конструкции

Основными особенностями smart-конструкций являются: встроенные или закрепленные на поверхности датчики; встроенные или установленные на поверхности исполнительные механизмы (актуаторы); схемы элементов управления для реализации системы контроля (позволяющие обрабатывать данные от датчиков для принятия соответствующего решения) [5, 6].

Одной из разновидностей smart-технологий является SMART PIEZOCERAMICS.

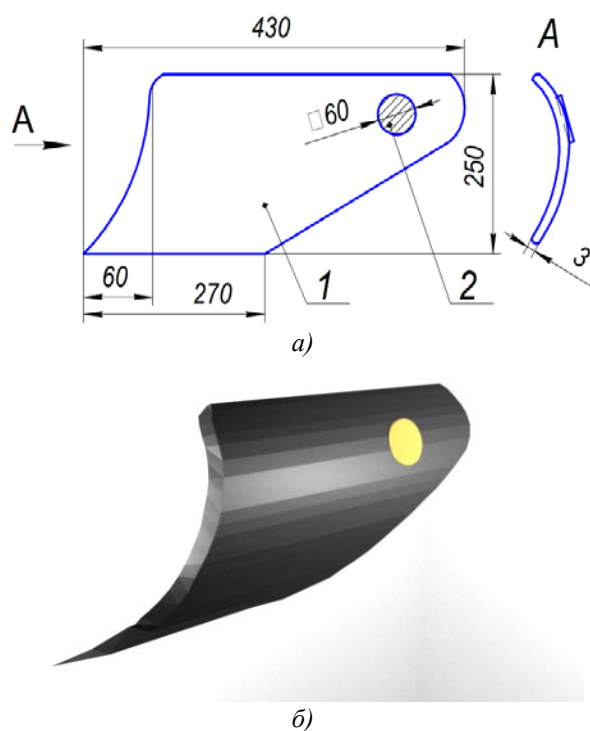
Суть данной технологии при использовании в культивации почвы заключается в следующем. Пьезокерамический элемент плотно располагается на поверхности плужного отвала. За счет наличия у пьезоэлемента

прямого и обратного пьезоэффекта он может использоваться как актуатор (вибратор) или датчик [7].

При подаче переменного электрического напряжения, за счет обратного пьезоэффекта, в пьезоэлементе возникают колебания, которые передаются плужному отвалу. Таким образом, в плуге возникает вибрация, которая способствует уменьшению силы трения плуга с почвой.

При отключении переменного электрического напряжения, за счет прямого пьезоэффекта, пьезоэлемент выступает в качестве датчика. Значения, полученные с него, используются для коррекции амплитуды колебаний вибрации.

На рисунке 4 представлена конструкция плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS.



а) сборочный чертеж; б) вид 3D; 1 – отвал;
2 – элемент SMART PIEZOCERAMICS

Рисунок 4 – Плужный отвал со SMART PIEZOCERAMICS

Для определения амплитуды колебаний пьезокерамического элемента проведено численное моделирование при помощи пакета программ COMSOL Multiphysics [8].

COMSOL Multiphysics – это интегрированная платформа для моделирования, включающая в себя все его этапы: от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений до настройки решения и процесса постобработки, что позволяет получать точные и надежные результаты [7].

Анализ пьезокерамического элемента плужного отвала осуществлялся в режиме Frequency response. Расчетная сетка конечных элементов в пункте «Mesh» выбиралась ортогонализированной – Normal. Сетка построена тетрагональным разбиением, а исследуемые трехмерные модели представлены совокупностью из больше чем тысячи элементов каждая. В качестве решателя использовался Direct, в котором выбран численный метод SPOOLES для решения систем линейных уравнений с разреженными матрицами.

Граничные условия для модели плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS в форме диска диаметром 60 мм и толщиной 5 мм использовались следующие: электрическое напряжение (Electric potential) 100 В приложено к диаметральному электроду, а земля (Ground) – к электроду на противоположной стороне. Размеры плужного отвала соответствовали чертежу, представленному на рисунке 4, а.

При проведении численного моделирования в пакете программ COMSOL Multiphysics сначала определялась частота резонанса, на которой пьезокерамический элемент входил в режим резонансных колебаний. Затем определялись его максимальная амплитуда колебаний на определенных частотах и вид колебания.

На рисунке 5 представлен график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) модели плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS в пакете программ COMSOL Multiphysics.

Из рисунка 5 видно, что основные резонансные частоты соответствуют 150, 2950, 4750, 6050, 13350, 17950, 18550 Гц.

Из рисунка 6 видно, что максимальной амплитуде колебаний соответствует частота 18550 Гц.

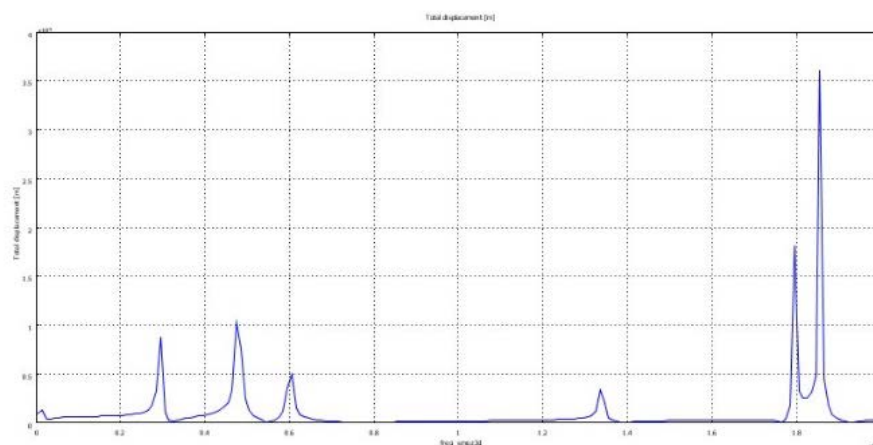
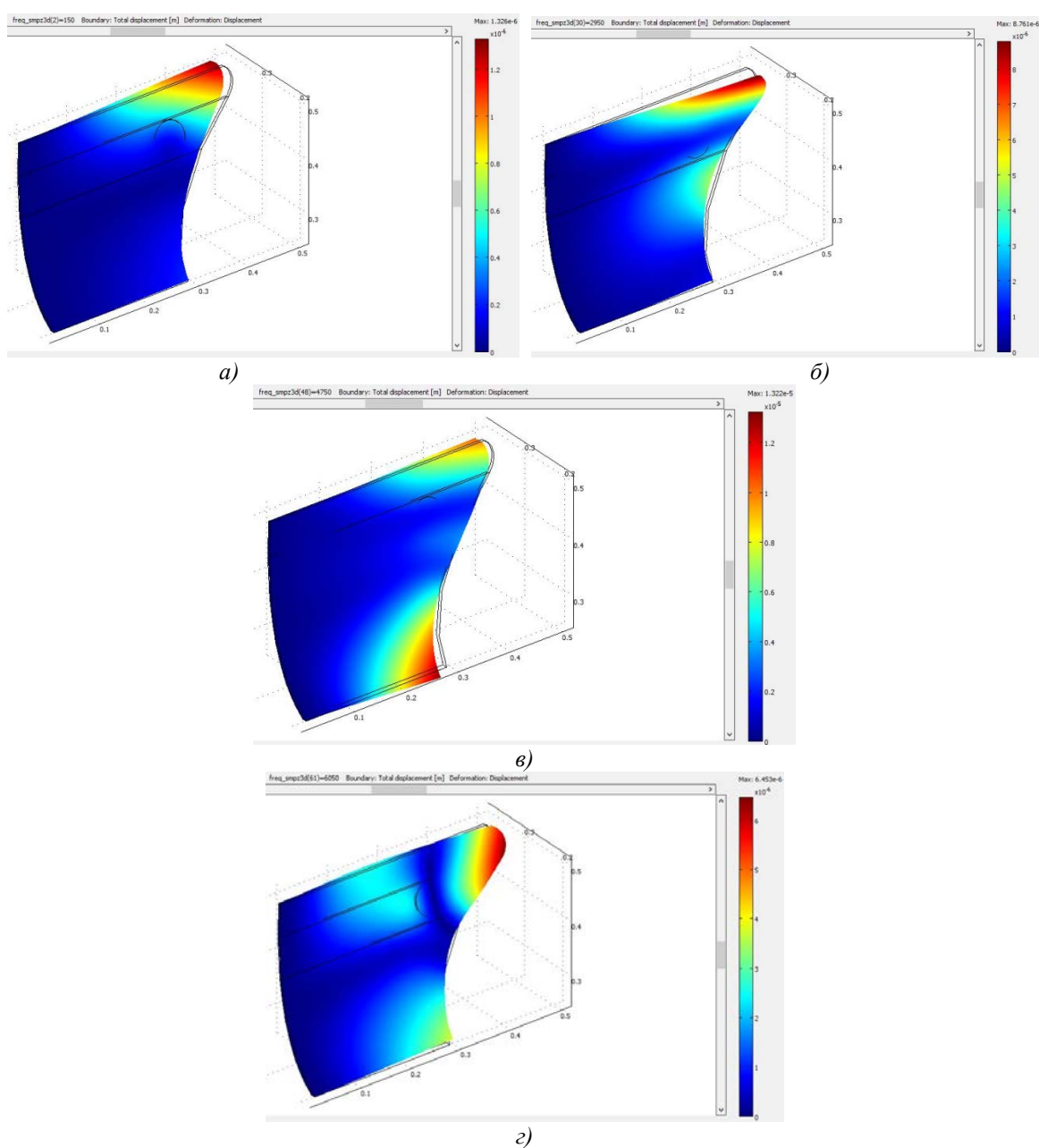
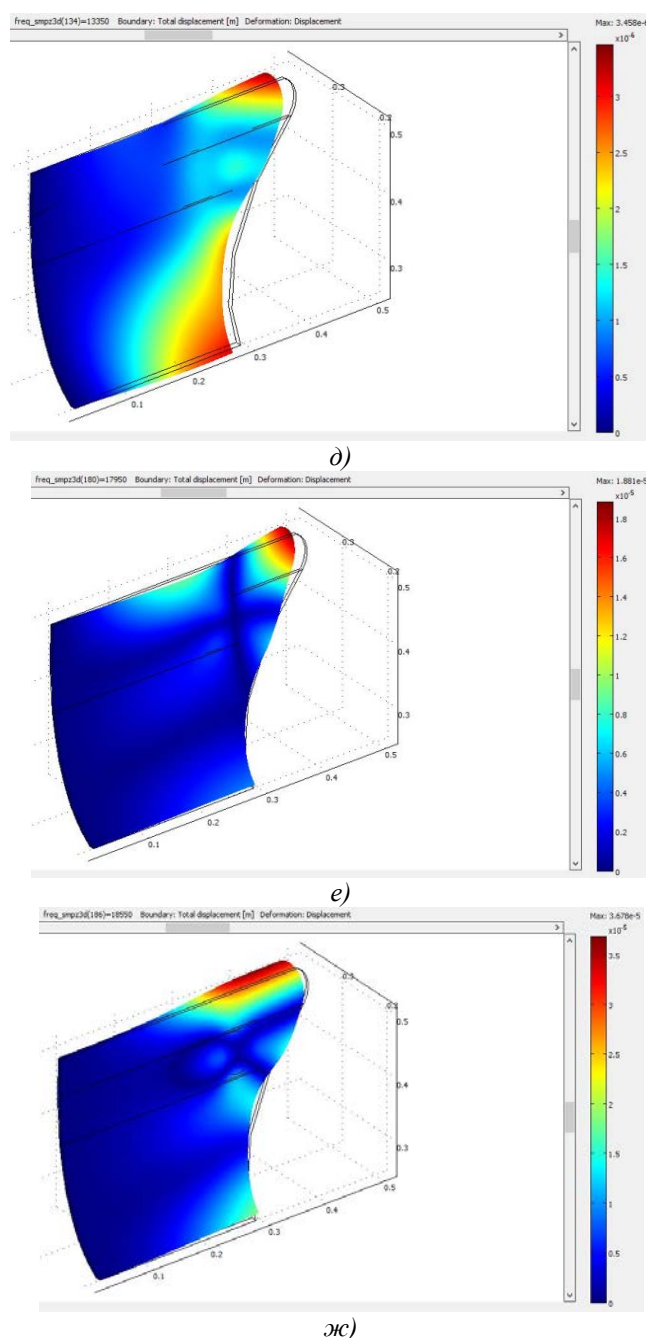


Рисунок 5 – АЧХ плужного отвала со SMART PIEZOCERAMICS





а) 150 Гц, б) 2950 Гц, в) 4750 Гц, г) 6050 Гц, д) 13350 Гц, е) 17950 Гц, ж) 18550 Гц

Рисунок 6 – Результаты моделирования видов колебания плужного отвала в пакете программ COMSOL Multiphysics на разных частотах

Выводы. Предложено новое оригинальное решение использования SMART PIEZOCERAMICS для получения вибраций в плужном отвале плуга при культивации почвы. Проведено компьютерное моделирование при помощи пакета программ COMSOL Multiphysics. Определена частота, при которой происходят максимальные колебания (вибрации) плужного отвала, что соответствует 18550 Гц.

Список литературы

- [1] Р. Ш. Абакарова, "Регулирование сельского хозяйства. Положительные стороны зарубежного опыта", *Вестник Иркутского государственного технического университета*, № 1 (96), с. 129-133, 2015.
- [2] В. М. Булгаков, М. О. Свірень, Р. В. Кісільов, С. Б. Орищенко, та І. О. Лісовий, "Дослідження вібраційних процесів при

- основному обробітку ґрунту", *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, вип. 5, т. 1, с. 3-13, Мелітополь, 2015.
- [3] І. В. Головач, І. П. Паламарчук, та М. О. Свірень, "Мінімально допустима частота коливань вібраційного викопуючого робочого органу", *Вібрації в техніці та технологіях*: Всеукр. наук.-техн. журн., № 4 (68), с. 35-41, Вінниця, 2012.
- [4] В. М. Булгаков, М. О. Свірень, І. П. Паламарчук, В. В. Дрига, О. М. Черниш, та В. В. Яременко, *Вібраційні машини сільськогосподарського виробництва*: монографія. Кіровоград: КОД, 2012.
- [5] G. Akhras, "Smart materials and smart systems for the future", *Canadian Military Journal*, no. 3, pp. 25-32, 2000.
- [6] Н. В. Юрлова, *Умные материалы и конструкции: фантастика или реальность? Этюды о механике*. Екатеринбург: РИО-УрО РАН, 2017, с. 55-70.
- [7] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [8] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [9] В. Я. Гальченко, С. А. Филимонов, О. В. Батраченко, и Н. В. Филимонова, "Повышение эффективности работы линейного пьезоэлектрического мотора сканирующего зондового микроскопа", *Журнал нано- та електронної фізики*, т. 10, № 4, 04025 (5cc), 2018, DOI: 10.21272/jnep.10(4).04025.
- [10] В. Я. Гальченко, Ю. Ю. Бондаренко, С. А. Филимонов, и Н. В. Филимонова, "Определение влияния геометрических параметров пьезокерамической пластины на амплитудные характеристики линейного пьезодвигателя", *Електротехніка і електромеханіка*, № 1, с. 17-22, 2019, DOI: 10.20998/2074-272X.2019.1.03.
- [1] R. Sh. Abakarova, "Regulation of agriculture. Positive sides of foreign experience", *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 1 (96), pp. 129-133, 2015 [in Russian].
- [2] V. M. Bulhakov, M. O. Sviren, R. V. Kisilov, S. B. Oryshchenko, and I. O. Lisovyi, "Research of vibration processes at the main soil cultivation", *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolo-hichnoho universytetu*, iss. 5, vol. 1, pp. 3-13, Melitopol, 2015 [in Ukrainian].
- [3] I. V. Holovach, I. P. Palamarchuk, and M. O. Sviren, "Minimally permissible oscillation frequency of vibration digging tool", *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*: All-Ukr. sci.-tech. journal, no. 4 (68), pp. 35-41, Vinnytsia, 2012 [in Ukrainian].
- [4] V. M. Bulhakov, M. O. Sviren, I. P. Palamarchuk, V. V. Dryha, O. M. Chernysh, and V. V. Yaremenko, *Vibration machines of agricultural production*: monograph. Kirovohrad: KOD, 2012. [in Ukrainian].
- [5] G. Akhras, "Smart materials and smart systems for the future", *Canadian Military Journal*, no. 3, pp. 25-32, 2000.
- [6] N. V. Yurlova, *Clever materials and constructions: fantasy or reality? Studies on mechanics*. Ekaterinburg: RIO UrO RAN, 2017, pp. 55-70 [in Russian].
- [7] V. Sharapov, *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag, 2011.
- [8] L. Spicci, and M. Cati, "Thermal analysis of a piezo-disk ultrasound probe", in *Comsol Conference* [in Paris], 2012.
- [9] V. Ya. Galchenko, S. A. Filimonov, O. V. Batrachenko, and N. V. Filimonova, "Increase in the efficiency of the work of linear piezoelectric motor of scanning probe microscope", *Zhurnal nano- ta elektronnoyi fizyky*, vol. 10, no. 4, 04025(5cc), 2018, DOI: 10.21272/jnep.10(4).04025 [in Russian].
- [10] V. Ya. Galchenko, Yu. Yu. Bondarenko, S. A. Filimonov, and N. V. Filimonova, "Determination of the impact of geometric parameters of piezoceramic plate on amplitude characteristics of linear piezoengine", *Elektrotehnika i elektromehhanika*, no. 1, pp. 17-22, 2019, DOI: 10.20998/2074-272X.2019.1.03 [in Russian].

References

S. A. Filimonov, Ph. D., associate professor,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua
A. V. Batrachenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: avbatrachenko1980@gmail.com
S. S. Yashenko,
N. V. Filimonova, Ph. D., senior lecturer,
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE USE OF SMART PIEZOCERAMICS FOR CULTIVATING THE SOIL IN AGRICULTURE

The agriculture is a sector of the economy aimed at providing the population with food and obtaining raw materials for a number of industries. The agricultural industry is one of the most important sectors and is represented in almost all countries. The food security of states depends on the state of this industry.

The plow is the main tool for cultivating the soil in agriculture.

At present, we can observe various improvements in the technology for tillage and harvesting, while the main organ of cultivation has not undergone major changes, except for the introduction of more durable and reliable materials. However, tillage is still one of the most energy intensive operations in modern agricultural production.

The use of the latest high-performance machinery and equipment while reducing metal consumption and energy consumption is one of the main objectives of the development of modern engineering. However, in this way there are limitations to the performance of traditional machines, the efficiency of which varies in the range of 0.19-0.38.

One of the ways to improve tillage and reduce friction between the soil and the plow consists in the use of vibration technologies, which can have a significant effect. Vibration technique and technology are radically different from traditional prototypes. The use of vibration methods in various spheres of human activities and, in particular, in agriculture offers great prospects for accelerating technological progress on a qualitatively new basis.

The aim of the work is to improve the cultivation working bodies by reducing the total amount of traction resistance (friction) of the soil on the surface of the ploughshare and reducing the sticking of the working bodies by using SMART PIEZOCERAMICS and vibration principles.

The main features of smart designs are: embedded or surface mounted sensors; built-in or surface-mounted actuators; control element diagrams for the implementation of the monitoring system (which allow to process the data from the sensors to make an appropriate decision).

The essence of this technology when used in the cultivation of the soil is as follows. The piezoceramic element is tightly located on the surface of the plow blade. Due to the presence of the piezoelectric element of direct and reverse piezoelectric effect, it can be used as an actuator (vibrator) or sensor.

To determine the amplitude of oscillations of a piezoceramic element, numerical simulation has been performed using the COMSOL Multiphysics software package.

By mathematical modeling, it has been established that the main resonant frequencies of the developed plow design correspond to 150, 2950, 4750, 6050, 13350, 17950, 18550 Hz. The maximum oscillation amplitude of the plow blade corresponds to a frequency of 18,550 Hz.

Keywords: SMART PIEZOCERAMICS, research, agriculture, vibration technologies.

В. П. Марценюк, д.т.н., професор,

Університет в Бельсько-Бялій
вул. Willowa, 2, Бельсько-Бяла, 43-309, Польща

А. С. Сверстюк, к.т.н., доцент,

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського
майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001, Україна

Н. В. Козодій, магістр,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
вул. Руська, 56, Тернопіль, 46001, Україна

Є. О. Давиденко, к.т.н.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54003, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВИХ ПЛОЩИН МОДЕЛІ ІМУНОСЕНСОРА НА ПРЯМОКУТНІЙ РЕШІТЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ІЗ ЗАПІЗНЕННЯМ В ПАКЕТІ R

У роботі проведено комп'ютерне моделювання імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням за допомогою пакета R. Проведено дослідження фазових площин моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням, наведено параметри моделі, їх числові значення, а також представлено параметри в пакеті R. Проаналізовано останні дослідження в галузі імуносенсорів, їх видів і популярність наукових напрямів дослідження протягом останніх п'яти років. Незважаючи на величезну різноманітність сучасних фізико-хімічних методів детектування аналітичного сигналу в імуноаналізі, лідирують електрохімічні методи, які мають низку незаперечних переваг: висока чутливість і точність, селективність і експресність, невисока собівартість і універсальність. Описано пакет R як середовище програмування для статистичного аналізу даних зі заданими значеннями параметрів моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням. Наведено посилання на корисні сайти, списки посилань і документацію з встановлення та початку роботи з пакетом R. Результати чисельного моделювання імуносенсора на прямокутній решітці у вигляді фазових площин дають змогу провести дослідження стійкості моделі імуносенсора.

Ключові слова: біосенсор, імуносенсор, математична модель, диференціальні рівняння, пакет R.

Вступ. Останніми роками чимала кількість наукових досліджень пов'язана з розробкою експрес-методів аналізу, що характеризуються високою доступністю і мають достатній рівень чутливості та селективності. Особливий інтерес викликає можливість мініатюризації подібних аналітичних пристроїв. Найбільш характерними представниками аналітичних систем, які поєднують в собі перелічені якості, є біосенсори [1].

Біосенсор – це компактний аналітичний пристрій, що містить біологічно чутливий елемент, інтегрований у фізико-хімічний перетворювач, метою якого є отримання оптичних або електронних сигналів, що відповідають концентрації аналізованої проби [2].

Вплив на суспільство внаслідок наявності таких систем є величезним, тому вивчення будь-якої стратегії, яка могла б скоротити час розробки й витрат та розкрити альтернативні конструкції, є надзвичайно важливим. Зокрема, математичне моделювання є потужним інструментом для наукового аналізу і прогнозування.

Серед великого сімейства біосенсорів імуносенсори є типовими сенсорами, що містять шар рецептора, який є чутливим і селективним, включаючи іммобілізований біологічний елемент, наприклад антитіло, антиген або хаптен, які є імунологічними рецепторами для молекул, що досліджуються [3]. В імуносенсорі (імуносенсорі) відбувається реакція, яка ґрун-

тується на взаємодії між антитілом і антигеном або маленькими молекулами (хаптенами). Антитіла часто називаються імуноглобулінами, тому що вони є протеїнами, які пов'язані з імунною системою.

Імуноглобуліни використовуються імунною системою для ідентифікації та нейтралізації чужорідних об'єктів. Вони використовують властивості зв'язування антигенів. Антигени і антитіла можуть використовуватися в шарі рецептора в біосенсорах [4]. Зменшення властивостей, які пов'язані з антитілами під час процесу іммобілізації антигену, використовуються в конструкції шару рецептора, де

антитіла відіграють функцію аналітів (молекул предметного детектування).

Мета дослідження. Провести комп'ютерне моделювання імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням в пакеті *R*.

Аналіз останніх досліджень. Імуносенсор – аналітичні пристрої для якісного і кількісного аналізу біологічних компонентів проб, що базуються на виявленні специфічних антигенів та антитіл за допомогою імунокомплексів. Функціональну схему імуносенсора зображено на рисунку 1.

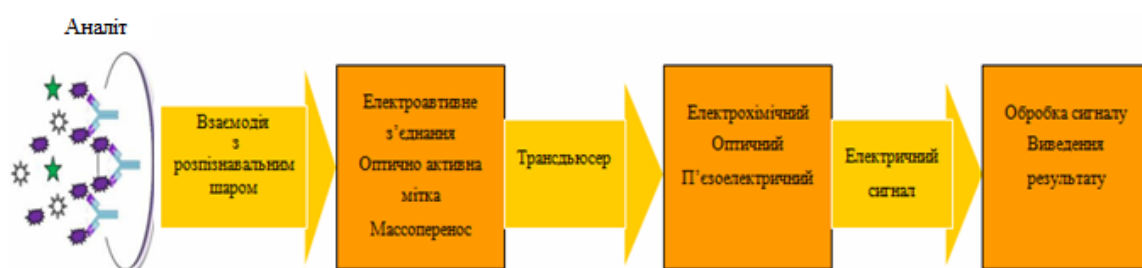


Рисунок 1 – Функціональна схема імуносенсора

Імуносенсори, що розробляються і розроблені до теперішнього часу, як правило, використовують гетерогенний формат імуноаналізу. Ґрунтуючись на характері механізму детектування, імуносенсори можуть бути розділені на електрохімічні, оптичні, п'єзоелектричні та ін. Для кожного типу характерні певні переваги і недоліки, що призводить до великої кількості досліджень по розробці імуносенсорів [5].

Незважаючи на величезну різноманітність сучасних фізико-хімічних методів детектування аналітичного сигналу в імуноаналізі, лідирують електрохімічні методи, які мають низку незаперечних переваг: висока чутливість і точність (завдяки унікальному поєднанню специфічної взаємодії антиген-антитіло і чутливої електрохімічної детекції), селективність і експресність, невисока собівартість і універсальність.

Серед електрохімічних імуносенсорів найбільш популярними є:

- а) імуносенсор з ферментною міткою;
- б) імуносенсор з наночастинками, в тому числі квантовими точками;
- в) ємнісний та імпедансометричний імуносенсор;

г) магнітоімуносенсори.

Ферментний та імпедансометричний імуносенсор являють собою найбільш вивчені типи сенсорів (рисунк 2). Кількість публікацій, присвячених імуносенсорам на основі квантових точок і магнітних наночастинок, помітно збільшується і в сукупності становить 9 % від загальної кількості опублікованих робіт протягом другої половини останнього десятиліття. Найбільша кількість опублікованих досліджень стосується імуносенсорів на основі різних типів наночастинок.

Слід зазначити, що основним компонентом усіх імуносенсорів є рецепторний шар, що являє собою антигени, моно-поліклональні антитіла або їх фрагменти, певним чином нанесені на робочу поверхню трансдюсера. Одна з проблем, пов'язана з ефективністю сендвіч-аналізу на основі антитіл, полягає в можливості взаємодії не тільки з визначеними антитілами, а й іншими імуноглобулінами, що утворюються при різних системних захворюваннях. Ці білки знаходяться в 40 % сироватки здорових пацієнтів і можуть призводити до хибних позитивних результатів аналізу. У пошуках альтернативних антитіл застосовують фрагменти антитіл, аптамери і білкові каркаси

неімуноглобулінів [6-8]. Альтернативні молекули повинні задовольняти ряду вимог, а саме: їх необхідно швидко і недорого виготовляти, вони повинні бути стабільні в різних умовах, мати тривалий термін зберігання. При цьому «замінники» антитіл мають володіти необхідною чутливістю і специфічністю [9]. Фрагменти антитіл, що мають високу специфічність для їх цільового аналіту, здатність

підтримувати розпізнавання антигену, невеликі розміри порівняно з повним антитілом, більш застосовні для іммобілізації, ніж наявні природно сформовані антитіла, і стають важливими інструментами в дослідженні і створенні імуносенсора [10]. Для іммобілізації біорецепторів в імуносенсорах застосовують методи, які використовуються при розробці біосенсорів.

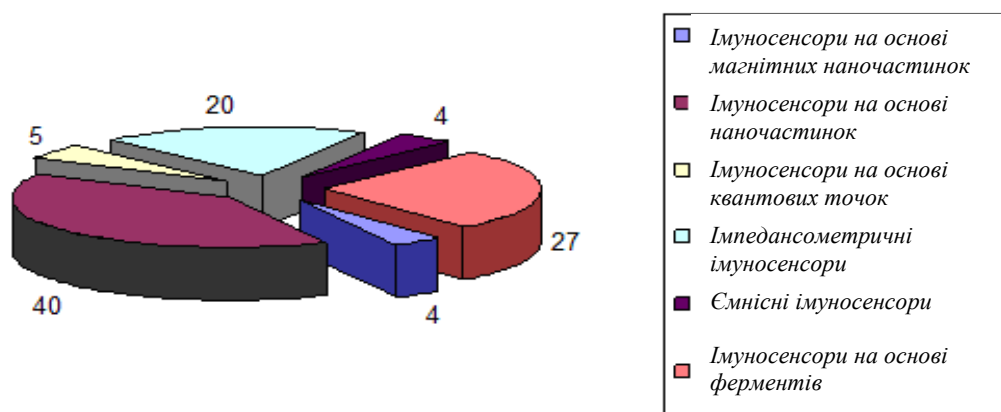


Рисунок 2 – Відсоток опублікованих статей, що відносяться до кожного типу імуносенсорів протягом 2013–2018 рр. за даними бази Scopus

У роботі [11] проведено порівняльний аналіз електрохімічних імуносенсорів з іммобілізованими антитілами чотирма різними способами (фізичної сорбції, ковалентного зв'язування з застосуванням глутарового альдегіду, ковалентного зв'язування з застосуванням IgG людини і протеїну A). Проведені випробування показали, що найкращими аналітичними характеристиками володіє останній тип сенсорів.

В ідеалі імуносенсор повинен бути багаторазовим пристроєм, оскільки оборотність взаємодії антиген-антитіло може дати змогу регенерувати іммобілізований компонент. Однак висока константа афінності і проблема часто необхідних досить «суворих» умов іммобілізації антитіла або антигену роблять регенерацію поверхні важкою для реалізації, тим самим обмежуючи практичне застосування імуносенсорів [12].

Пакет R як середовище програмування для статистичного аналізу даних. Пакет R – це середовище програмування для статистичного аналізу даних, яке складається з базової програми R, що працює як інтерпретатор мови статистичного програмування S, та окремих пакетів, які реалізують спеціальні

методи і технології статистичної обробки даних. Програма R є некомерційною і вільно розповсюджується за умови дотримання вимог GNU General Public License [13].

R застосовується скрізь, де потрібна робота з даними. Це не тільки статистика у вузькому сенсі слова, а й «первинний» аналіз (графіки, таблиці спряженості), а також сучасне математичне моделювання. Ця програма також використовується як альтернатива комерційним програмним середовищам аналізу даних рівня MatLab/Octave. З другого боку, цілком природно, що основна обчислювальна потужність R найкраще проявляється при статистичному аналізі: від обчислення середніх величин до вейвлет-перетворень часових рядів.

Додаткової популярності R надало створення системи зберігання і розповсюдження пакетів – CRAN (Comprehensive R Archive Network – <http://cran.r-project.org>) [14]. Статистичні алгоритми зазвичай виконуються у вигляді скриптів і зібрані у пакети (packages) R. Під час інсталяції разом з базовою програмою інсталюються й основні пакети, в яких реалізовано найбільш популярні методи статистичного аналізу. Частина цих пакетів автоматично завантажується під час

запуску *R*. Інші пакети можна завантажити, використовуючи функцію `library`.

При роботі з *R* можна виконувати одразу багато інструкцій, що записані в окремому файлі. Найпростіший спосіб зробити це – завантажити такий файл в якому-небудь текстовому редакторі, скопіювати, а потім вставити на консолі. При цьому, якщо інструкції у файлі розміщені в окремих рядках, розділових знаків між ними не потрібно.

Результати чисельного моделювання імуносенсора на прямокутній решітці у вигляді фазових площин. З метою отримання результатів чисельного моделювання

імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням вводяться значення параметрів моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням. У комп'ютерній програмі «Дослідження фазових площин моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням» визначальними є назви параметрів моделі, їх числові значення, а також представлення параметрів та їх числових значень в пакеті *R* згідно з таблицею 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням

№	Назва параметра моделі	Числові значення параметрів	Представлення параметрів та їх числових значень у пакеті <i>R</i>
1.	Ціле натуральне число, яке характеризує кількість імунопікселів у прямокутній решітці	$N = 4$	$N < -16\#4\#16$
2.	Константа народжуваності для популяції антигенів	$\beta = 2 \text{ min}^{-1}$	$\text{beta} < - 2$
3.	Ймовірнісна швидкість нейтралізації антигенів антитілами;	$\gamma = 2 \frac{\text{mL}}{\text{min} \cdot \mu\text{g}}$	$\text{gamma} < - 2$
4.	Става смертності антитіл	$\mu_f = 1 \text{ min}^{-1}$	$\text{mu}_f < - 1$
5.	Щільність антигенів	$\eta = 0.8 / \gamma$	$\text{etha} < - 0.8/\text{gamma} \#0.01184/\text{gamma}$
6.	Швидкість, з якою популяція антигенів прагне до деякої межі насичення	$\delta_v = 0.5 \frac{\text{mL}}{\text{min} \cdot \mu\text{g}}$	$\text{delta}_v < - 0.5 \#0.035 \#0.7$
7.	Швидкість, з якою популяція антитіл прагне до деякої межі насичення	$\delta_f = 0.5 \frac{\text{mL}}{\text{min} \cdot \mu\text{g}}$	$\text{delta}_f < - 0.5 \#0.0175 \#0.2$
8.	Постійна запізнення в часі, з якою настає імунна відповідь	$\tau = 0.05,$ $\tau = 0.22,$ $\tau = 0.23,$ $\tau = 0.2865$	$\text{tau} < - 0.05\#0.22\#0.23\#0.2865$
9.	Коефіцієнт дифузії	$D = 0.2 \frac{\text{nm}^2}{\text{min}}$	$D < - 0.2$
10.	Відстань між пікселями	$\Delta = 0.3 \text{ nm}$	$\text{Delta} < - 0.3$
11.	Става дисбалансу	$n > 0$	$n < - 0.9 \#1$

Після введення відповідних значень параметрів моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних

рівнянь із запізненням згідно з таблицею 1 представлення в пакеті *R* x64 3.5.2 отримаємо у вигляді рисунка 3.

```

RGui (64-bit) - [D:\Наука\СТАТТ_2019\Авторське Свідоцтво\AC_1_фазові_площини_прям_р_ДР\ImmunoSensorModel6.R - R Editor]
File Edit Packages Windows Help

library(deSolve)
library(rootSolve)
#libraries for visualization
library(ggplot2)
library(reshape)
#-----
# setting parameters
#-----
N <- 16#4#16
beta <- 2.
gamma <- 2.          #2
mu_f <- 1.
etha <- 0.8/gamma    #0.01184/gamma
delta_v <- 0.5      #0.035 #0.7
delta_f <- 0.5      #0.0175 #0.2

tau <- 0.23#0.28725#0.287#0.2825#0.2865

D <- 0.2
Delta <- 0.3
n <- 0.9 #1.

#-----
# endemic "identical" steady state
#-----
V_ij_star <- (-beta*delta_f - gamma * mu_f)/(delta_v * delta_f - etha * gamma * gamma)
F_ij_star <- (delta_v * mu_f - etha * gamma * beta)/(delta_v*delta_f - etha*gamma*gamma)

print(V_ij_star)
print(F_ij_star)

#-----
# finding endemic steady state
# as a result of solution of
# system of N nonlinear algebraic
# equations

```

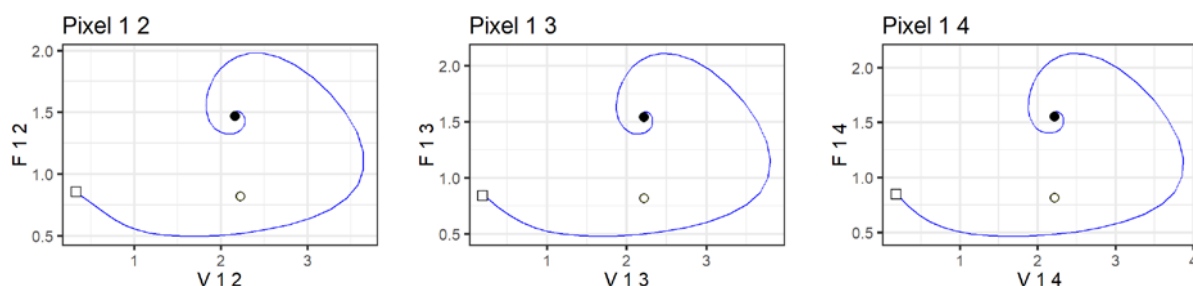
Рисунок 3 – Представлення в пакеті R x64 3.5.2 математичної моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням та відповідних параметрів згідно з таблицею 1

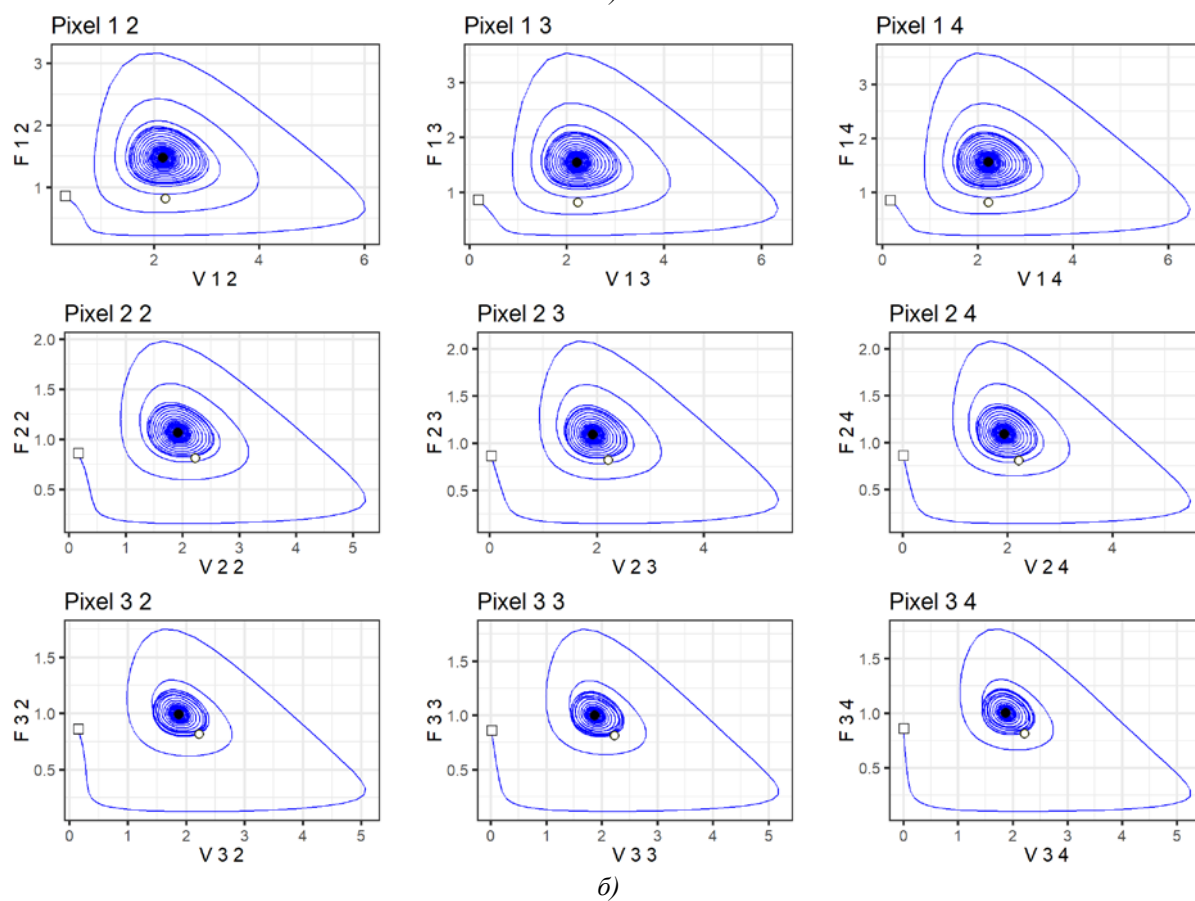
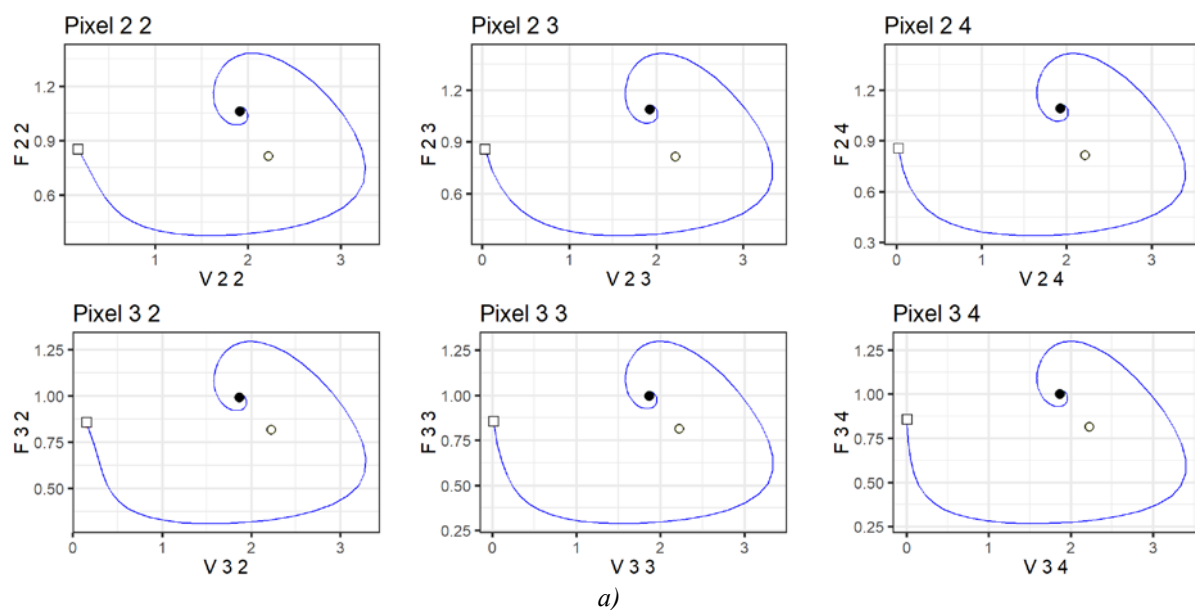
На рисунку 3 також наведено результат введення математичної моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь, яка має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dV_{i,j}(t)}{dt} &= (\beta - \gamma F_{i,j}(t - \tau) - \delta_v V_{i,j}(t - \tau)) V_{i,j}(t) + \hat{S}\{V_{i,j}\}, \\ \frac{dF_{i,j}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j}(t)) F_{i,j}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Наступне числове моделювання було виконано при різних значеннях при $n \in (0, 1]$.

Наприклад, коли $n = 0.9$, відповідні результати моделювання для $\tau > 0$ наведені на рисунку 4 (a-г).





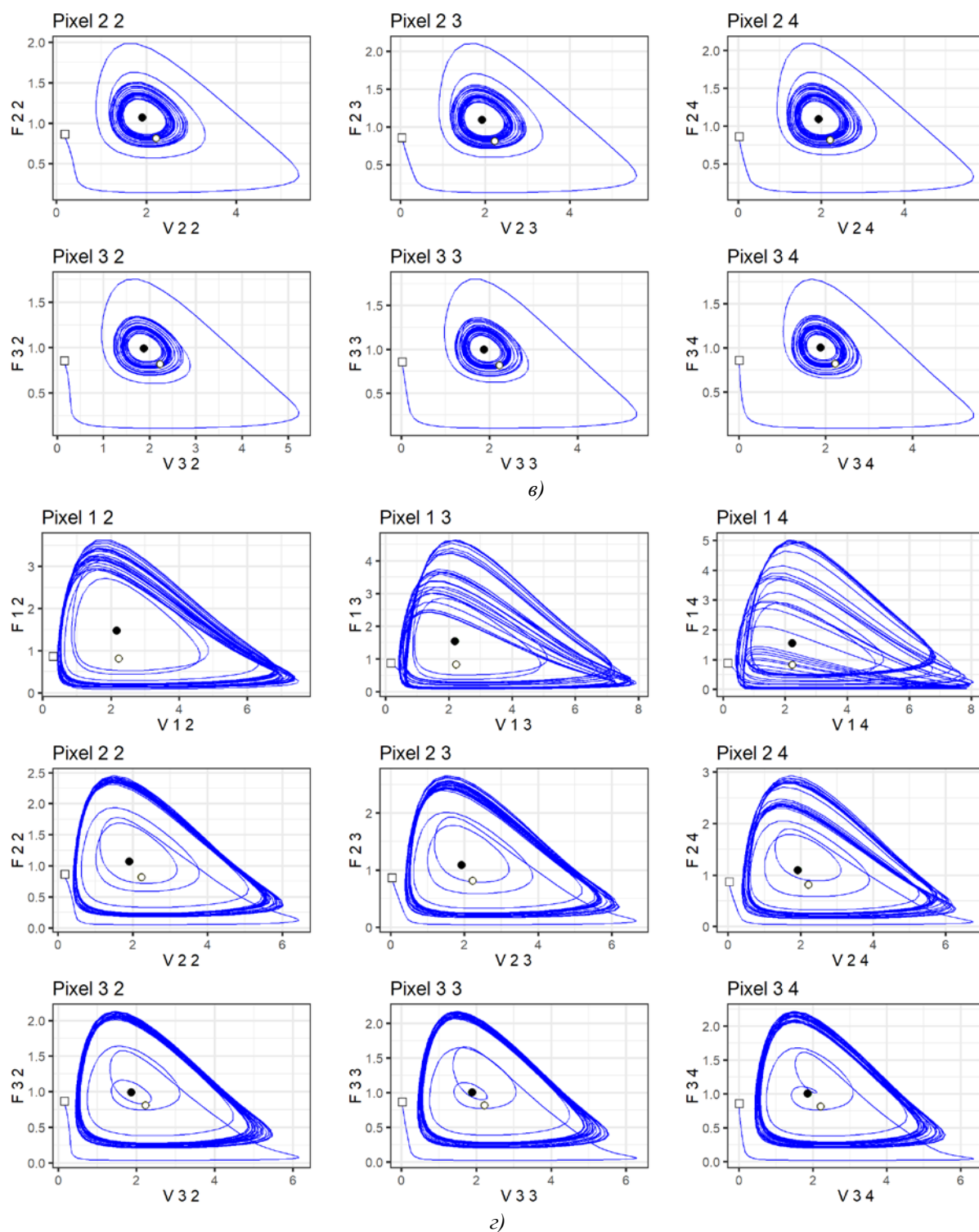


Рисунок 4 – Фазові площини системи (1) для популяцій антитіл $F_{i,j}$ відносно популяцій антигенів $V_{i,j}$, $i=\overline{1,3}$, $j=\overline{2,4}$ як результат чисельного моделювання при $\tau = 0.05$; (а), $\tau = 0.22$ (б), $\tau = 0.23$ (в), $\tau = 0.2865$ (г): $\square$ – початковий стан; $\circ$ – ідентичний та $\bullet$ – неідентичний сталі стани

Згідно з рисунком 4 (а-г) спостерігаємо, що при зміні значення τ змінюється якісна поведінка пікселів та всього імуносенсора. Наприклад, при $\tau \in [0, 0.22]$ бачимо траєкто-

рію, що відповідає стійкому вузлу для всіх пікселів (рисунок 4 (а, б)).

При значеннях τ , близьких до 0.23 хв., виникає біфуркація Хопфа і подальші траєк-

торії відповідають стійким граничним циклам еліпсоподібної форми для усіх пікселів (рисунок 4 (б)) для $\tau = 0.23$). Для значень $\tau > 0.27$ спостерігаємо хаотичну поведінку (рисунок 4 (г)).

Детальний опис математичної моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням представлено в роботах [16-19].

Фрагмент лістингу комп'ютерної програми «Дослідження фазових площин моделі імуносенсора на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь із запізненням»

```
#-----
# plotting nonidentical steady states
# dataframe for
biosensor_matrix_steady_state
#-----
V_steady<-c(rep(0.0,N*N))
F_steady<-c(rep(0.0,N*N))
index_i<-c(rep(0,N*N))
index_j<-c(rep(0,N*N))
counter = 1
for(i in 1:N) {
  for(j in 1:N) {
    V_steady[counter] <-
nonident_endemic_state$root[counter]
    F_steady[counter] <-
nonident_endemic_state$root[N+counter]
    index_i[counter] <- i
    index_j[counter] <- j
    counter <- counter + 1
  }
}
biosensor_matrix_steady_state.data <-
data.frame(V_steady,index_i,index_j)
biosensor_matrix_steady_state <-
ggplot(biosensor_matrix_steady_state.data,
aes(x=index_i,y=index_j))
png(paste(paste("Tau",tau,"_Matrix_V_Ste
ady",sep=""),"png",sep="."), width = 800, height
= 600)
biosensor_matrix_steady_state_V <-
biosensor_matrix_steady_state +
geom_tile(aes(fill=V_steady))
biosensor_matrix_steady_state_V <-
biosensor_matrix_steady_state_V +
scale_fill_gradientn(colours = terrain.colors(10))
print(biosensor_matrix_steady_state_V)
dev.off()
png(paste(paste("Tau",tau,"_Matrix_F_ste
ady",sep=""),"png",sep="."), width = 800, height
= 600)
```

```
biosensor_matrix_steady_state_F <-
biosensor_matrix_steady_state +
geom_tile(aes(fill=F_steady))
biosensor_matrix_steady_state_F <-
biosensor_matrix_steady_state_F +
scale_fill_gradientn(colours = terrain.colors(10))
print(biosensor_matrix_steady_state_F)
dev.off()
}# end of program
```

Висновок. У роботі проведено дослідження фазових площин моделі імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням диференціальних рівнянь за допомогою пакета R. Отримані результати мають визначальне значення при дослідженні стійкості моделі імуносенсора. При цьому враховується наявність колоній антигенів та антитіл, що локалізовані у пікселях, а також дифузія колоній антигенів між пікселями. Математичний опис імуносенсора містить дискретну популяційну динаміку, яку поєднано з динамічною логікою, що використовується для дискретних подій.

Список літератури

- [1] L. Mosinska, K. Fabisiak, K. Paprocki, M. Kowalska, P. Popielarski, M. Szybowicz, A. Stasiak et al., "Diamond as a transducer material for the production of biosensors", *Przemysl Chemiczny*, vol. 92, no. 6, pp. 919-923, 2013.
- [2] P. Mehrotra, "Biosensors and their applications – a review", *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, vol. 6, no. 2, pp. 153-159, May 2016. DOI: 10.1016/j.jobcr.2015.12.002. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2015.12.002>.
- [3] V. P. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, and A. S. Sverstiuk, "Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks", *Medical informatics and engineering*, no. 1 (41), pp. 13-19, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2018.1.8887>.
- [4] A. Klos-Witkowska, "The phenomenon of fluorescence in immunosensors", *Acta Biochimica Polonica*, vol. 63, no. 2, pp. 215-221, 2016. DOI: 10.18388/abp.2015_1231. [Online]. Available: https://doi.org/10.18388/abp.2015_1231.
- [5] Ch. Karunakaran, M. Pandiaraj, and P. Santharaman, *Chapter 4. Immunosensors*,

- Biosensors and Bioelectronics*. New York: Elsevier Inc.
- [6] H. Kaspar Binz, P. Amstutz, and A. Plückthun, "Engineering novel binding proteins from nonimmunoglobulin domains", *Natural Biotechnology*, vol. 23, iss. 10, pp. 1257-1268, 2005.
- [7] B. Renberg, J. Nordin, A. Merca, M. Uhlén, and J. Feldwisch, "Affibody molecules in protein capture microarrays: evaluation of multidomain ligands and different detection formats", *Journal of Proteome Resources*, vol. 6, pp. 171-179, 2007.
- [8] Z. Miao, J. Levi, and Z. Cheng, "Protein scaffold-based molecular probes for cancer molecular imaging", *Amino Acids*, vol. 1, p. 9, 2010.
- [9] H. K. Binz, "Engineered proteins as specific binding reagents", *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 16, pp. 459-469, 2005.
- [10] P. P. Dillon, S. J. Daly, B. M. Manning, and R. O'Kennedy, "Immunoassay for the determination of morphine-3-glucuronide using a surface plasmon resonance-based biosensor", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 18, pp. 217-227, 2003.
- [11] J. Tang, Y. Huang, C. Zhang, H. Liu, and D. Tang, "Amplified impedimetric immunosensor based on instant catalyst for sensitive determination of ochratoxin A", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 86, pp. 386-392, 2016.
- [12] Y. Liu, Y. Liu, R. L. Raymond, and X. Zeng, "Single chain fragment variable recombinant antibody functionalized gold nanoparticles for a highly sensitive colorimetric immunoassay", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 24, iss. 9, pp. 2853-2857, 2009.
- [13] Jon Sáenz, Santos J. González-Rojí, Sheila Carreno-Madinabeitia, and Gabriel Ibarra-Berastegi, "Analysis of atmospheric thermodynamics using the R package aiRthermo", *Computers & Geosciences*, vol. 122, pp. 113-119, 2019, ISSN 0098-3004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.10.007>.
- [14] Carla A. R. S. Fontoura, Gastone Castellani, and José C. M. Mombach, "The R implementation of the CRAN package PATHChange, a tool to study genetic pathway alterations in transcriptomic data", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 78, pp. 76-80, 2016, ISSN 0010-4825, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2016.09.010>.
- [15] Daniel Adler, Duncan Murdoch et al., rgl: 3D Visualization Using OpenGL. R package version 0.96.0, 2016. [Online]. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=rgl>.
- [16] V. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, and A. Sverstiuk, "Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay", *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*, no. 27, pp. 1-31, 2018. ISSN: 1417-3875. Scopus, Web of Science. Impact Factor: 0.881. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.
- [17] В. П. Марценюк, І. Е. Андрущак, П. Н. Зинько, и А. С. Сверстюк, "Об использовании решетчатых дифференциальных уравнений с запаздыванием для моделирования иммуносенсора", *Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн.*, № 3, с. 37-45, 2018.
- [18] В. П. Марценюк, та А. С. Сверстюк, "Модель імуносенсора на основі решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням", *Штучний інтелект*, № 1, с. 42-47, 2018.
- [19] В. П. Марценюк, А. С. Сверстюк, и І. Е. Андрущак, "Подход к исследованию глобальной асимптотической устойчивости решетчатых дифференциальных уравнений с запаздыванием для моделирования иммуносенсоров", *Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн.*, № 1, с. 62-74, 2019.

References

- [1] L. Mosinska, K. Fabisiak, K. Paprocki, M. Kowalska, P. Popielarski, M. Szybowicz, A. Stasiak et al., "Diamond as a transducer material for the production of biosensors", *Przemysl Chemiczny*, vol. 92, no. 6, pp. 919-923, 2013.
- [2] P. Mehrotra, "Biosensors and their applications – a review", *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, vol. 6, no. 2, pp. 153-159, May 2016. DOI: 10.1016/j.jobcr.2015.12.002. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2015.12.002>.
- [3] V. P. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, and A. S. Sverstiuk, "Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical

- tasks", *Medical informatics and engineering*, no. 1 (41), pp. 13-19, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2018.1.8887>.
- [4] A. Kłos-Witkowska, "The phenomenon of fluorescence in immunosensors", *Acta Biochimica Polonica*, vol. 63, no. 2, pp. 215-221, 2016. DOI: 10.18388/abp.2015_1231. [Online]. Available: https://doi.org/10.18388/abp.2015_1231.
- [5] Ch. Karunakaran, M. Pandiaraj, and P. Santharaman, *Chapter 4. Immunosensors, Biosensors and Bioelectronics*. New York: Elsevier Inc.
- [6] H. Kaspar Binz, P. Amstutz, and A. Plückthun, "Engineering novel binding proteins from nonimmunoglobulin domains", *Natural Biotechnology*, vol. 23, iss. 10, pp. 1257-1268, 2005.
- [7] B. Renberg, J. Nordin, A. Merca, M. Uhlén, and J. Feldwisch, "Affibody molecules in protein capture microarrays: evaluation of multidomain ligands and different detection formats", *Journal of Proteome Resources*, vol. 6, pp.171-179, 2007.
- [8] Z. Miao, J. Levi, and Z. Cheng, "Protein scaffold-based molecular probes for cancer molecular imaging", *Amino Acids*, vol. 1, p. 9, 2010.
- [9] H. K. Binz, "Engineered proteins as specific binding reagents", *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 16, pp. 459-469, 2005.
- [10] P. P. Dillon, S. J. Daly, B. M. Manning, and R. O'Kennedy, "Immunoassay for the determination of morphine-3-glucuronide using a surface plasmon resonance-based biosensor", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 18, pp. 217-227, 2003.
- [11] J. Tang, Y. Huang, C. Zhang, H. Liu, and D. Tang, "Amplified impedimetric immunosensor based on instant catalyst for sensitive determination of ochratoxin A", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 86, pp. 386-392, 2016.
- [12] Y. Liu, Y. Liu, R. L. Raymond, and X. Zenga, "Single chain fragment variable recombinant antibody functionalized gold nanoparticles for a highly sensitive colorimetric immunoassay", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 24, iss. 9, pp. 2853-2857, 2009.
- [13] Jon Sáenz, Santos J. González-Rojí, Sheila Carreno-Madinabeitia, and Gabriel Ibarra-Berastegi, "Analysis of atmospheric thermodynamics using the R package aiRthermo", *Computers & Geosciences*, vol. 122, pp. 113-119, 2019, ISSN 0098-3004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.10.007>.
- [14] Carla A. R. S. Fontoura, Gastone Castellani, and José C. M. Mombach, "The R implementation of the CRAN package PATHChange, a tool to study genetic pathway alterations in transcriptomic data", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 78, pp. 76-80, 2016, ISSN 0010-4825, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2016.09.010>.
- [15] Daniel Adler, Duncan Murdoch et al., rgl: 3D Visualization Using OpenGL. R package version 0.96.0, 2016. [Online]. Available: <https://CRAN.R-project.org/package=rgl>.
- [16] V. Martsenyuk, A. Kłos-Witkowska, and A. Sverstiuk, "Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay", *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*, no. 27, pp. 1-31, 2018. ISSN: 1417-3875. Scopus, Web of Science. Impact Factor: 0.881. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.
- [17] V. P. Martsenyuk, I. E. Andrushchak, P. N. Zynko, and A. S. Sverstiuk, "On the use of lattice differential equations with a delay for modeling an immunosensor", *Problemy upravleniya i informatiki*, no. 3, pp. 37-45, 2018 [in Russian].
- [18] V. P. Martsenyuk, and A. S. Sverstiuk, "Immunosensor model based on lattice differential equations with delay", *Shtuchnyy intelekt*, no. 1, pp. 42-47, 2018 [in Ukrainian].
- [19] V. P. Martsenyuk, A. S. Sverstiuk, and I. E. Andrushchak, "Approach to the study of the global asymptotic stability of lattice differential equations with delay for modeling immunosensors", *Problemy upravleniya i informatiki*, no. 1, pp. 62-74, 2019 [in Russian].

V. P. Marsenyuk, *D. Sc., professor,*
University in Belsko Biala

Willowa str., 2, Bielsko-Biala, 43-309, Poland

A. S. Sverstiuk, *Ph. D., associate professor,*

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University
Maydan Voli, 1, Ternopil, 46001, Ukraine

N. V. Kozodii, *master degree,*

Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University
Ruska str., 56, Ternopil, 46001, Ukraine

Ye. O. Davydenko, *Ph. D.*

Petro Mohyla Black Sea National University
68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, 54003 Ukraine

RESEARCH OF PHASE PLANES OF IMMUNOSENSOR MODEL ON A RECTANGULAR LATTICE USING THE DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DELAY IN THE R PACKAGE

The computer simulation of an immunosensor on a rectangular lattice using the differential equations with delay in the R package is carried out in the work. The phase planes of the immunosensor model on the rectangular lattice using the differential equations with delay are investigated, the parameters of the model, their numerical values, as well as the parameters in the R package are presented. The latest researches in the field of immunosensors, their types, and popularity of scientific directions of research during the last five years are analyzed. Despite the huge variety of modern physico-chemical methods for detecting the analytical signal in immunoassay, electrochemical methods with a number of undeniable advantages, such as: high sensitivity and accuracy, selectivity and expressiveness, not high cost and versatility, are in the lead. The R package is described as a programming environment for statistical analysis of data with given values of parameters of the immunosensor model on the rectangular lattice using differential equations with delay. The links to useful sites, referral lists and documentation on the installation and inception of the R package are presented. The results of numerical immunosensor simulation on a rectangular lattice in the form of phase planes make it possible to study the stability of the immunosensor model. In this work, the phase planes of the model of the immunosensor system on the rectangular lattice using differential equations with the help of R package are investigated. The results obtained are crucial in the study of the stability of the immunosensor model. This takes into account the presence of colonies of antigens and antibodies localized in pixels, as well as the diffusion of antigen colonies between pixels. The mathematical description of the immunosensor contains discrete population dynamics, which is combined with the dynamic logic used for discrete events.

Keywords: biosensor, immunosensor, mathematical model, differential equations, R package.

О. С. Гавриш, к.ф.-м.н., доцент,

С. І. Костюк, магістр,

Ю. Ю. Обруч, магістр,

М. О. Багрій, магістр

Черкаський державний технологічний університет

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

ВІРТУАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЕВОДУ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕТИНУ

У роботі синтезовано віртуальний стенд у середовищі LabView, який дає можливість провести імітаційне моделювання для визначення параметрів електромагнітної хвилі в прямокутному хвилеводі. Для хвилі заданого типу з довільним сполученням індексів m і n , що поширюється по хвилеводу з заданими геометричними розмірами поперечного перетину, можна визначати критичну довжину хвилі або критичну частоту. Також розроблений віртуальний інструментарій дає змогу досліджувати дисперсію в хвилеводі, оцінювати величину втрат у хвилеводі та коефіцієнт корисної дії, визначати окремо для хвиль E і H типів характеристичний опір хвилеводу і коефіцієнт відбиття. Отримано аналітичні вирази для розрахунку пробивної потужності хвилеводу при поширенні хвиль E і H типів, які також реалізовано у вигляді відповідних віртуальних інструментів. Розроблений віртуальний інструментарій дозволяє організувати дистанційне навчання.

Ключові слова: імітаційне моделювання, прямокутний хвилевід, електромагнітна хвиля, віртуальний стенд, програма LabVIEW.

Вступ. Прямокутний хвилевід є одним із найбільш поширених типів лінії передачі в міліметровому, сантиметровому і в короткохвильовій частині дециметрового діапазону. Він дає можливість передавати досить значні рівні потужності з малим загасанням, є широкосмуговим і механічно міцним [1-3].

У навчальному процесі для визначення параметрів хвилеводів прямокутного перетину традиційно використовуються фізичні стенди, що складаються з генератора хвильової частоти типів Я2Р-74 ($f = 0,01-2$ ГГц), Я2Р-75 ($f = 2-8,3$ ГГц) або Я2Р-76 ($f = 8,15-18$ ГГц), індикатора КСХН і послаблень Я2Р-70, а також комплекту кабелів і направлених розгалужень відповідного діапазону частот. Електричні схеми приладів побудовано з використанням мікропроцесорів, що дає можливість використовувати прилади в складі автоматизованих вимірювальних систем через канал загального користування [4]. Проте за допомогою такого обладнання можна розглядати поширення лише хвиль основного типу H_{10} і не вдається врахувати різноманітність вищих типів хвиль E і H типів.

Режим роботи лінії передачі характеризується рядом параметрів, які в процесі її експлуатації підлягають контролю і підтримуються в певних межах шляхом передбачених

регулювань. Для дослідження хвиль у прямокутному хвилеводі з навчальною метою часто цілком достатньо імітаційної комп'ютерної моделі, яка може замінити цілий комплекс кошовної апаратури. Крім того, віртуальні інструменти дають змогу організувати дистанційне навчання, яке було неможливе при використанні традиційної лабораторної бази [5]. Тому створення віртуального стенда в середовищі LabView [5-7] і дослідження за його допомогою параметрів прямокутного хвилеводу є актуальною задачею.

В роботах [8, 9] розглянуто різні варіанти реалізації віртуальної установки в середовищі LabView для дослідження параметрів хвилеводу. В цій роботі пропонується розширити функціональні можливості віртуального стенда, а саме збільшити кількість вимірюваних параметрів за рахунок отримання нових і використання додаткових математичних моделей.

Цілком очевидно, що віртуальний експеримент не може повністю замінити фізичний, але для навчальних цілей він може мати ряд переваг [5, 10]:

- наочна візуалізація результатів експерименту, що сприяє більш повному розумінню досліджуваного фізичного явища;

- досягається потрібний рівень безпеки при проведенні експерименту, оскільки НВЧ випромінювання є потенційно небезпечним і може потребувати додаткових заходів захисту від нього;

- загальна доступність віртуальних ресурсів при дистанційному навчанні.

Постановка завдання. Метою роботи є створення віртуального інструментарію в середовищі Labview для дослідження різних типів хвиль у прямокутному хвилеводі на основі використання відомих та отримання нових математичних моделей, для організації дистанційного навчання з дисципліни «Технічна електродинаміка».

Припускаємо, що синтезований віртуальний стенд у середовищі LabView дасть можливість за заданими входними параметрами розраховувати вихідні для хвиль Е і Н типів з довільним сполученням індексів. Як входні параметри використовуються такі: «індекс m», «індекси n», «Ширина хвилеводу a, мм», «Висота хвилеводу b, мм», «Робоча частота, ГГц», «Довжина хвилеводу, см», «Коефіцієнт згасання, дБ/м», «Вхідна потужність, Вт». Розрахунки можуть проводитись для двох типів хвиль: електричних Е і магнітних Н. Вихідними параметрами стенда є: «Критична довжина хвилі, мм», «Критична частота, ГГц», «Довжина хвилі в хвилеводі, мм», «Відносна фазова швидкість», «Втрати в хвилеводі, дБ», «Коефіцієнт корисної дії, %», «Характеристичний опір, Ом», «Коефіцієнт відбиття», «Вихідна потужність, Вт», «Потужність втрат, Вт».

Вибір математичних моделей і створення субВІ для обчислення параметрів прямокутного хвилеводу. Для створення віртуального стенда необхідно вибрати математичні моделі, які зв'язують задані входні і вихідні параметри. Розглянемо синтез п'яти субВІ (допоміжних віртуальних інструментів), які дадуть змогу обчислювати:

1) критичну довжину хвилі $(\lambda_{кр})_{mn}$ (або критичну частоту $(f_{кр})_{mn}$)

$$(\lambda_{кр})_{mn} = \frac{2}{\sqrt{(\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2}}, \quad (1)$$

де a, b – лінійні розміри хвилеводу;

m, n – кількість стоячих напівхвиль, що укладаються уздовж координат x та y відповідно;

2) відносну фазову швидкість V_{ϕ}/C і довжину хвилі у хвилеводі $\lambda_{хв}$:

$$\frac{V_{\phi}}{C} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu - \lambda^2/\lambda_{кр}^2}}, \quad (2)$$

де C – швидкість світла у вакуумі; ϵ, μ – діелектрична і магнітна проникності середовища,

$$\lambda_{хв} = \frac{V_{\phi}}{f} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon\mu - (\lambda/\lambda_{кр})^2}}; \quad (3)$$

3) втрати в лінії передач L, вихідну потужність $P_{вих}$, потужність втрат $P_{втрат}$ і коефіцієнт корисної дії η :

$$L = 10 \lg \frac{P_{вх}}{P_{вих}} \cong 8,68\alpha l, \quad (4)$$

де α – стала згасання; l – довжина лінії передач,

$$P_{вих} = P_{вх} e^{-2\alpha l}, \quad (5)$$

$$P_{втрат} = P_{вх} - P_{вих}, \quad (6)$$

$$\eta = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}; \quad (7)$$

4) хвильовий опір хвилеводу Z_c і коефіцієнт відбиття при відкритому кінці хвилеводу Γ :

$$Z_{сЕ} = Z_0 \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}, \quad (8)$$

$$Z_{сН} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}}, \quad (9)$$

де $Z_0 = 377$ Ом – характеристичний опір вакууму.

У загальному випадку коефіцієнт відбиття може бути виражений через характеристичний опір розглянутої лінії Z_c й опір навантаження Z_n :

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_n - Z_c}{Z_n + Z_c} \right|; \quad (10)$$

5) пробивну потужність хвилеводу $P_{проб}$

$$P = \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b (\dot{E}_x \dot{H}_y^* - \dot{E}_y \dot{H}_x^*) dx dy. \quad (11)$$

У рівнянні (11) використовуються вирази складових полів біжучої хвилі типу E_{mn} , H_{mn} [1-3].

Можна показати, що після громіздких розрахунків рівняння для визначення пробивної потужності при хвилі типу E_{mn} набуває вигляду

$$(P_{\text{проб1}})_{E_{mn}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 V_{\phi} \epsilon \epsilon_0 a^2}{8m^2} \left(\frac{b}{a} m^2 + \frac{a}{b} n^2 \right),$$

$$(P_{\text{проб2}})_{E_{mn}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 V_{\phi} \epsilon \epsilon_0 b^2}{8n^2} \left(\frac{b}{a} m^2 + \frac{a}{b} n^2 \right). \quad (12)$$

Експериментально встановлено, що при нормальному атмосферному тиску для сухого повітря пробивна напруженість електричного поля $E_{\text{проб}}$ в діапазоні сантиметрових хвиль має порядок 30 кВ/см [1-3].

При різних значеннях геометричних розмірів хвелеводу $a \times b$ і сполученнях індексів m, n можливі різні співвідношення між потужностями, що описуються виразом (12). З двох отриманих значень потрібно обирати менше, оскільки воно вказує на величину потужності, при якій вже може настати електричний пробій по відповідній стінці хвелеводу.

Аналогічно до виразу (12) було отримано розрахункове рівняння для визначення пробивної потужності при поширенні хвилі типу H_{mn}

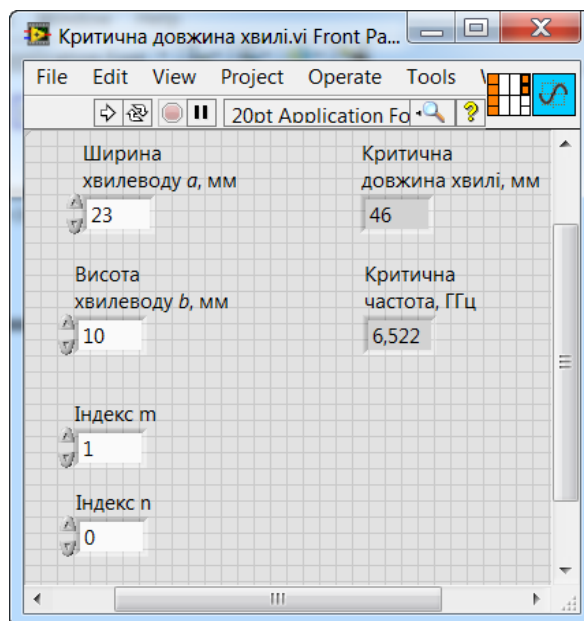
$$(P_{\text{проб1}})_{H_{mn}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 b^2}{8n^2 V_{\phi} \mu \mu_0} \left(\frac{a}{b} n^2 + \frac{b}{a} m^2 \right),$$

$$(P_{\text{проб2}})_{H_{mn}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 a^2}{8m^2 V_{\phi} \mu \mu_0} \left(\frac{a}{b} n^2 + \frac{b}{a} m^2 \right). \quad (13)$$

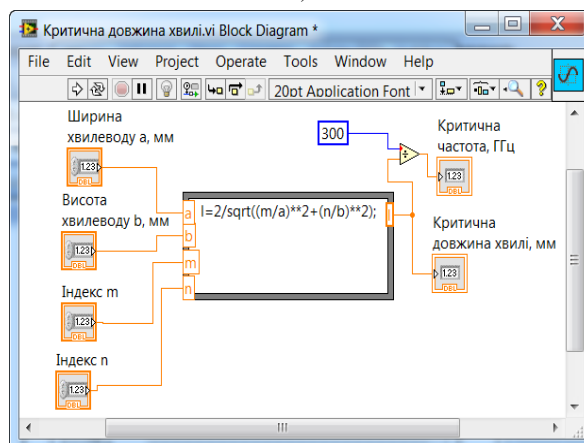
Як і для хвилі E_{mn} , при різних значеннях геометричних розмірів хвелеводу $a \times b$ і різних сполученнях індексів m, n можливі різні співвідношення між потужностями, що описуються виразом (13).

У випадку, якщо один із індексів у позначенні типу хвилі нульовий, то величина пробивної потужності має один варіант розрахунку. Якщо обидва індекси відмінні від нуля, то з двох отриманих значень потрібно обирати те, яке менше.

Для структуризації програми підготуємо ряд допоміжних віртуальних інструментів, використовуючи вирази (1)-(13). Приклад реалізації субВІ «Критична довжина хвилі» з використанням формульного вузла зображено на рисунку 1. Іконки субВІ та назви їх входів та виходів наведено в таблиці 1.



а)



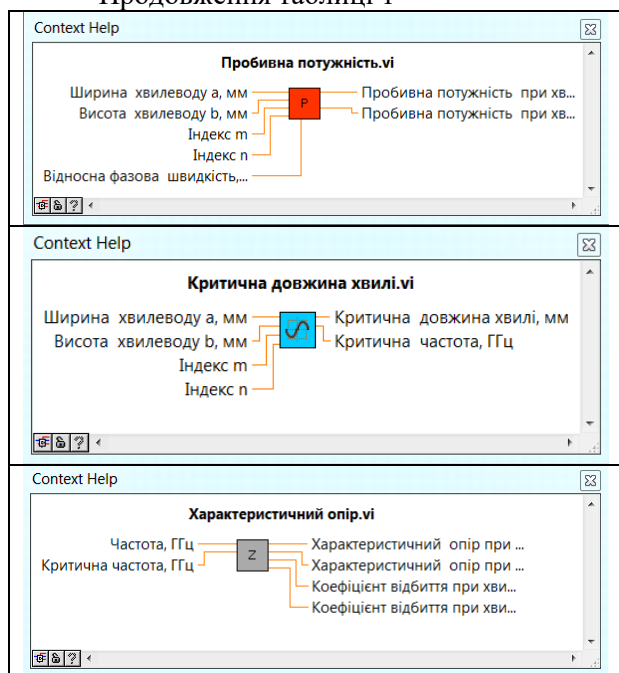
б)

Рисунок 1 – Лицьова панель (а) і блок-схема (б) субВІ «Критична довжина хвилі»

Таблиця 1 – Допоміжні прилади (субВІ)

Context Help	
Відносна фазова швидкість.vi	
Частота, ГГц	Відносна фазова швидкість
Критична частота, ГГц	Довжина хвилі в хвелеводі, мм
Context Help	
Втрати в хвелеводі.vi	
Постійна згасання, дБ/м	Втрати, дБ
Довжина хвелеводу, см	Вихідна потужність, Вт
Вхідна потужність, Вт	Потужність втрат, Вт
	ККД, %
Context Help	

Продовження таблиці 1



Синтез віртуального стенда для обчислення параметрів прямокутного хвильоводу. Попередньо створені допоміжні підпрограми полегшать формування структурної схеми лабораторної установки. На загальній схемі буде видно тільки іконки субВІ, яким ми дали характерне забарвлення і малюнки. У випадку, якщо згодом виникне потреба визначати ще один із параметрів, то можна буде швидко додати відповідний субВІ, не змінюючи схему в цілому.

Для того щоб віртуальна установка працювала в двох режимах, даючи можливість визначати параметри хвильоводу при поширенні різних типів хвиль, створюємо перемикач режимів (рисунок 2). Для забезпечення роботи в двох режимах помістимо у вікно блок-схеми два елементи структури Structure $\Rightarrow$ Case Structure (рисунок 3).

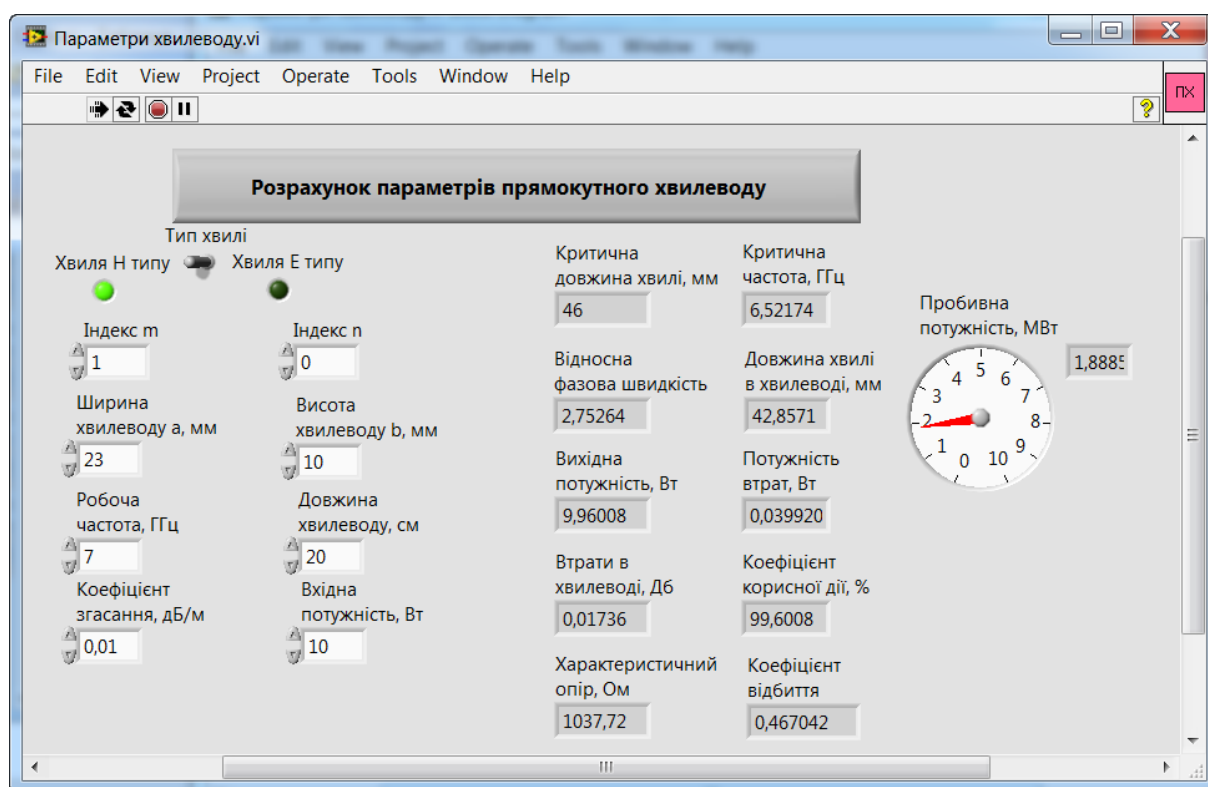


Рисунок 2 – Лицьова панель ВІ «Параметри прямокутного хвильоводу»

При поширенні хвиль Е і Н типів частина вихідних параметрів буде однаковою, а три параметри (характеристичний опір, коефіцієнт відбиття і пробивна потужність) можуть відрізнятися.

Яка з двох сторінок кожної структури виконуватиметься, залежить від положення

перемикача режимів «Тип хвилі». Для цього термінал перемикача підключаємо до терміналу вибору на лівій стороні рамки кожної структури. До терміналу перемикача підключаємо світлодіод «Хвиля Е типу» і через оператор логічного заперечення Not світлодіод «Хвиля Н типу». При перемиканні світлитиметься діод

відповідного режиму і виконуватиметься програма з відповідної сторінки структури Case.

При значенні «True» на терміналі вибору виконується розрахунок параметрів хвильоводу при поширенні хвилі Е типу. При значенні «False» на терміналі вибору виконується розрахунок параметрів хвильоводу при поширенні хвилі Н типу. Вікно з відповідними структурами Case зображено на рисунку 3.

Розглянемо роботу структури Case при визначенні пробивної потужності. Для визначення величини пробивної потужності при різних типах хвилі було синтезовано субВІ «Пробивна потужність». З палітри Functions вибираємо Select a VI. З вікна, що відкрилося, поміщаємо у вікно структури Case структурної схеми створений субВІ. При значенні «True» на терміналі вибору вихідним пара-

метром буде лише «Пробивна потужність при хвилях Е», а інший сигнал «Пробивна потужність при хвилях Н» не задіюється. Проте при значенні «False» на терміналі вибору подається другий параметр, а перший не використовується.

Аналогічно працюватиме структура Case при визначенні характеристичного опору і коефіцієнта відбиття. Відмінність полягає в тому, що робота в структурі Case здійснюється з субВІ «Характеристичний опір».

Для визначення решти параметрів хвильоводу скористаємося субВІ, описаними в таблиці 1. З палітри Functions вибираємо Select a VI і розміщуємо субВІ між регуляторами й індикаторами. Термінали регуляторів, субВІ та індикаторів сполучаємо відповідно до схеми (рисунок 3).

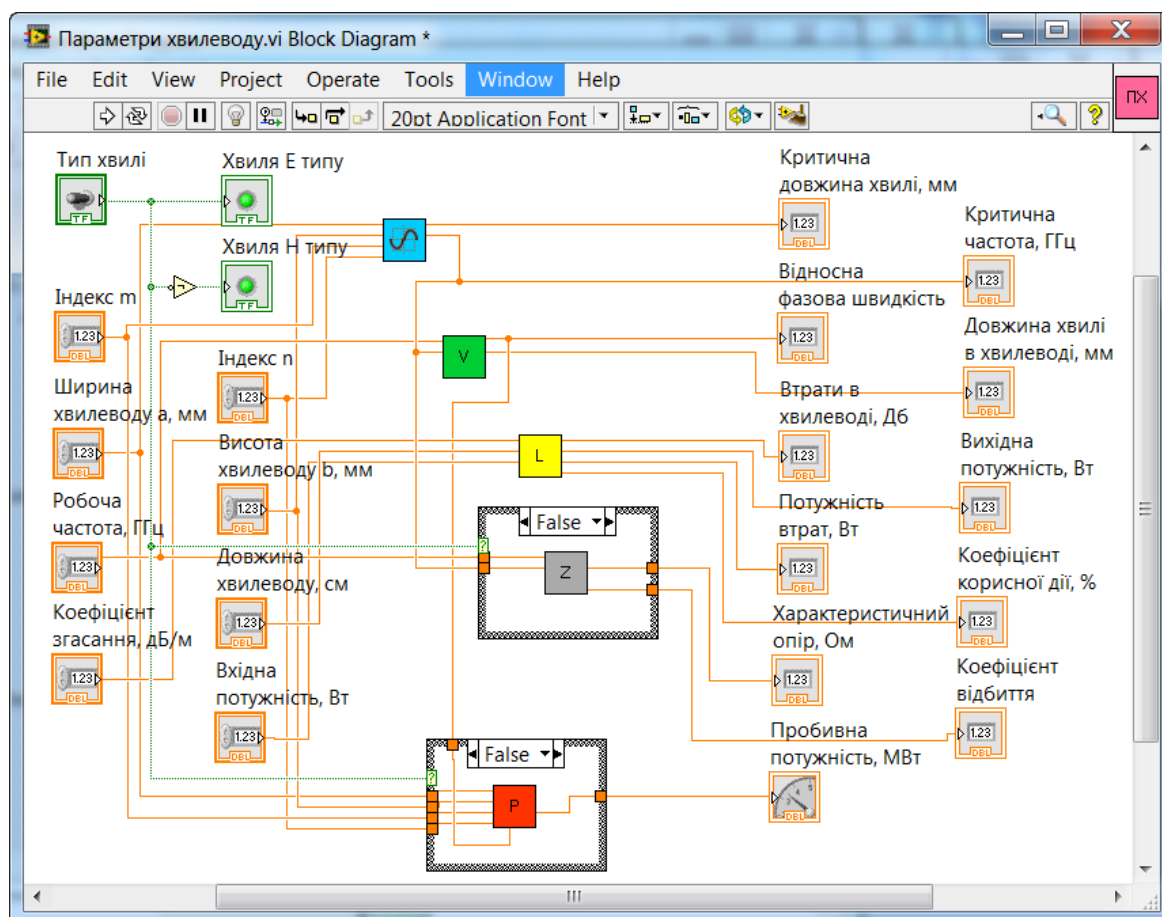


Рисунок 3 – Блок-схема ВІ «Параметри хвильоводу» при поширенні хвилі Н типу

Висновки. Синтезований віртуальний стенд є зручним інструментальним засобом для дослідження параметрів і характеристик прямокутного хвильоводу і при використанні його в навчальному процесі сприятиме покращенню розуміння фізичних процесів, що

відбуваються при поширенні хвиль Е і Н типів у хвильоводі. Цією програмою дуже зручно виконувати розрахунки для конкретних задач, а саме для розрахунку параметрів хвильоводу для різних типів хвиль. Крім того, є ще одна суттєва перевага – невеликі матері-

альні та часові затрати при роботі з програмою. Запропоновані математичні моделі для розрахунку пробивної потужності дають можливість здійснити оптимальний вибір типу хвилі за зазначеним критерієм. Використання сучасних технологій віртуальних приладів надає переваги представлений розробці при організації дистанційного навчання.

Список літератури

- [1] А. С. Андрушак, З. Ю. Готра, та О. С. Кушнір, *Прикладна електродинаміка інформаційних систем*: навч. посіб. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012.
- [2] О. С. Гавриш, *Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Електродинаміка та розповсюдження радіохвиль» для студентів спеціальності 6.050901 «Радіотехніка»*. Черкаси: ЧДТУ, 2015.
- [3] Ю. В. Пименов, В. И. Вольман, и А. Д. Муравцов, *Техническая электродинамика*. Москва: Радио и связь, 2000.
- [4] О. С. Гавриш, та В. В. Коваль, *Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Пристрої мікрохвильового та оптичного діапазонів» для студентів спеціальності «Радіотехніка» освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» та «магістр» усіх форм навчання*. Черкаси: ЧДТУ, 2015.
- [5] Ю. К. Евдокимов, В. Р. Линдваль, и Г. И. Щербаков, *LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW*. Москва: ДМК Пресс, 2007.
- [6] А. Я. Суранов, *LabVIEW 8.20: справочник по функциям*. Москва: ДМК Пресс, 2007.
- [7] Ю. К. Евдокимов, В. Р. Линдваль, и Г. И. Щербаков, *LabVIEW в научных исследованиях*. Москва: ДМК Пресс, 2012.
- [8] В. Р. Линдваль, *Методические указания к выполнению лабораторной работы № ВИ-107 «Параметры волн в прямоугольном металлическом волноводе»*. Казань: КГТУ, 2006.
- [9] Т. С. Васильук, Ю. И. Гришалевиц, и А. Б. Прошин, "Компьютерная лабораторная работа «Исследование диспер-

сионных явлений, возникающих при передаче сигналов по прямоугольному волноводу», *Т-COMM – Телекоммуникации и транспорт*, № 11, с. 62-65, 2013.

- [10] О. С. Гавриш, та П. В. Лифар, "Віртуальний лабораторний стенд для дослідження генератора на магнетроні", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 127-129, 2011 (*Технічні науки*).

References

- [1] A. S. Andrushchak, Z. Yu. Gotra, and O. S. Kuchnir, *Applied electrodynamics of information systems*. Lviv: Vyd-vo Lviv. politehnilly, 2012 [in Ukrainian].
- [2] O. S. Havrysh, *Methodical instructions for the implementation of course work on the discipline "Electrodynamics and radio waves propagation" for students of the specialty 6.050901 "Radio engineering"*. Cherkasy: ChDTU, 2015 [in Ukrainian].
- [3] Yu. V. Pimenov, V. I. Volman, and A. D. Muravtsov, *Technical electrodynamics*. Moscow: Radio i svyaz, 2000 [in Russian].
- [4] O. S. Havrysh, and V. V. Koval, *Methodical instructions for the implementation of laboratory works on the discipline "Microwave and optical bands" for students specializing in "Radio Engineering" of the educational qualification levels "specialist" and "master" of all forms of training*. Cherkasy: ChDTU, 2015 [in Ukrainian].
- [5] Yu. K. Evdokimov, V. R. Lindval, and G. I. Shcherbakov, *LabVIEW for radio injector: from virtual model to real device. Practical guide for LabVIEW software*. Moscow: DMK Press, 2007 [in Russian].
- [6] A. Ya. Suranov, *LabVIEW 8.20: functional reference*. Moscow: DMK Press, 2007 [in Russian].
- [7] Yu. K. Evdokimov, V. R. Lindval, and G. I. Shcherbakov, *LabVIEW in research*. Moscow: DMK Press, 2012 [in Russian].
- [8] V. R. Lindval, *Methodical instructions for laboratory work no. VI-107 "Parameters of waves in a rectangular metal waveguide"*. Kazan: KGTU, 2006 [in Russian].
- [9] T. S. Vasilyuk, Yu. I. Grishalevich, and A. B. Proshin, "Computer laboratory work "Investigation of dispersion phenomena

that occur when transmitting signals through a rectangular waveguide", *T-COMM – Telecommunications and Transport*, no. 11, pp. 62-65, 2013 [in Russian].

[10] O. S. Havrysh, and P. V. Lifar, "Virtual laboratory bench for the study of a generator on a magnetron", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 127-129, 2011 [in Ukrainian].

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

S. I. Kostiuk, *master,*

Yu. Yu. Obruch, *master,*

M. O. Bagrii, *master*

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

VIRTUAL TOOLS FOR RESEARCH OF RECTANGULAR WAVEGUIDE

The rectangular waveguide is the most common type of transmission line in millimeter, centimeter, and short-wave part of decimeter range. It allows to transmit quite significant levels of power with a small attenuation, is broadband and mechanically strong.

The mode of operation of the transmission line is characterized by a number of parameters, which during its operation are subject to control and are maintained within certain limits by the prescribed adjustments. In order to study waves in a rectangular waveguide for educational purposes, it is often enough to simulate a computer model that can replace a complex of valuable equipment.

In this work, a virtual table in a LabView environment, which allows to carry out simulation in order to determine electromagnetic wave parameters in a rectangular waveguide, is synthesized. For a wave of a given type with arbitrary coupling of m and n indices propagating over a waveguide with given geometric dimensions of the cross section, it is possible to determine critical wavelength or critical frequency. Also, the developed virtual toolkit allows to investigate the dispersion in the waveguide, to estimate the value of losses in the waveguide and the efficiency, to determine, separately for the waves of E and H types, characteristic resistance of the waveguide and reflection coefficient. Analytical expressions are obtained to calculate the breakdown power of a waveguide in the propagation of waves of E and H types, which are also implemented as appropriate virtual instruments. The developed virtual toolkit allows to organize distance learning.

The synthesized virtual table is a convenient tool for studying the parameters and characteristics of a rectangular waveguide, and when used in the learning process, it will contribute to improving the understanding of the physical processes occurring in the propagation of wavelengths of E and H types in the waveguide.

Keywords: *simulation modeling, rectangular waveguide, electromagnetic wave, virtual table, LabVIEW program.*

УДК 043.5

Л. В. Кузьмич, к.т.н., докторант,
Д. П. Орнатський, д.т.н., професор,
В. П. Квасніков, д.т.н., професор

Національний авіаційний університет
просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна

ЦИФРОВА КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕНЗОДАТЧИКА

Стаття зорієнтована на пошук можливостей щодо підвищення точності дистанційних вимірювань та завадозахищеності засобів вимірювання напружено-деформованого стану, зокрема на детальне дослідження поведінки поліноміальних коефіцієнтів для найбільш вживаного діапазону температур роботи тензодатчиків.

Було досліджено вплив діапазону зміни температур, розкиду значень температурної похибки на середньоквадратичне значення похибки апроксимації степеневими поліномами.

Запропоновано метод цифрової температурної корекції похибок, що дає можливість коригувати похибки датчика за допомогою використання TEDS. Ефективність алгоритму в умовах нелінійності температурної похибки буде визначатися з точністю підгонки апроксимуючого полінома.

Ключові слова: тензодатчик, температурна складова похибки, середньоквадратичне значення похибки апроксимації, поліноміальний коефіцієнт, константан.

Вступ. На сьогоднішній день одними з найпоширеніших засобів вимірювання напружень та деформацій є приладові системи, оснащені тензорезисторами та тензодатчиками [1-6].

Для корекції похибок датчиків використовуються методи автоматичної корекції на основі методів допоміжних вимірювань, які регламентуються міжнародним стандартом IEEE 1451.02, що передбачає використання множини функцій перетворень, декількох еталонних значень вхідної величини під впливом різних значень дестабілізуючого фактора (TEDS).

Аналіз останніх досліджень. На основі здійсненого в [7] аналізу дестабілізуючих факторів встановлено, що серед основних дестабілізуючих факторів, що обмежують точність вимірювання приладових систем, обладнаних тензодатчиками, є впливи зовнішніх кліматичних і механічних факторів, зокрема температури, вологості тощо.

Також нами було досліджено вплив діапазону зміни температур [7] для одного з найпоширеніших матеріалів, що застосовується для виготовлення тензорезисторів, а саме константану – сплаву з мінімальним температурним коефіцієнтом опору. Було досліджено розкид значень температурної похибки ($\pm 10\%$) на середньоквадратичне значення

похибки апроксимації степеневими поліномами [8-10].

З метою визначення залежності похибки апроксимації від порядку апроксимуючого полінома було застосовано пакет NUMERY як найбільш пристосований для вирішення задач обробки сигналів вимірювальної інформації, розроблений професором Шрюхером у монографії [11].

За допомогою пакета NUMERY було визначено залежність похибки апроксимації від порядку апроксимуючого полінома, в результаті чого було встановлено, що в широкому температурному діапазоні похибка для константану має слабкий зв'язок із порядком полінома.

Формулювання мети. Ця робота є продовженням досліджень, викладених у [7], і зорієнтована на пошук можливостей щодо підвищення точності дистанційних вимірювань та завадозахищеності засобів вимірювання напружено-деформованого стану, зокрема детального дослідження поведінки поліноміальних коефіцієнтів для найбільш вживаного діапазону температур.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо поведінку поліноміальних коефіцієнтів у більш вузькому діапазоні температур від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, взятих із таблиці 1 джерела [7].

Залежність похибки апроксимації від порядку апроксимуючого полінома була визначена за допомогою пакета NUMERY (див. таблицю 1).

Середньоквадратичне значення похибки апроксимації (у відсотках) $\sigma_{[\%]}$ визначалося згідно з формулою (3) джерела [7].

Таблиця 1 – Таблиця поліноміальних коефіцієнтів

Порядок полінома	Поліноміальні коефіцієнти										$\sum \theta^2$	$\sigma_{[\%]}$
	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9		
IV	-13,521645	1,3580664	-0,0465485	0,0003526	$-1,640121 \cdot 10^{-6}$						60,1937229	0,16
V	-16,349026	1,6181061	-0,0386318	0,0003315	$-3,93455 \cdot 10^{-6}$	$2,02667 \cdot 10^{-8}$					33,3336039	0,12
VI	-13,50000	1,3043333	-0,04824	0,000842	$-2,8 \cdot 10^{-6}$	$-1,29493 \cdot 10^{-7}$	$9,984 \cdot 10^{-10}$				$1,60869 \cdot 10^{-24}$	10^{-10}

Як свідчать розрахунки, при звуженні температурного діапазону похибка різко залежить від порядку апроксимуючого полінома і вже при шостому порядку практично стає нульовою.

Було також досліджено вплив точності запису табульованих значень на поліноміальні коефіцієнти і визначено, що випадкова похибка визначення коефіцієнтів розміром до $\pm 10\%$ для константану практично не впливає на значення середньоквадратичної похибки апроксимації.

Це дає можливість спростити алгоритм цифрової корекції похибок тензодатчика відносно способу, описаного в [4].

Розглянемо спосіб цифрової температурної корекції похибок, який полягає в наступному:

1) визначаємо значення похибки для певних значень вхідної величини з кроком 10% , починаючи з «нуля»;

2) за визначеною температурою датчика визначаємо значення похибок для всіх реперних точок;

3) апроксимуємо залежність поліномом шостого порядку;

4) визначаємо поправку для отриманого результату вимірювання за цим поліномом і обчислюємо скоригований результат.

Для перевірки цього алгоритму промодулюємо температурну похибку впливом зміни жорсткості пружини тензодатчика, зумовленої температурною залежністю модуля пружності E . Для пружинної сталі $\frac{\delta E}{dt} = -24 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$, що буде відповідати мультиплікативній похибці $\gamma = 24 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\%}{^\circ\text{C}}\right)$, а також нелінійність функції перетворення датчика модуляцією інших коефіцієнтів [5].

Розглянемо ефективність запропонованого методу на такому прикладі: будемо вважати, що матеріал, з якого виготовлена пружина тензодатчика, буде мати температурний коефіцієнт $\theta = \frac{\delta E}{dt} = -10^{-3} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$, що значно перевищує реальний температурний коефіцієнт пружинної сталі.

Тоді деформація пружини тензодатчика буде визначатися як:

$$\varepsilon_x = x + (1 + \theta) \cdot 10^{-3} \cdot t, \quad (1)$$

де x – «ідеальне» значення відносної деформації;

θ – температурний коефіцієнт;

t – робоча температура пружини.

За допомогою пакета NUMERY отримуюмо коефіцієнти лінійної регресії підсумкової похибки від температури:

$$y = a_0 + a_1 x$$

$$\begin{cases} a_0 = 0,025 \\ a_1 = 0,000025, \\ \sum \delta_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

де y – абсолютна похибка;

x – значення вимірюваної величини;

a_0, a_1 – коефіцієнти лінійної регресії;

$\sum \delta_i$ – сума квадратів нев'язок.

Обчислене значення вхідної величини за запропонованою методикою повністю збігається з теоретичним значенням вхідної величини.

Результати моделювання корекції похибок за визначеною методикою наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати моделювання цифрової температурної корекції похибок

Ідеальне значення вимірюваної величини t	Температурна похибка $\varepsilon(t)$	Реальна деформація при 25°C $\varepsilon(25^\circ\text{C})$	Абсолютна температурна похибка $\delta = \varepsilon(25^\circ\text{C}) - \varepsilon(t)$, іод.
0	$\varepsilon_0 = 10^{-3} \cdot t$	$25 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$
10	$\varepsilon_{10} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot t + 10$	10,02525	0,02525
20	$\varepsilon_{20} = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot t + 20$	20,0255	0,0255
30	$\varepsilon_{30} = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot t + 30$	30,02575	0,02575
40	$\varepsilon_{40} = 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot t + 40$	40,026	0,026
50	$\varepsilon_{50} = 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot t + 50$	50,02625	0,02625
60	$\varepsilon_{60} = 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot t + 60$	60,0265	0,0265
70	$\varepsilon_{70} = 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot t + 70$	70,02675	0,02675
80	$\varepsilon_{80} = 1,08 \cdot 10^{-3} \cdot t + 80$	80,027	0,027
90	$\varepsilon_{90} = 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot t + 90$	90,02725	0,02725
100	$\varepsilon_{100} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot t + 100$	100,0275	0,0275

Отримуємо лінійну регресію залежності абсолютної похибки від значення вхідної величини.

В пакеті NUMERY за десятьма реперними поліномами рахуємо їх значення при даній температурі, а саме $+25^\circ\text{C}$, а потім обчислюємо абсолютну температурну похибку.

При довільному значенні вхідної величини $\varepsilon = 35\%$ розраховуємо вихідну величину за функцією перетворення (1).

Маємо:

$$\varepsilon_{35} = 1,035 \cdot 10^{-3} \cdot 25 + 35 = 35,025875,$$

тобто абсолютна температурна похибка $\delta = 0,025875$ (іод).

Визначаємо значення вимірюваної величини за запропонованим алгоритмом (2) в точці $\varepsilon = 35\%$. Вона теж становитиме 0,025875 (іод).

Це означає, що запропонований алгоритм дає можливість коригувати похибки датчика за допомогою використання TEDS. Ефективність алгоритма в умовах нелінійності температурної похибки буде визначатися з точністю підгонки апроксимуючого полінома.

Висновки. В табличній формі наведено апроксимуючі поліноми для датчиків на основі константану і показано, що похибка апроксимації буде вже практично нульовою при шостому порядку апроксимуючого полінома. Це означає, що відомий метод корекції похибок, запропонований Фішером, буде практич-

но неможливо використати в цьому випадку через значне зростання обсягу обчислень при збільшенні порядку поліномів, оскільки у цьому методі поліном обмежується третім порядком у зв'язку із значним збільшенням обчислень, необхідних при збільшенні порядку апроксимуючого полінома.

У той же час запропонований нами алгоритм цифрової температурної корекції похибок є вільним від зазначених недоліків через те, що не залежить від ступеня апроксимуючого полінома.

Список літератури

- [1] Л. В. Кузьмич, "Сучасні тенденції створення приладових систем вимірювання механічних величин", *Вісник Інженерної Академії України*, № 2, с. 180-184, Київ, 2016.
- [2] L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; and M. Duk, "Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems", *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 108085J (October 1, 2018); doi: 10.1117/12.2501661
- [3] Д. П. Орнатський, Л. В. Кузьмич, та В. П. Квасніков, "Моделювання аналогового інтерфейсу для багатоканальних дистанційних вимірювань з резистивними тензодатчиками", *Метрологія та прилади*, № 1, с. 31-36, Харків, 2019.
- [4] K. Erb., P. Fisher, "Digital's Kompensation sverfahren zur Verbesserung von Messfuehlern", *Bulletin SEV/VSE*, 80, no. 7, 8, pp. 365-368, 1989.
- [5] *Экспериментальная механика: монография в 2 кн.: Кн. 1, пер. с англ., А. Кобаяси, ред. Москва: Мир, 1990.*
- [6] В. А. Мехеда, *Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011.*
- [7] Л. В. Кузьмич, Д. П. Орнатський, та В. П. Квасніков, "Розробка способу та засобу вимірювань напружено-деформованого стану за допомогою тензодатчика", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 1, с. 69-74, 2019. (*Технічні науки*).
- [8] G. Rus, S. Y. Lee, S. Y. Chang, and S. C. Wooh, "Optimized damage detection

of steel plates from noisy impact test", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 68, iss. 7, pp. 707-727, 2006. doi: 10.1002/nme.1720.

- [9] T. Harada, N. Ishikawa, T. Kanda, K. Suzumori, Y. Yamada, and K. Sotowa, "Droplet generation using a torsional Langevin-type transducer and a micropore plate", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 155, iss. 1, pp. 168-174, 2009.
- [10] A. Schroder, J. Rautenberg, and B. Henning, "Evaluation of cost functions for FEA based transducer optimization", *Physics Procedia*, vol. 3, iss. 1, pp. 1003-1009, 2010. doi: 10.1016/j.phpro.2010.01.129.
- [11] Е. Шрюфер, *Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов: підручник*, В. П. Бабак, ред. Київ: Либідь, 1992.

References

- [1] L. V. Kuzmych, "Modern trends in the creation of instrumentation systems for measuring mechanical quantities", *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy*, no. 2, pp. 180-184, Kyiv, 2016. [in Ukrainian].
- [2] L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; and M. Duk, "Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems", *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 108085J (October 1, 2018); doi: 10.1117/12.2501661
- [3] D. P. Ornatskyi, L. V. Kuzmych, and V. P. Kvasnikov, "Simulation of the analog interface for remote measurements using multiplexer and resistive strain gauges", *Metrolohiia ta prylady*, no. 1, pp. 31-36, Kharkiv, 2019 [in Ukrainian].
- [4] K. Erb., P. Fisher, "Digital's Kompensation sverfahren zur Verbesserung von Messfuehlern", *Bulletin SEV/VSE*, 80, no. 7, 8, pp. 365-368, 1989.
- [5] *Experimental mechanics: monograph in 2 books: Book 1, A. Kobaiasi, ed. Moscow: Mir, 1990 [in Russian].*
- [6] V. A. Mekheda, *Tensiometric method for strain measurement: manual. Samara: Izd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta, 2011 [in Russian].*
- [7] L. V. Kuzmich, D. P. Ornatsky, and V. P. Kvasnikov, "Development of the

- method and the instrument of the measurement of a stress-deformed state of a strain gauge", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 1, pp. 69-74, 2019 [in Ukrainian].
- [8] G. Rus, S. Y. Lee, S. Y. Chang, and S. C. Wooh, "Optimized damage detection of steel plates from noisy impact test", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 68, iss. 7, pp. 707-727, 2006. doi: 10.1002/nme.1720.
- [9] T. Harada, N. Ishikawa, T. Kanda, K. Suzumori, Y. Yamada, and K. Sotowa, "Droplet generation using a torsional Langevin-type transducer and a micropore plate", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 155, iss. 1, pp. 168-174, 2009.
- [10] A. Schroder, J. Rautenberg, and B. Henning, "Evaluation of cost functions for FEA based transducer optimization", *Physics Procedia*, vol. 3, iss. 1, pp. 1003-1009, 2010. doi: 10.1016/j.phpro.2010.01.129.
- [11] E. Schrufer, *Signal processing: digital processing of sampled signals: manual*, V. P. Babak, ed. Kyiv: Lybid, 1992 [in Ukrainian].

L. V. Kuzmych, Ph. D, doctoral candidate,

D. P. Ornatskyi, D. Sc., professor,

V. P. Kvasnikov, D. Sc., professor

National Aviation University,

Kosmonavta Komarova ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine

THE DIGITAL CORRECTION OF THE STRAIN GAUGE ERROR

The article is aimed on the search of opportunities to improve the accuracy of remote measurements and noise immunity of measuring the stress-strain state, in particular on a detailed study of polynomial coefficients behavior for the most used range of temperatures of strain gauges.

Based on the analysis of destabilizing factors, it is established that among the main destabilizing factors that limit the measurement accuracy of instrument systems equipped with strain gauges are the effects of external climatic and mechanical factors, in particular temperature, humidity and so on.

The influence of the temperature range change for one of the most common materials used for the manufacture of strain gauges, namely, a constantan alloy with a minimum temperature coefficient of resistance and the variation of the temperature error values ($\pm 10\%$) on the rms error of the approximation error by power polynomials is studied.

The NUMERY package has determined the dependence of the approximation error on the order of the approximating polynomial, which reveals that, over a wide temperature range, the error for the constant has a weak relationship with the polynomial order.

As the calculations show, when narrowing the temperature range, the error sharply depends on the order of the approximating polynomial, and already at the sixth order it almost becomes zero.

The influence of recording accuracy of tabulated values on polynomial coefficients is also investigated, and it is determined that a random error in the determination of coefficients up to $\pm 10\%$ for a constantan practically does not affect the mean square error of approximation.

A method for digital temperature error correction that allows the correction of strain gauge errors by using TEDS is proposed. The efficiency of the algorithm in terms of nonlinearity of the temperature error will be determined with the accuracy of the fit of the approximating polynomial.

Keywords: strain gauge, temperature component of error, mean square error of approximation, polynomial coefficient, constantan.

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

e-mail: cherkpervun@rambler.ru

В. В. Олексюк, аспірант,

e-mail: vadim.oleksuk@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

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

ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ МОДЕМА МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ШУМОВИХ СИГНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ КВАДРАТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ

Питання удосконалення модемів з шумовими сигналами передбачає підвищення точності теоретичного аналізу завадостійкості запропонованих методів демодуляції інформаційних складових сигналів. Демодулятор, для якого проводиться аналіз, характеризується тим, що у функціоналі для оцінювання прийнятого інформаційного біта містяться складові з різними законами розподілу ймовірностей. Врахування впливу квадратичної складової на завадостійкість модема множинного доступу в аналізі виконано вперше. У статті досліджується завадостійкість модема множинного доступу, що використовує як несучу шумові гауссові сигнали. Отримано аналітичні вирази для обчислення завадостійкості модема, коли кожний користувач системи використовує бінарний цифровий демодулятор переданого сигналу. Завадостійкість модема множинного доступу проаналізовано з урахуванням впливу вхідних складових сигналу, що апроксимовані гауссовим та Хі-квадрат законами розподілу ймовірностей. Отримані теоретичні оцінки завадостійкості цифрового модема множинного доступу перевірені на імітаційній моделі. Теоретичні результати аналізу дали змогу визначити залежність завадостійкості цифрового демодулятора від кількості відліків вхідного сигналу на тактовому інтервалі. Встановлено оптимальні значення кількості відліків залежно від кількості користувачів системи та перевищення сигналу над завадою в адитивному гауссовому каналі зв'язку.

Ключові слова: автокореляційна система зв'язку, множинний доступ, шумовий сигнал, квадратична складова, завадостійкість.

Вступ. Сучасний стан розвитку елементної бази радіосистем стимулює як покращення існуючих традиційних систем, так і дослідження альтернативних методів передачі інформації. Немале значення у вдосконаленні систем передачі інформації мають дослідження модемів з використанням як інформаційної несучої сигналу з розширеним спектром.

Практичну значимість і науковий інтерес отримали розробки автокореляційних систем передачі цифрової інформації з використанням як несучої хаотичних і шумових сигналів.

Постановка проблеми. На виході автокореляційного модулятора сигнал має вигляд [1]

$$x(t) = \xi(t) + \sum_{i=1}^K \alpha_i \xi(t - \tau_i), t = 0; T, \quad (1)$$

де $\alpha_i \in \{-1; +1\}$ – переданий інформаційний символ i -го користувача, що відповідає логічним бінарним сигналам «0» та «1» відповідно; K – кількість користувачів; T – довжина сим-

вольного інтервалу; $\xi(t)$ – опорний шумовий сигнал.

На вхід демодулятора приходить сигнал вигляду

$$y(t) = x(t) + n(t), \quad (2)$$

де $n(t)$ – завада типу білого гауссового шуму, що додається в каналі зв'язку.

В демодуляторі на виході i -го корелятора отримуємо значення сигналу

$$\mathcal{G}_i = \int_0^T y(t) \cdot y(t - \tau_i) dt. \quad (3)$$

Пристрій прийняття рішення по значенню $\mathcal{G}_i$ визначає оцінку сигналу i -го користувача $\hat{\alpha}_i = 1$, якщо сигнал на виході корелятора має додатне значення ($\mathcal{G}_i \geq 0$), інакше $\hat{\alpha}_i = -1$.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші матеріали про системи з шумовими сигналами надані в роботі [3]. Подальші питання удосконалення систем телекомунікацій з використанням шумових сигналів розгля-

далися рядом учених, зокрема, Г. Колумбаном [4], Вай М. Там [5]-[6], Ф. Лай [7].

Дослідження завадостійкості систем автокореляційного типу в більшості випадків проводять з використанням гауссової апроксимації випадкових величин (ВВ). У роботі [2] розглянуто оцінювання завадостійкості такої системи з наявною квадратичною складовою у складі $\mathcal{G}_i$ з апроксимацією її гауссовим розподілом при використанні аналогового принципу обробки входних сигналів. Це дало змогу спростити аналіз, але призвело до втрати точності теоретичної оцінки й ускладнює практичну реалізацію аналогового демодулятора.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У цій роботі проведено аналіз завадостійкості цифрового модема з урахуванням розподілу Хі-квадрат для квадратичної складової сигналів демодулятора, що дає змогу збільшити точність теоретичної оцінки завадостійкості модема.

Мета роботи. Аналіз завадостійкості цифрового модема множинного доступу шумових сигналів з урахуванням впливу квадра-

тичної складової у демодуляторі, коли як складова $\xi(t)$ використовується центрований білий гауссовий шум.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи досягнення мікроелектроніки, розглянемо реалізацію демодулятора з використанням цифрових алгоритмів обробки сигналів. Сигнал $y(t)$, що описаний виразом (2), на виході аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) після квантування в часі з інтервалом Δ можна представити вектором

$$\bar{y} = \bar{\xi}_0 + \sum_{i=1}^K \alpha_i \bar{\xi}_i + \bar{n}_0, \quad (4)$$

де $\bar{\varphi}_i$, $\bar{\varphi}_i \in \{\bar{y}; \bar{\xi}_i; \bar{n}_i\}$ – вектор з N елементами, що представляє проквантовані в часі складові

$$\bar{\varphi}_i = \{\varphi_{i,m}(t_m - \tau_i), \quad i = \overline{0, K}, \quad m = \overline{1, N}\},$$

$$\tau_0 = 0, \quad t_m = m\Delta.$$

Сигнал $\mathcal{G}_i$ на вході порогового пристрою (на виході корелятора) запишемо у вигляді

$$\mathcal{G}_i = \left\langle \bar{\xi}_0 + \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_j + \bar{n}_0, \bar{\xi}_i + \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_{j+i} + \bar{n}_i \right\rangle, \quad (5)$$

де $\langle \bar{v}_j, \bar{s}_{j+i} \rangle = \sum_{m=1}^N v_{j,m} \cdot s_{j+i,m}$ – скалярний добуток векторів $\bar{v}_j$ та $\bar{s}_{j+i}$; $v, s \in \{\xi; n\}$, $\bar{s}_{j+i}$ – вектор, що представляє складову $s(t_m - \tau_j - \tau_i)$.

Розглянемо завадостійкість автокореляційної системи множинного доступу, визначивши залежності ймовірності виникнення помилки P_{BER} при передачі біта, яка залежить як від відношення перевищення сигналу над завадою, так і від кількості відліків символного інтервалу N .

$$\eta_{11} = \langle \bar{\xi}_0, \bar{\xi}_i \rangle = \sum_{m=1}^N \xi_{0,m} \cdot \xi_{i,m};$$

$$\eta_{13} = \langle \bar{\xi}_0, \bar{n}_i \rangle = \sum_{m=1}^N \xi_{0,m} \cdot n_{i,m};$$

$$\eta_{22} = \left\langle \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_j, \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_{j+i} \right\rangle = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{z=1}^K \alpha_z \sum_{m=1}^N \xi_{j,m} \cdot \xi_{z+i,m};$$

$$\eta_{33} = \langle \bar{n}_0, \bar{n}_i \rangle = \sum_{m=1}^N n_{0,m} \cdot n_{i,m}.$$

Виходячи з (5), запишемо

$$\mathcal{G}_i = \sum_{i,j=1}^3 \eta_{ij}, \quad (6)$$

де позначено:

$$\eta_{12} = \left\langle \bar{\xi}_0, \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_{j+i} \right\rangle = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{0,m} \cdot \xi_{j+i,m};$$

$$\eta_{21} = \left\langle \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_j, \bar{\xi}_i \right\rangle = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{j,m} \cdot \xi_{i,m};$$

$$\eta_{23} = \left\langle \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_j, \bar{n}_i \right\rangle = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{j,m} \cdot n_{i,m};$$

$$\eta_{31} = \langle \bar{\xi}_i, \bar{n}_0 \rangle = \sum_{m=1}^N \xi_{i,m} \cdot n_{0,m};$$

$$\eta_{32} = \left\langle \sum_{j=1}^K \alpha_j \cdot \bar{\xi}_{j+i}, \bar{n}_0 \right\rangle = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{j+i,m} \cdot n_{0,m};$$

Для обчислення оцінки завадостійкості модема необхідно знайти значення математичного сподівання та дисперсії випадкової величини $\mathcal{G}_i$. Визначимо значення початкових моментів першого порядку для величини (6). Враховуючи некорельованість відліків $\xi_{j,m}$, знайдемо математичне сподівання скалярного добутку для елемента η_{11}

$$\begin{aligned} m_1(\eta_{11}) &= M \left\{ \sum_{m=1}^N \xi_{0,m} \cdot \xi_{i,m} \right\} = \\ &= \sum_{m=1}^N [M \{ \xi_{0,m} \} \cdot M \{ \xi_{i,m} \}] = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогічним чином, для інших доданків з (6) маємо

$$\begin{aligned} m_1(\eta_{ij}) &= 0, \\ i, j &= \overline{1,3}, \quad i \neq 2 \text{ \& } j \neq 1. \end{aligned} \quad (8)$$

Для величини $m_1(\eta_{21})$ маємо

$$m_1(\eta_{21}) = \alpha_i \cdot \sigma_\xi^2 \cdot N.$$

Додаючи значення моментів першого порядку складових у (6), отримаємо

$$m_1(\mathcal{G}_i) = M \{ \mathcal{G}_i \} = \alpha_i \cdot \sigma_\xi^2 \cdot N, \quad i = \overline{1,K}.$$

Для визначення дисперсії випадкової величини (ВВ) $\mathcal{G}_i$ необхідно обрахувати моменти другого порядку

$$m_2(\mathcal{G}_i) = M \left\{ \sum_{i,j=1}^3 \eta_{ij} \right\}^2,$$

що містять доданки початкових моментів другого порядку від ВВ $\eta_{i,j}$, $i, j = \overline{1,3}$, і змішані моменти (кореляцію) від добутку $\eta_{i,j} \cdot \eta_{n,k}$, $i, j, n, k = \overline{1,3}$, $i, j \neq n, k$.

Враховуючи, що $\xi(t)$ – дельта корельований і центрований випадковий процес, можна записати:

$$M \{ \xi_{i,m} \cdot \xi_{i,x} \} = \sigma_\xi^2 \delta(m-x),$$

де $\delta(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$ – дельта-функція Кронекера.

Застосовуючи формулу для сумісно гауссових та центрованих випадкових величин [8]

$$\begin{aligned} M[\xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4] &= M[\xi_1 \xi_2] M[\xi_3 \xi_4] + \\ &+ M[\xi_1 \xi_3] M[\xi_2 \xi_4] + M[\xi_1 \xi_4] M[\xi_2 \xi_3]; \end{aligned} \quad (9)$$

знайдемо другі початкові моменти доданків:

$$\begin{aligned} m_2(\eta_{11}) &= M \left\{ \left[\sum_{m=1}^N \xi_{0,m} \cdot \xi_{i,m} \right]^2 \right\} = \\ &= \sum_{m=1}^N \sum_{x=1}^N M \{ \xi_{0,m} \cdot \xi_{i,m} \cdot \xi_{0,x} \cdot \xi_{i,x} \} = \\ &= \sum_{m=1}^N \sum_{\substack{x=1 \\ x \neq m}}^N M \{ \xi_{0,m} \cdot \xi_{0,x} \} \sigma_\xi^2 \delta(m-x) + \\ &+ \sum_{m=1}^N [M \{ \xi_{0,m}^2 \} M \{ \xi_{i,m}^2 \}] = \sigma_\xi^4 N. \end{aligned} \quad (10)$$

Відповідно для інших доданків в (6) маємо:

$$m_2(\eta_{12}) = K \cdot \sigma_\xi^4 N; \quad (11)$$

$$m_2(\eta_{22}) = K^2 \sigma_\xi^4 N. \quad (12)$$

$$m_2(\eta_{13}) = m_2(\eta_{31}) = \sigma_\xi^2 \cdot \sigma_n^2 \cdot N; \quad (13)$$

$$m_2(\eta_{23}) = m_2(\eta_{32}) = K \cdot \sigma_\xi^2 \cdot \sigma_n^2 \cdot N. \quad (14)$$

$$m_2(\eta_{33}) = \sigma_n^4 N. \quad (15)$$

$$\text{Складова } \eta_{21}^2 = \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{i,m} \cdot \xi_{j,m} \text{ міс-}$$

тить елементи, які підпорядковуються різним розподілам:

$$\eta_{21}^G = \sum_{j=1, j \neq i}^K \alpha_j \sum_{m=1}^N \xi_{i,m} \cdot \xi_{j,m}, \quad \text{– гауссів при } N \gg 1;$$

$$\eta_{21}^\chi = \alpha_i \sum_{m=1}^N \xi_{i,m}^2 \quad \text{– Хі-квадрат. Відповідно}$$

моменти другого порядку матимуть вигляд:

$$m_2(\eta_{21}^G) = \sigma_\xi^4 N \cdot (K-1); \quad (16)$$

$$m_2(\eta_{21}^\chi) = \sigma_\xi^4 N^2 + 2\sigma_\xi^4 N. \quad (17)$$

Значення математичного сподівання від подвоєних добутків дорівнюють нулю:

$$m_1(\eta_{i,j} \cdot \eta_{n,k}) = 0, \quad i, j, n, k = \overline{1,3}, \quad i, j \neq n, k.$$

Складові виразу (6), за винятком η_{21} , мають розподіл, який при значеннях $N \gg 1$ наближається до гауссового. Доданок η_{21} містить складову, яка має розподіл χ^2 (Хі-квадрат) з N ступенями свободи [9]. Вплив цієї складової при гауссовій апроксимації інших складових на завадостійкість модема є

задачею цього аналізу. Для цього доданки, отримані у формулах (10)–(17), запишемо роздільно відповідно до розподілів, якими вони апроксимуються:

$$m_2^{g_i(G)} = \sigma_\xi^4 N(1 + K + (K - 1) + K^2) + 2\sigma_\xi^2 \cdot \sigma_n^2 \cdot N(1 + K) + \sigma_n^4 N;$$

$$m_2^{g_i(\chi)} = \sigma_\xi^4 N^2 + 2\sigma_\xi^4 N = \sigma_\xi^4 (N^2 + 2N);$$

Визначимо дисперсії ВВ $g_i^{<r>}$, $r \in \{G, \chi\}$,

$$D_{<G>}^{g_i} = m_2^{g_i} - (m_1^{g_i})^2 = N[\sigma_\xi^4(2K + K^2) + 2\sigma_\xi^2 \cdot \sigma_n^2 \cdot (1 + K) + \sigma_n^4]; \quad (18)$$

$$D_{<\chi>}^{g_i} = m_2^{g_i} - (m_1^{g_i})^2 =$$

$$\sigma_\xi^4(N^2 + 2N) - \alpha_i^2 \cdot \sigma_\xi^4 \cdot N^2 = 2\sigma_\xi^4 N;$$

Таким чином, величина $\mathfrak{D}$ як сума незалежних ВВ з гауссовим та χ^2 розподілом має розподіл, що визначений згортою розподілів, і її щільність імовірності дорівнює [10]:

$$\begin{aligned} \omega_{g_i^{<G>} + g_i^{<\chi>}}(y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \omega_{g_i^{<G>}}(\alpha y - x) \omega_{g_i^{<\chi>}}(x) dx = \int_0^{\infty} \omega_{g_i^{<G>}}(\alpha y - x) \omega_{g_i^{<\chi>}}(x) dx = \\ &= \frac{\int_0^{\infty} x^{N/2-1} \exp[-x/(2\sigma_\xi^2) - (\alpha y - x)^2/(2D_{<G>})] dx}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi D_{<G>}} (2\sigma_\xi^2)^N}. \end{aligned}$$

де $\Gamma(v) = \int_0^{\infty} x^{v-1} e^{-x} dx$ – гамма-функція.

Ймовірність помилки P_{ber} демодулятором при рівноймовірній апріорній передачі бінарних посиліток буде визначена із виразу

$$P_{\text{ber}} = \int_{-\infty}^0 \omega_{g_{1(G)} + g_{2(\chi)}}(y) dy = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_0^{\infty} x^{N/2-1} \exp[-\frac{x}{2\sigma_\xi^2} - \frac{(y-x)^2}{2D_{<G>}}] dx dy}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi D_{<G>}} (2\sigma_\xi^2)^N}. \quad (19)$$

Для розрахунків завадостійкості демодулятора по (19) доцільно виділити параметр h^2 – перевищення сигнал/шум

$$h^2 = \frac{E_b}{N_0},$$

де E_b – енергія сигнальної складової інформаційного біта;

$N_0 = 2\sigma_n^2$ – одностороння спектральна щільність потужності завади.

Енергія переданого сигналу системи дорівнює

$$E = (K + 1)\sigma_\xi^2 N.$$

Для того щоб визначити ймовірність помилки i -го користувача, у виразі h^2 слід взяти лише частину загальної енергії,

що рівномірно розподілена між K користувачами:

$$E_b = (1 + 1/K)\sigma_\xi^2 N$$

тому

$$h^2 = \frac{E_b}{N_0} = \frac{(1 + 1/K)\sigma_\xi^2 N}{2\sigma_n^2}.$$

$$\sigma_\xi^2 = \frac{h^2 \cdot 2\sigma_n^2}{(1 + 1/K)N}. \quad (20)$$

В рівнянні (20) приймемо $\sigma_n^2 = 1$, тоді

$$\sigma_\xi^2 = \frac{2 \cdot h^2}{(1 + 1/K)N} = Ah^2,$$

де позначено $A = \frac{2}{(1 + 1/K)N}$.

Таким чином, (19) набуде вигляду

$$P_{\text{ber}} = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_0^{\infty} x^{N/2-1} \exp\left[-\frac{x}{2Ah^2} - \frac{(y-x)^2}{2N[A^2h^4(2K+K^2) + 2Ah^2 \cdot (1+K) + 1]}\right] dx dy}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi \cdot N[A^2h^4(2K+K^2) + 2Ah^2 \cdot (1+K) + 1]} \cdot (2Ah^2)^N}. \quad (21)$$

На графіку (рисунок 1) представлено розрахунки по (21) ймовірності виникнення помилки P_{BER} від відношення сигнал/завада h^2 при різній кількості користувачів та сталій кількості відліків ($N=100$).

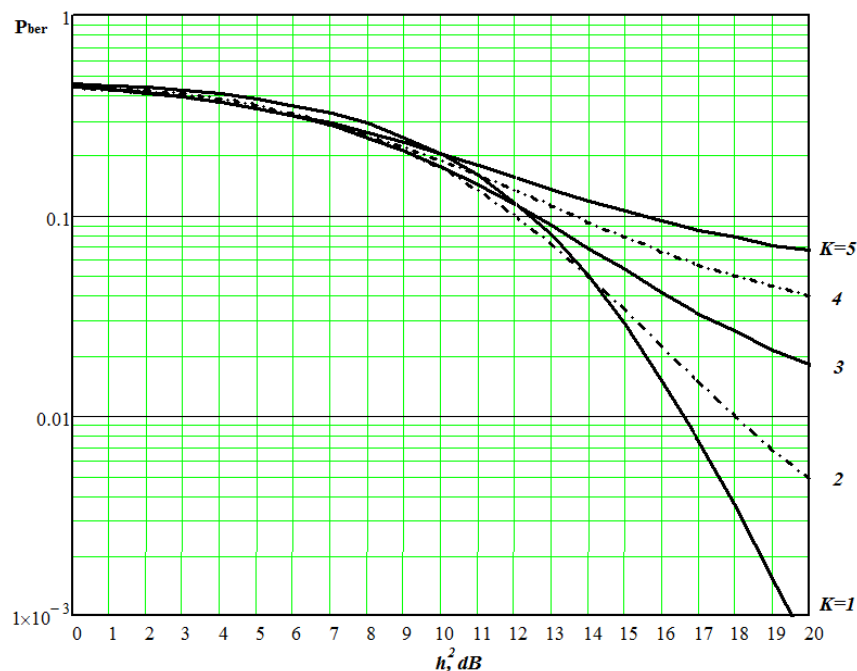


Рисунок 1 – Залежність ймовірності виникнення помилки P_{BER} від відношення сигнал/завада h^2 при різній кількості користувачів

На рисунку 2 представлено результати імітаційного моделювання модема при різній кількості користувачів та сталій кількості відліків $N=100$.

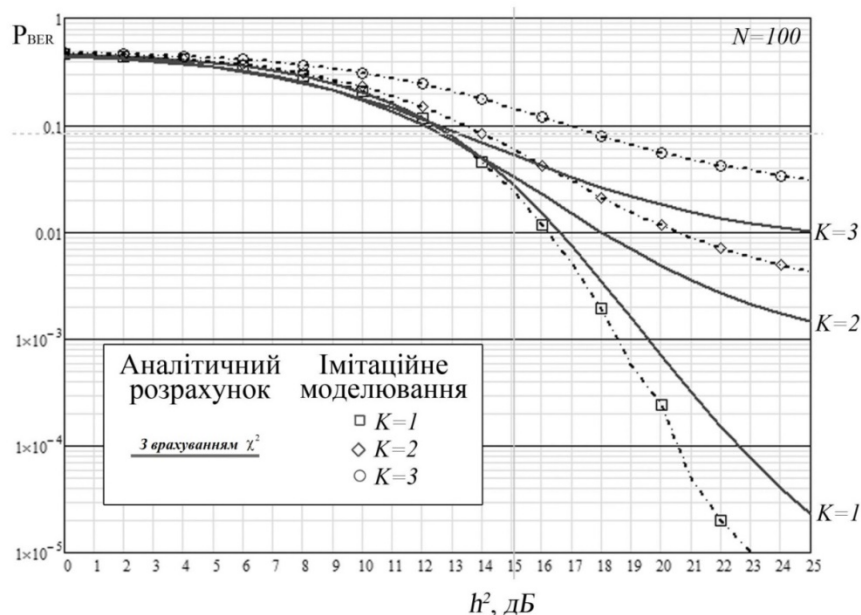


Рисунок 2 – Залежність ймовірності виникнення помилки P_{BER} від відношення сигнал/завада h^2 з результатами імітаційного моделювання

На рисунку 3 наведено залежність ймовірності помилки від кількості відліків інформаційного символу N при сталому відношенні сигнал/завада h^2 .

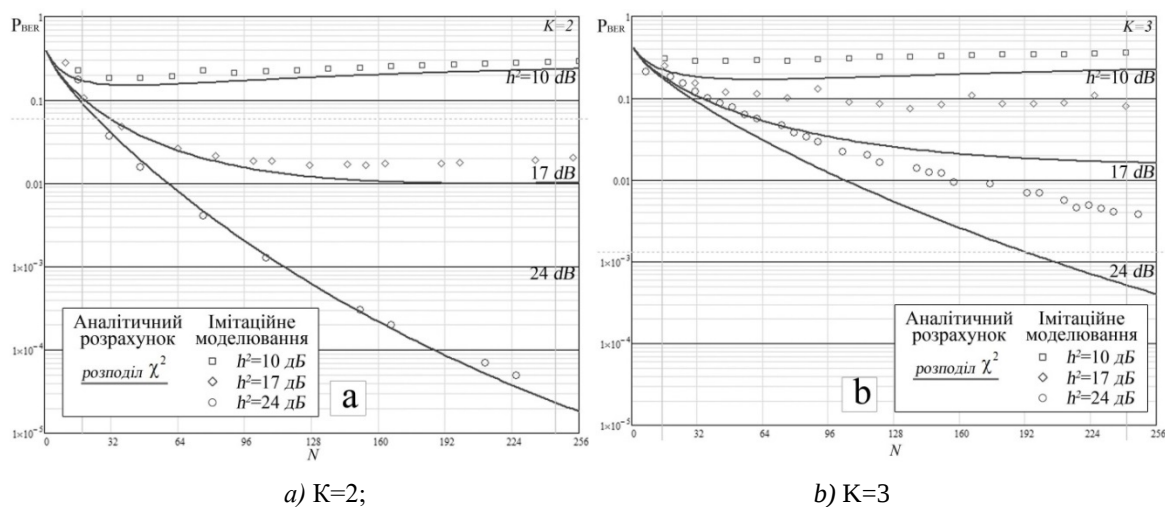


Рисунок 3 – Залежність ймовірності виникнення помилки P_{BER} від N відліків при сталих значеннях відношення сигнал/завада h^2 та кількості користувачів

У наведених залежностях (рисунку 3) можна визначити екстремум типу мінімуму. При збільшенні перевищення h^2 екстремальне значення величини N збільшується. Аналізуючи отримані дані (рисунку 3),

отримаємо оптимальне значення кількості відліків для заданого відношення сигнал/завада h^2 за допомогою використання методу експоненціальної регресії:

$$N_{opt} = e^{a+b \cdot h^2};$$

$$\text{де } b = \frac{n \cdot \sum_{k=1}^K h_k^2 \cdot \ln(N_k) - \sum_{k=1}^K h_k^2 \sum_{k=1}^K \ln(N_k)}{n \cdot \sum_{k=1}^K (h_k^2)^2 - \left(\sum_{k=1}^K h_k^2 \right)^2}; \quad a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^K \ln(N_k) - \frac{b}{n} \sum_{k=1}^K h_k^2.$$

У таблиці 1 наведено значення обрахованих параметрів для різної кількості користувачів системи.

Таблиця 1 – Параметри експоненціальної регресії для K користувачів

Кількість користувачів	Параметри	
K	a	b
1	0,761	0,232
2	1,489	0,227
3	1,78	0,233
4	2,117	0,229

На рисунку 4 представлено експоненціальну залежність оптимальної кількості (N) відліків від рівня сигнал-завада при різній кількості користувачів.

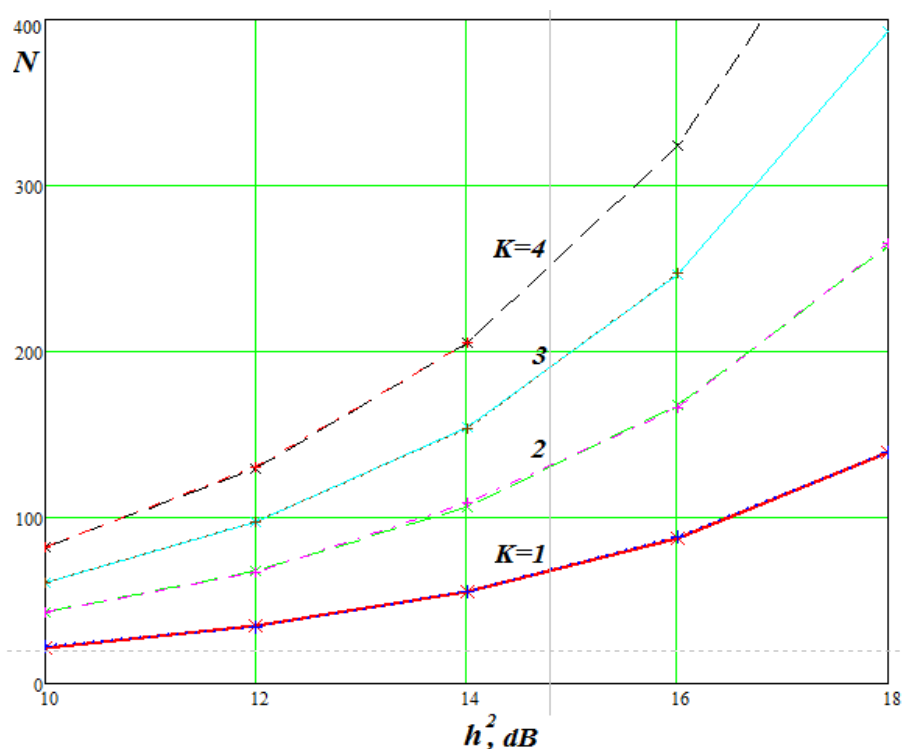


Рисунок 4 – Залежність оптимальної кількості відліків інформаційного біта, N від значення відношення сигнал/завада h^2 при різній кількості користувачів, K

Висновки. Проведений аналіз завадостійкості модема множинного доступу актуальний тим, що у формулі розрахунку завадостійкості враховано вплив квадратичної складової цифрового демодулятора. Це дає змогу наблизити теоретичні результати до даних імітаційної моделі. Існуюча різниця між даними моделі і теоретичними результатами пояснюється точним описом закону розподілу лише квадратичної складової з апроксимацією гауссовим законом розподілу інших складових демодулятора. Уточнення теоретичної оцінки з урахування наявних розподілів інших складових є наступною задачею аналізу.

Виявлено екстремум у залежності завадостійкості модема від кількості відліків цифрового сигналу демодулятора. Отримано вираз для обчислення екстремального значення в залежності від відношення сигнал/шум при різній кількості користувачів.

Список літератури

[1] Ю. Г. Лега, С. М. Первунінський, та С. С. Гузнін, "Дослідження завадостійкості М-позиційного автокореляційного приймача шумових сигналів в каналі з адитивним білим гаусовим шумом", *Вісник Національного університету*

"Львівська політехніка". *Радіoeлектроніка та телекомунікації*, № 645, с. 167-176, 2009.

- [2] П. Д. Журавель, "Організація множинного доступу в системах передачі даних шумовими сигналами із використанням ортогоналізації сигналів передавача", *Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 4, вип. 2, с. 15-19, 2013.
- [3] А. А. Харкевич, "Передача сигналов модулированным шумом", *Электросвязь*, № 11, с. 42-46, 1957.
- [4] G. Kolumban et al., "The role of synchronization in digital communications using chaos. Part I: fundamentals of digital communications", *IEEE transactions on circuits and systems I*, vol. 44, no. 10, pp. 927-936, 1997.
- [5] W. M. Tam, F. Lau, and C. Tse, *Digital communication with chaos*. N.Y.: Elsevier, 2006.
- [6] W. M. Tam, F. C. M. Lau, and C. K. Tse, "Generalized correlation-delay-shift-keying scheme for noncoherent chaos-based communication systems", *IEEE transactions on circuits and systems I*, vol. 53, no. 3, pp. 712-721, 2006.

- [7] F. C. M. Lau, M. M. Yip, C. K. Tse, and S. F. Hau, "A multiple access technique for differential chaos shift keying", *IEEE Transactions on Circuit systems I*, vol. 49, no. 1, pp. 96-104, 2002.
- [8] В. И. Тихонов, *Статистическая радиотехника*. Москва: Radio and communication, 1982.
- [9] Р. Н. Вадзинский, *Справочник по вероятностным распределениям*. Санкт-Петербург: Наука, 2001.
- [10] С. М. Первунінський, та В. В. Олексюк, "Аналіз бінарного цифрового модема шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової демодулятора", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 1, с. 35-40, 2018 (Технічні науки).
- [3] A. A. Kharkevich, "Signal transmission by modulated noise", *Elektrosviaz*, no. 11, pp. 42-46, 1957 [in Russian].
- [4] G. Kolumban et al., "The role of synchronization in digital communications using chaos. Part I: fundamentals of digital communications", *IEEE transactions on circuits and systems I*, vol. 44, no. 10, pp. 927-936, 1997.
- [5] W. M. Tam, F. Lau, and C. Tse, *Digital communication with chaos*. N.Y.: Elsevier, 2006.
- [6] W. M. Tam, F. C. M. Lau, and C. K. Tse, "Generalized correlation-delay-shift-keying scheme for noncoherent chaos-based communication systems", *IEEE transactions on circuits and systems I*, vol. 53, no. 3, pp. 712-721, 2006.
- [7] F. C. M. Lau, M. M. Yip, C. K. Tse, and S. F. Hau, "A multiple access technique for differential chaos shift keying", *IEEE Transactions on Circuit systems I*, vol. 49, no. 1, pp. 96-104, 2002.
- [8] V. I. Tihonov, *Statistical radio engineering*. Moscow: Radio i sviaz, 1982 [in Russian].
- [9] R. N. Vadzinskij, *Handbook on probabilistic distributions*. St. Petersburg: Nauka, 2001 [in Russian].
- [10] S. M. Pervuninsky, and V. V. Oleksjuk, "Analysis of binary digital modem of noise signals taking into account the effect of demodulator quadratic component", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 1, pp. 35-40, 2018 [in Ukrainian].

References

- [1] Yu. G. Lega, S. M. Pervuninsky, and S. S. Ghuznin, "Investigation of the noise immunity of M-position auto-correlation receiver of noise signals in the channel with additive white Gaussian noise", *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika"*. *Radioelektronika ta telekomunikatsii*, no. 645, pp. 167-176, 2009 [in Ukrainian].
- [2] P. D. Zhuravel, "Organization of multiple access in data transmission systems by noise signals using orthogonalization of transmitter signals", *Naukovyi visnyk Chernivets'koho natsionalnoho universytetu im. Yu. Fedkovycha. Seriya: Kompiuterni sys-*

S. M. Pervuninsky, Dr. Tech. Sc., professor,
e-mail: cherkpervun@rambler.ru

V. V. Oleksjuk, postgraduate student,
e-mail: vadim.oleksuk@gmail.com

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

NOISE IMMUNITY OF THE MODEM OF NOISE SIGNALS MULTIPLE ACCESS TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF QUADRATIC COMPONENT

The current state of the development of the elemental base of radio systems stimulates both the improvement of the characteristics of existing traditional systems and the study of alternative methods of information transmission. The research of modems with the use of a signal with an extended spectrum as an information carrier is of great importance in improving the information transmission systems.

The issue of improving the modems with noise signals involves an increase in the accuracy of theoretical analysis of noise immunity of the proposed methods of demodulating the signal information components. The demodulator, for which the analysis is carried out, is characterized by the fact that in the functional for the evaluation of the received information bit there are components with different probability distribution laws. The consideration of the quadratic component influence on the noise immunity of the modem of multiple access in the analysis is performed for the first time. The article investigates the noise immunity of the modem of multiple access, which uses noise Gaussian signals as a carrier. The analytical expressions for calculating the noise immunity of the modem, when every user of the system uses a binary digital demodulator of transmitted signal, are obtained. The noise immunity of the modem of multiple access is analyzed taking into account the influence of input components of the signal, which are approximated by Gaussian and Chi-squared laws of probability distribution. Theoretical estimations of the noise immunity of the digital modem of multiple access, checked on the simulation model, are obtained. Theoretical results of the analysis have allowed to determine the dependence of the noise immunity of the digital demodulator on the amount of input signal readings at the clock interval. The optimum values of the amount of input signal readings, depending on the number of users of the system and the excess of the signal over the interference in the additive Gaussian communication channel are established.

Keywords: autocorrelation communication system, multiple accesses, noise signal, quadratic component, noise immunity.

УДК 004.94: 005.2: 005.4: 005.93

С. Д. Бушуєв, д.т.н., професор, завідувач кафедри управління проектами,
e-mail: sbushuyev@ukr.net

А. В. Пузійчук, аспірант,
e-mail: a.puziichul2018@meta.ua

Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ПРОЕКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ДЛЯ ЦІННІСНО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ РЕІНЖІНІРИНГУ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПАНІЙ

Підкреслено значення будівельної галузі для розвитку економіки. Визначено важливість проектів реінжинірингу для забезпечення конкурентоспроможності будівельних компаній. Проведено аналіз літературних джерел за трьома напрямками: стандарти і дослідження у галузі управління проектами і програмами; ціннісний підхід; проекти реінжинірингу процесів управління. Запропоновано триадний підхід «проектність–цінність–реінжиніринг». Виділено напрями розробки кожного з елементів триадного підходу «проектність–цінність–реінжиніринг» для будівельних компаній. У першому елементі – це інтеграція через Agile, у другому – життєвий цикл цінностей, у третьому – пелюстковий реінжиніринг. Запропоновано кроки методу «пелюсткового реінжинірингу», проведено SWOT-аналіз методу. Зроблено висновки щодо збільшення гнучкості системи управління будівельними компаніями завдяки впровадженню методу «пелюсткового реінжинірингу». Окреслено перспективи подальших досліджень в обраному напрямі.

Ключові слова: управління проектами, ціннісний підхід, реінжиніринг, пелюстковий реінжиніринг.

Вступ. Будівельна галузь є одним із локомотивів розвитку економіки. Успіх і розквіт будівельної галузі створює передумови успіху і розквіту економічної системи країни. Отже, будівельні компанії і підприємства мають відповідати сучасним вимогам ринку з точки зору застосовуваних ними як будівельних, так і управлінських технологій. Водночас не усі підприємства будівельної галузі використовують передові технології, багато з них і нині застосовують застарілі рішення (особливо у сфері управління), користуючись інертністю ринку. Однак така парадигма не забезпечує довготривалого успіху на ринку, а навпаки, призводить до повільного занепаду.

У таких умовах актуальності набувають проекти реінжинірингу – покращення управлінських і технологічних процесів на основі використання відповідних моделей і методів, а також найкращого досвіду. За допомогою реінжинірингу підприємства будівельної галузі зможуть за відносно короткий час привести свою систему управління до вимог сучасності, забезпечити свою конкурентоспроможність і закласти фундамент до постійного розвитку процесів. Це, у свою чергу, зробить систему

управління більш ефективною, гнучкою, здатною до самовдосконалення.

Оскільки трансформація процесів управління відбувається в межах відповідного проекту, актуальною виявляється розробка моделей і методів реалізації таких проектів. З урахуванням додавання у проекти реінжинірингу ціннісної складової, такі моделі і методи можуть містити елементи наукової новизни.

Аналіз останніх досліджень. Головний тренд у розвитку управління проектами і програмами визначається стандартом РМВОК, остання на цей час редакція якого [1] дає чіткі уявлення про спектр моделей, методів, принципів, інструментів і засобів для використання при управлінні проектами. Однак, на жаль, у відповідному стандарті не відбито будівельну специфіку. Це було зроблено понад десять років тому, коли вийшла спеціальна редакція РМВОК для будівельних проектів (Construction Extension). Ціннісний вимір привнесений у проектний менеджмент японським стандартом Р2М [2], але у цьому стандарті наведено лише основи ціннісного підходу. Найкращі практики до використання в проектах зібрано у стандарті Р3М3 [3] компанії Axelos, яка нині займається підтримкою та розвитком вже тра-

диційного для проектного менеджменту стандарту PRINCE2. Однак у цих практиках спостерігається акцент на IT-проекти. З другого боку, в IT-сфері народилася методологія гнучкого управління Agile [4], яка нині активно використовується в проектній діяльності і за межами сфери IT. І якщо питання щодо її використання в будівельних проектах є дискусійним, то застосування її в проектах реінжинірингу є достатньо доречним. Питанням розвитку методології управління проектами займаються українські вчені С. Д. Бушуєв [5, 6], В. А. Рач [7], Ю. М. Тесля [8, 9] та інші. Однак питання ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних підприємств вони не розглядали. Ціннісний підхід розвивається в роботах українських і зарубіжних вчених [10–12], однак його теж майже не застосовують до будівельної сфери. З другого боку, багато досліджень [13–15] присвячено розробці моделей і методів реінжинірингу, при чому викладаються як універсальні підходи [13], так і прикладні у застосуванні до певних галузей [14, 15], зокрема до будівельної [15]. Проте в цих дослідженнях не розглядається проблематика розробки моделей і методів ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних підприємств і компаній, що обумовлює актуальність обраної тематики.

Метою статті є формулювання концептуальної основи подальшого розвитку моделей і методів проектного менеджменту для ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній.

Виклад основного матеріалу. Для цілей ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній можна сформувати комбінований підхід, який поєднує три підходи: підхід проектно орієнтованості організацій (компаній), ціннісний підхід і підходи до реінжинірингу. Назвемо новий підхід тріадним підходом «проектність–цінність–реінжиніринг». В руслі кожної складової цього підходу окреслимо напрями досліджень для його створення, базуючись на виділенні не вирішених раніше частин проблеми у попередніх дослідженнях в межах кожного складового підходу.

Система управління проектом реінжинірингу має вбирати в себе моделі і методи кожної складової. Концептуальною основою для розробки моделей і методів ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній може бути ви-

ділення напрямів розробки кожного з елементів тріадного підходу «проектність–цінність–реінжиніринг» (рисунк 1).

У першому елементі «*стандарти з управління проектами*» недостатньо дослідженим є поєднання однієї з галузей знань стандарту PMBOK «управління інтеграцією в проекті» з гнучкою методологією Agile. Виникає напрям дослідження «інтеграція через Agile» (див. рисунок 1), розробка моделей і методів для якого в системі управління проектами реінжинірингу має базуватися на такому:

- розробка повного переліку вимог до продукту проекту реінжинірингу (product backlog) на початку проекту;
- ітераційна організація виконання проекту (через виконання короткотермінових спринтів – sprint);
- проведення огляду поточного спринту після його завершення і планування наступного на спеціальних нарадах команди проекту (retrospectives);

- проведення інтеграції усіх процесів управління проектом (управління часом, вартістю, якістю тощо) на таких нарадах.

При цьому останнє вимагає використання методу інтеграції, що має бути розроблений, на основі попередньо обґрунтованих чи створених моделей.

В другому елементі тріадного підходу «*ціннісно-орієнтоване управління проектами*» як перспективний можна окреслити напрям досліджень моделей і методів щодо життєвого циклу цінностей (див. рисунок 1).

На базі визначеної у стандарті з управління проектами і програмами для інноваційних підприємств P2M [2] структури цінностей (цінності активу, цінності інновацій, цінності володіння для зацікавлених сторін, цінності інтелектуального активу) і з урахуванням специфіки будівельних компаній подальші дослідження можуть включати:

- категоризацію цінностей будівельних компаній, створення системи класифікації таких цінностей;
- розробку методу вибору пріоритетних цінностей для будівельної компанії з точки зору системи управлінських і технологічних процесів;
- категоризацію переліку цінностей, обраного за попереднім методом, з метою визначення підпроектів проекту реінжинірингу;
- визначення цільової динаміки цінностей за результатами проведення реінжи-

нірингу, яка б включала балансування майбутніх інтересів зацікавлених сторін;

- формулювання місії, цілей і задач проекту реінжинірингу будівельної компанії.



Рисунок 1 – Напрями розробки моделей і методів у проекті реінжинірингу

В третьому елементі описуваного підходу «*моделі і методи проектів реінжинірингу*» перспективним напрямом досліджень вбачається створення методу «пелюсткового реінжинірингу» (див. рисунок 1). Опишемо концепцію цього методу.

Оскільки предметом проекту реінжинірингу є процеси, що потребують вдосконалення, вхідним інформаційним потоком для системи управління проектом буде цільовий перелік процесів. Внаслідок того, що у другому елементі тріадного підходу визначені категорії цінностей будівельної компанії, згідно з такими категоріями будуть формуватися групи процесів, реінжиніринг яких буде становити зміст проекту.

Сутність пелюсткового реінжинірингу може бути визначена таким чином. Життєвий цикл проекту реінжинірингу має певні фази. За класичною методологією PMBOK [1] таких фаз має бути чотири (ініціалізація, планування, реалізація, завершення), хоча кожне підприємство може для своїх потреб визначати іншу кількість і наповнення фаз проекту. Для

проектів реінжинірингу життєвий цикл потребує подальшої розробки.

Представимо метод «пелюсткового реінжинірингу» таким, що складається з наступних етапів:

- визначення цільових параметрів проекту;
- аналіз діяльності підприємства, визначення проблемних місць (дублювання функцій і відсутніх функцій);
- визначення груп процесів для інжинірингу (на основі поєднання результатів аналізу проблемних місць і ціннісного аналізу);
- категоризація процесів за складністю всередині груп процесів;
- визначення «пелюсток» – переліку процесів з кожної групи процесів за параметром складності;
- початок життєвого циклу реінжинірингу для першої «пелюстки» – переліку найпростіших процесів;
- завершення першої фази реінжинірингу для першої «пелюстки» процесів, перехід на наступну фазу для цієї «пелюстки», початок першої фази реінжинірингу для другої

«пелюстки» процесів (наступна за складністю група процесів);

- послідовне виконання реінжинірингу «пелюсток» процесів із запізненням кожної наступної на одну фазу – до повного завершення реінжинірингу усіх процесів – від найпростіших до найскладніших;

- підведення підсумків проекту реінжинірингу, винесення уроків, корекція моделей і методів реінжинірингу, впровадження постійного моніторингу процесів з метою, у тому числі, визначення необхідності ініціювання наступного проекту реінжинірингу.

Проведемо SWOT-аналіз запропонованого методу.

Сильними сторонами (S – strength) методу «пелюсткового реінжинірингу» є можливість урахування при вдосконаленні процесів більшої складності помилок і неточностей, які виявилися під час аналогічної фази процесів меншої складності.

Слабкими сторонами (W – weakness) методу є висока залежність змісту проекту (а отже, і висока ймовірність помилок в залежності) від визначення цільових груп процесів, яке відбувається на перших фазах проекту, причому прийняття рішення щодо цього ґрунтується на суб'єктивних оцінках.

Можливостями (O – opportunities) методу є створення ним підґрунтя до вимірності процесного управління в будівельній компанії, що дає змогу проактивно передбачати необхідність впровадження чергового проекту реінжинірингу.

Загрозами (T – threats) для методу є типовий для усіх проектів впровадження змін в компаніях спротив середньої ланки менеджменту. Для будівельних компаній ця загроза є ще більш актуальною, з огляду на середній вік фахівців середньої ланки та їх невисоку управлінську гнучкість.

Впровадження зазначеного методу в будівельних компаніях вимагає врахування специфіки будівельної галузі, зокрема, у частині:

- базової моделі процесів, яка, залежно від профілю будівельного підприємства, може включати: землевідведення, проектування, виробництво будівельних матеріалів і конструкцій, будівельну логістику, будівництво, управління фінансовими інструментами у будівельній галузі тощо;

- організаційної структури підприємства, яка, на відміну від більшості організаційних структур, як правило, є дивізіональною;

- рівня автоматизації управлінської діяльності (як правило, низького) й інтегрованості використовуваних ІТ-інструментів тощо.

Загалом, використання тріадного підходу «проектність–цінність–реінжиніринг» при плануванні і реалізації проектів реінжинірингу будівельних компаній дасть останнім змогу вдосконалити і осучаснити систему управління, що, у свою чергу, стане запорукою їх конкурентоспроможності.

Висновки. У статті визначено концептуальну основу подальшого розвитку моделей і методів проектного менеджменту для ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній у вигляді тріадного підходу «проектність–цінність–реінжиніринг». Синергетичне поєднання моделей і методів кожного з елементів підходу, розробка нових моделей і методів для проектів реінжинірингу будівельних підприємств в межах цього підходу сприятиме вдосконаленню системи управління будівельними підприємствами (компаніями), підвищенню її ефективності. А це, в свою чергу, забезпечить можливість швидкого осучаснення менеджменту будівельної галузі і стане основою для його перманентного розвитку, що, з огляду на ключову роль будівництва, позитивно вплине на розвиток економіки країни в цілому.

Подальші розвідки у цьому напрямі можуть бути присвячені формалізації визначених у статті моделей і методів, тобто створенню методичного підґрунтя для ефективної реалізації ціннісно-орієнтованого управління проектами реінжинірингу будівельних компаній і підприємств.

Список літератури

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] *Руководство по управлению инновационными проектами и программами*, т. 1, версия 1.2, пер. на рус. язык под ред. С. Д. Бушуева. Київ: Наук. світ, 2009.
- [3] OGC (Office of Government Commerce). Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model (P3M3). [Online]. Available: <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/p3m3>
- [4] *Agile Practice Guide*. USA: Project Management Institute, 2017.
- [5] С. Д. Бушуев, и Н. С. Бушуева, "Современные подходы к развитию методоло-

- гий управління проектами", *Управління проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. праць, № 1 (13), с. 5-19, Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005.
- [6] С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва, та Д. І. Шороп, "Проектний офіс як методологія мультипроектного управління", *Управління проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. праць, № 1 (9), с. 24-31, Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004.
- [7] В. А. Рач, "Управление проектами в контексте мировых тенденций развития науки", в *X Міжнар. конф. Управління проектами у розвитку суспільства*: тези доп. Тема: *Управління проектами та програмами в умовах глобалізації світової економіки*. Київ, 2013, с. 207-208.
- [8] Ю. Н. Тесля, и А. А. Белошицкий, "Расширяющаяся Вселенная проектов", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 4, с. 67-71, 2011.
- [9] Ю. М. Тесля, І. І. Оберемок, та О. Г. Тімінський, "Моделі і методи впровадження корпоративної системи управління проектами в деєлопменті", *Управління проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. праць, № 1 (29), с. 28-35, 2009.
- [10] С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва, и Р. Ф. Ярошенко, "Модель гармонизации ценностей программ развития организаций в условиях турбулентности окружения", *Управління розвитком складних систем*, вип. 10, с. 9-13, 2012.
- [11] О. М. Медведєва, "Ціннісно-орієнтоване управління взаємодією в проектах: методологічні основи", автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.22, Київ, 2013.
- [12] T. Gillier, S. Hooge, and G. Piat, "Framing value management for creative projects: an expansive perspective", *International Journal of Project Management*, vol. 33, iss. 4, pp. 947-960, 2005.
- [13] M. Hammer, and J. Champy, *Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution*. New York: Harper Business, 1993.
- [14] С. В. Цюцюра, "Проектна реалізація стратегії управління підприємствами реінжинірингу енергоємних галузей", *Управління проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. праць, № 2 (18), с. 110-114, Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006.
- [15] Д. А. Монова, "Управління змістом та ризиками в проектах реінжинірингу будівельних споруд", автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.22 – Управління проектами та програмами, Одес. нац. політехн. ун-т, Одеса, 2017.

References

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] S. D. Bushuyev (ed.), *Innovative project and program management guide*, vol. 1, version 1.2. Kyiv: Nauk. svit, 2009 [in Russian].
- [3] OGC (Office of Government Commerce). Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model (P3M3). [Online]. Available: <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/p3m3>
- [4] *Agile Practice Guide*. USA: Project Management Institute, 2017.
- [5] S. D. Bushuyev, and N. S. Bushuyeva, "Modern approaches to the development of the project management methodologies", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*: coll. of sci. papers, no. 1 (13), pp. 5-19, Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2005 [in Russian].
- [6] S. D. Bushuev, N. S. Bushueva, and D. I. Shorop, "Project office as a methodology of multi-project management", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*: coll. of sci. papers, no. 1 (9), pp. 24-31, Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2004 [in Ukrainian].
- [7] V. A. Rach, "Project management in the context of the world trends in the development of science", in *Proc. Xth Internat. Conf. Project Management in the Development of Society. Subject: Program and Project Management in a Globalizing World Economy*. Kyiv, 2013, pp. 207-208 [in Russian].
- [8] Yu. N. Teslya, and A. A. Beloshchytskiy, "Expanding universe of projects", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 4, pp. 67-71, 2011 [in Russian].
- [9] Y. N. Teslya, I. I. Oberemok, and O. G. Timinsky, "Models and methods of implementation of corporate project management system in development", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*: coll. of sci. papers, no. 1 (29), pp. 28-35, 2009 [in Ukrainian].

- [10] S. D. Bushuyev, N. S. Bushuyeva, and R. F. Yaroshenko, "The model of harmonization of values of organizations development programs in the conditions of environment turbulence", *Upravlinnya rozvytkom skladnyh system*, iss. 10, pp. 9-13, 2012 [in Russian].
- [11] O. M. Medvedeva, "Value-oriented management by interaction in projects: methodological foundations", author's abstract of D.S. thesis: 05.13.22, Kyiv, 2013 [in Ukrainian].
- [12] T. Gillier, S. Hooge, and G. Piat, "Framing value management for creative projects: an expansive perspective", *International Journal of Project Management*, vol. 33, iss. 4, pp. 947-960, 2005.
- [13] M. Hammer, and J. Champy, *Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution*. New York: Harper Business, 1993.
- [14] S. V. Tsutsura, "The project realization of the strategy of management by re-engineering enterprises of energy-capacious branches", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva*: coll. of sci. papers, no. 2 (18), pp. 110-114, Lugans'k: SNU im. V. Dalja, 2006 [in Ukrainian].
- [15] D. A. Monova, "Management by the content and risks in the projects of building constructions reengineering", author's abstract of M.S. thesis: 05.13.22, Odesa, 2017 [in Ukrainian].

S. D. Bushuyev, Dr. Sc., professor, head of project management department,
e-mail: sbushuyev@ukr.net

A. V. Puziichuk, postgraduate,
e-mail: a.puziichuk2018@meta.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Povitroflotskyi ave., 31, Kyiv, 03037, Ukraine

FURTHER DEVELOPMENT OF PROJECT MANAGEMENT MODELS AND METHODS FOR VALUE-ORIENTED MANAGEMENT BY THE PROJECTS OF CONSTRUCTION COMPANIES REENGINEERING

Construction industry becomes very important for economic development. The importance of reengineering projects for ensuring the competitiveness of construction companies is determined. The analysis of literary sources according to three directions – standards and research in the field of project and program management; value approach; projects of management processes reengineering – is made. The triad approach "project-value-reengineering" is offered. The directions for the development of each of the elements of the "project-value-reengineering" approach for construction companies are highlighted. In the first element, this is integration through Agile, in the second one it is a life cycle of values, in the third one – petal reengineering. The steps of the "petal reengineering" method are proposed, SWOT-analysis of the method has been carried out. The conclusion concerning the increase of the flexibility of the system of construction companies management by introducing the method of "petal reengineering" is made. Prospects for further research in the chosen direction are outlined. Based on Japanese standard P2M, the structure of values includes asset values, values of innovation, ownership values for stakeholders, and intellectual property values. Taking into account the specifics of construction companies, further studies can include categorization of values of construction companies, creation of a classification system for such values, development of the method of choosing the priority values for a construction company in terms of the system of management and technological processes, categorization of the list of values selected by the previous method, in order to identify subprojects of the reengineering project, definition of target dynamics of values by the results of reengineering, which would include balancing of future interests of interested parties, formulation of mission, goals and objectives of the project of construction company reengineering.

Keywords: project management, value approach, reengineering, petal reengineering.

Д. Ф. Сепеда Гуаман
e-mail: ferchoevol2@hotmail.com
Університет «КРОК»,
вул. Табірна, 30-32, м. Київ, Україна,

МАТРИЦЯ РИЗИКІВ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ У СФЕРІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАКІВ

У статті проаналізовано фактори зовнішнього середовища за допомогою PEST-аналізу, який модифіковано за рахунок включення додаткових факторів, таких як правові, екологічні та поведінкові. Автором запропоновано нову модель з урахуванням факторів зовнішнього середовища, які у подальшому можуть стати джерелами ризиків, що впливають на стейкхолдерів організаційного проекту у сфері обслуговування літаків. Застосування цієї моделі дасть змогу у подальшому знизити негативний вплив стейкхолдерів на реалізацію організаційного проекту у сфері обслуговування літаків.

Ключові слова: проектний підхід, стейкхолдери проекту, ризики проекту, матриця, організаційний проект у сфері обслуговування літаків.

Вступ. Сучасний стан розвитку та впровадження методології управління проектами у світі тісно пов'язаний із зацікавленими сторонами проекту, що можуть мати дуже серйозний вплив на його реалізацію. Вплив стейкхолдерів проекту може бути як позитивним, так і негативним, що може привести до успіху або невдачі реалізації проекту. Це може поставити під загрозу інтереси усіх стейкхолдерів проекту, а не тільки тих, що мають негативний вплив, тому проведення досліджень управління стейкхолдерами будь-якого проекту з урахуванням впливу ризиків від їх діяльності або бездіяльності є актуальним і потребує постійної уваги керівника проекту та його команди.

Ці проблеми також можуть виникати й при плануванні та реалізації організаційних проектів у сфері обслуговування літаків. Сьогодні у світі швидкими темпами розвивається галузь літакобудування, зокрема випускаються нові сучасні літаки, які потребують забезпечення якісного та своєчасного технічного обслуговування. Одним із варіантів розвитку сфери обслуговування літаків є створення нових підприємств, які будуть надавати ці послуги та можуть бути розташовані як у аеропортах, так і за їх межами, тому у вирішенні цього питання у нагоді стає методологія управління проектами, яка є ефективним інструментом у процесі діяльності будь-яких компаній.

Аналіз останніх досліджень. Методологія управління проектами [1] включає дві

окремі компоненти управління зацікавленими сторонами та управління ризиками, які мають вплив одна на одну, тому науковці світу також розглядають їх окремо.

Питання управління стейкхолдерами проекту широко розглядаються у працях Фрімена Е. [2], Бушуєва С. Д. [3], Теслі Ю. М. [4], Фіногеевої А. І. [5], Гусєвої Ю. Ю. [6], Нохріної Л. А. [7]. За результатами аналізу зазначених досліджень виявлено, що стейкхолдери проекту мають суттєвий вплив на реалізацію проекту, досягнення мети проекту та задоволення цінностей усіх учасників проекту. Тому проведення постійного моніторингу та контролю за їх діяльністю або бездіяльністю є першочерговим завданням команди проекту та його керівника.

У роботі [8] проведено ідентифікацію цінностей стейкхолдерів проектів проектно-орієнтованого медичного закладу (ПОМЗ) як складової методології інтегрованого управління медичними закладами, що дасть змогу зробити аналіз характеристик усіх зацікавлених сторін медичних проектів з метою задоволення їх потреб як для успішної реалізації медичних проектів, так і для отримання вигоди самими стейкхолдерами. Результати цього дослідження можуть стати підґрунтям не тільки для проведення ідентифікації стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків, а ще й для визначення цінностей кожного із них.

Автором у роботі [9] проведено дослідження процесів управління ризиками, яке є

тим напрямом знань у сфері управління проектами, що активно розвивається. Дослідження світового досвіду, його актуалізація та імплементація в управління проектами української спільноти є одним із найважливіших напрямів наукового пошуку. Тому зроблено висновок про те, що, оскільки процеси управління ризиками в різних методологіях (стандартах) управління проектами дещо відрізняються один від одного, подальший розвиток методології управління ризиками вбачається в узагальненні всього світового досвіду і в інтеграції існуючих підходів та методик в один процес управління ризиками. Це дослідження показує, що інтегрований процес управління ризиками у проектах може стати дієвим інструментом для його врахування при реалізації організаційних проектів у сфері обслуговування літаків.

За результатами досліджень, які проведені у роботі [10], встановлено, що основним ресурсом наукових проектів є вчені, тому питання управління людськими ресурсами постає дуже важливим для стейкхолдерів проекту. Це вимагає від них прийняття зважених та конструктивних рішень для запобігання виникненню негативних наслідків для проекту. Показано необхідність постійного аналізу та контролю кадрових ризиків з метою запобігання та зниження їх впливу на реалізацію наукового проекту і забезпечення отримання якісного наукового результату в рамках обумовлених обмежень. Кадрові ризики є вагомим джерелом невизначеності у будь-якому проекті, не тільки науковому, та можуть призвести до негативних наслідків і при реалізації організаційних проектів у сфері обслуговування літаків.

У роботі [11] автором цілісно представлено підхід до управління ризиками у проектах в умовах контекстної та поведінкової невизначеності. В рамках дослідження розроблено: модель розрахунку чистої приведеної вартості проекту для врахування суб'єктивної невизначеності замовника на фазі ініціалізації; метод характерних модельних профілів грошових потоків як спосіб представлення інформації про пакети робіт для формалізації невизначеності розробників (планувальників) проекту та можливості її врахування на фазі реалізації та обліку суб'єктивної невизначеності замовника та команди проекту на фазі реалізації проекту у методі освоєного обсягу. Це дослідження є підґрунтям для врахування

при управлінні ризиками організаційних проектів у сфері обслуговування літаків контекстної та поведінкової складової.

У дослідженні [12] автором було проаналізовано застосування проектного підходу до реалізації організаційних проектів у сфері обслуговування літаків, виявлено особливості цих проектів, наведено їх класифікацію. Крім того, було проаналізовано проблеми з людським ресурсом, які можуть знищити ідею реалізації цих проектів, а також ідентифіковано ризики, що мають вплив на ці проекти.

Дослідження стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків, яке наведено у роботі [13], є основним проблемним питанням їх реалізації, тому автор провів ідентифікацію стейкхолдерів, яка включає оцінювання їх впливу (негативного та позитивного) на проекти. Також у наведеному дослідженні проведено попереднє оцінювання стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків, спрямоване на врахування їх впливу – як позитивного, так і негативного – у процесі планування й реалізації цих проектів. Урахування цієї інформації дає можливість керівнику проекту та його команді забезпечити якісну та своєчасну реалізацію цього проекту, а також задовольнити потреби стейкхолдерів.

Висновки за дослідженнями, які зроблено у роботах [12, 13], свідчать про необхідність проведення подальших досліджень стосовно управління стейкхолдерами з урахуванням впливу ризиків на реалізацію організаційних проектів у сфері обслуговування літаків.

Метою статті є побудова матриці ризиків стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків за результатами ідентифікації стейкхолдерів та ризиків, які можуть виникати в процесі їх діяльності або бездіяльності.

Викладення основного матеріалу. Реалізація будь-якого проекту, зокрема й організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, вимагає від його керівника відповідального та зваженого планування, зокрема проведення аналізу стейкхолдерів проекту та виявлення ризиків, що можуть бути пов'язані з їх діяльністю або бездіяльністю [1, 2].

У таблиці 1 наведено реєстр стейкхолдерів організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, визначено їх ролі та інтереси.

Таблиця 1 – Реєстр стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків

№ п/п	Стейкхолдер/ група стейкхолдерів	Роль	Інтерес
1	2	3	4
1	Менеджер проекту	Фізична або юридична особа, яка відповідає за планування та реалізацію проекту у сфері обслуговування літаків	Якісне та своєчасне виконання проекту відповідно до встановлених вимог, отримання позитивного відгуку про роботу
2	Команда проекту	Група людей, яка виконує організаційний проект у сфері обслуговування літаків	Якісне та своєчасне виконання проекту відповідно до встановлених вимог, отримання позитивного відгуку про роботу
3	Ініціатор	Особа, яка дала ідею організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, а також особа, через кого вона була отримана, – заводи-виробники авіаційної техніки, авіакомпанії, аеропорти	Якісне та своєчасне виконання проекту, отримання своєчасно якісного продукту проекту, отримання прибутку
4	Замовник	Особа, яка дала замовлення на створення продукту організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, – заводи-виробники авіаційної техніки, авіакомпанії, аеропорти	Якісне та своєчасне виконання проекту, отримання своєчасно якісного продукту проекту, отримання прибутку
5	Власник	Особа, яка буде володіти правами на продукт організаційного проекту у сфері обслуговування літаків після його введення в експлуатацію, – компанія, яка буде здійснювати обслуговування	Якісне та своєчасне отримання продукту проекту, отримання прибутку
6	Інвестор	Особа, яка буде фінансувати організаційний проект у сфері обслуговування літаків, – банки, міжнародні фінансові установи, заводи-виробники авіаційної техніки, авіакомпанії, аеропорти	Якісне та своєчасне виконання проекту, отримання прибутку від вкладення коштів
7	Конкуренти основних учасників проекту	Особи, які можуть впливати (позитивно/негативно) на реалізацію організаційного проекту у сфері обслуговування літаків або діяльність команди цього проекту, – заводи-виробники авіаційної техніки, авіакомпанії, аеропорти	Неякісне та несвоєчасне виконання проекту, втрата вкладених коштів
8	Органи влади	Державні та місцеві органи влади, які можуть бути зацікавлені або незацікавлені у створенні продукту організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, – міжнародні організації, державні та місцеві органи влади	Якісне та своєчасне виконання проекту, зміна законодавства, отримання надходжень до бюджету

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
9	Ліцензіари	Державні або приватні організації, які видають дозволи на певні види ліцензованої діяльності, – міжнародні авіаційні об'єднання	Якісне та своєчасне виконання проекту, отримання надходжень до бюджету
10	Громадські групи та організації	Особи, які можуть сприяти у проведенні рекламної кампанії із показу продукту організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, здаванні в оренду приміщень (боксів, ангарів), – рекламні та посередницькі компанії	Екологічно чисте та безвідходне провадження діяльності продукту проекту, отримання надходжень до бюджету
11	Підрядники/постачальники	Особи, які надають трудові, матеріальні та фінансові ресурси для реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, – компанії, що здійснюють обслуговування авіапідприємств, виробники обладнання, запасних частин, засобів зв'язку та навігації, постачальники паливно-мастильних матеріалів	Якісне та своєчасне виконання умов договорів підряду/постачання, отримання прибутку від своєчасної та якісної реалізації проекту
12	Інші зацікавлені сторони	Інші особи, які можуть як позитивно, так і негативно впливати на організаційний проект у сфері обслуговування літаків	Якісне/неякісне та своєчасне/несвоєчасне виконання проекту, отримання прибутку від своєчасної та якісної реалізації проекту
13	Споживачі кінцевої продукції	Заводи-виробники авіаційної техніки, авіакомпанії, аеропорти, пасажери	Отримання якісного продукту проекту

Сьогодні науковці світу приділяють багато уваги управлінню стейкхолдерами у зв'язку з тим, що вони мають дуже значний вплив на реалізацію проекту і можуть як покращити результат проекту, так і повністю дискредитувати його, тим самим завершити проект без досягнення поставленої мети [1, 12, 13].

Зважаючи на те, що вплив стейкхолдерів на організаційний проект у сфері обслуговування літаків може бути як позитивним, так і негативним, прямим або непрямим, сильним або слабким, керівнику цього проекту та його команді необхідно додатково проводити дослідження ризиків.

З метою ідентифікації груп ризиків та переліку ризиків організаційного проекту у сфері обслуговування літаків необхідно для

початку розділити стейкхолдерів на внутрішніх та зовнішніх.

До внутрішніх стейкхолдерів відносяться: менеджер проекту; команда проекту; ініціатор; замовник; власник.

До зовнішніх стейкхолдерів відносяться: інвестор; конкуренти основних учасників проекту; органи влади; ліцензіари; громадські групи та організації; підрядники та постачальники; інші зацікавлені сторони; споживачі кінцевої продукції.

За результатами дослідження впливу стейкхолдерів на організаційний проект у сфері обслуговування літаків можна ідентифікувати, окрім груп ризиків, ще й види ризиків за кожною групою, які подано у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Ідентифікація ризиків, що пов'язана з діяльністю стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків

№ п/п	Назва групи ризиків, що пов'язана з діяльністю стейкхолдерів	Причини виникнення групи ризиків, що пов'язана з діяльністю стейкхолдерів	Види ризиків, які пов'язані з діяльністю стейкхолдерів
1	2	3	4
1	Ризики, що пов'язані з діяльністю команди проекту	Неефективна система управління персоналом та мотивації, відсутність ефективної системи підбору персоналу, несприятливий клімат у команді, розкрадання матеріальних цінностей	Ризик нелояльності персоналу, ризик плинності кадрів
2	Ризики, що пов'язані з діяльністю замовника (ініціатора та власника) проекту	Помилкова постановка мети проекту та неточне доведення конкретних задач персоналу проекту, недостатнє обґрунтування пріоритетів проекту, прийняття необґрунтованих рішень	Ризик постановки мети проекту, ризик планування етапів/робіт/задач проекту, ризик планування виконавців проекту, ризик несвоєчасного підбору персоналу
3	Ризики, що пов'язані з фінансуванням проекту	Недостатній обсяг фінансування, затримка планових надходжень коштів у проект, зміна кредитної політики, зміни курсів валют, зростання інфляційних процесів	Ризик фінансування, кредитний ризик, інфляційний ризик, валютний ризик
4	Ризики, що пов'язані з підрядниками та постачальниками	Низька якість товарів, робіт та послуг, банкрутство контрагентів, недотримання строків поставки, некомплектність товару, змова з конкурентами, коливання цін	Ризик підрядника, ризик постачальника, ціновий ризик, якісний ризик
5	Ризики, що пов'язані з конкурентами	Наявність на ринку конкурентів, поява нових конкурентів, ефективна політика конкурентів щодо програм лояльності, технічне та економічне шпигунство, фальсифікація та підробка продукції конкурентами	Конкурентний ризик, ризик шпигунства, ризик фальсифікації
6	Ризики, що пов'язані з діяльністю органів влади	Недосконалість чинного законодавства, правова незахищеність, несприятлива податкова політика, постійне коригування ліцензійної діяльності	Правовий ризик, законодавчий ризик, податковий ризик, ліцензійний ризик
7	Ризики, що пов'язані з поведінковою складовою	Невизначеність суб'єктивного походження, яка обумовлена поведінкою осіб, що мають на меті не тільки власні невизначені цілі, а й волю для їх досягнення, низький професіоналізм, несприятливий клімат у команді, завищення необхідних ресурсів (грошових, часових, матеріальних, якісних) на етапі планування проекту, затягування виконання робіт, доручень, надлишкове фінансування задач, розсіювання цілей	Кваліфікаційний ризик, ризик адаптації, соціально-психологічний ризик, духовно-емоційний ризик, мотиваційний ризик, ризик конфліктів, ризик стресів

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
8	Ризики, що пов'язані з конфіденційністю інформації в проекті	Розголошення конфіденційної інформації в процесі реалізації проекту та після його завершення, рівень компетентності учасників проекту, несвоєчасне передавання інформації, передавання помилкової інформації, свідоме або несвідоме перекручення інформації, наявність якісного зворотного зв'язку, людські емоції, цінності людини, невміння слухати співрозмовника	Майновий ризик, немайновий ризик, репутаційний ризик, інформаційний ризик

Із таблиці 2 видно, які групи ризиків та ризики можуть виникати у процесі реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків.

Наступним кроком є аналіз факторів, які можуть мати позитивний або негативний вплив на реалізацію організаційних проектів у сфері обслуговування літаків. Автором у роботі [13] було запропоновано модифікувати класичний PEST-аналіз шляхом включення до нього, окрім звичайних факторів, а саме: політичних (Political), економічних (Economical), соціальних (Social) і технологічних (Technology), ще й правових (Legal) та екологічних (Environmental) факторів.

За результатами модифікованого PEST-аналізу в процесі реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків можна виділити наступні негативні проблеми серед:

- політичних факторів (P) – нестабільність політичної системи, яка впливає, у свою чергу, на економічну ситуацію в країні, її інвестиційну привабливість, курс валют, корупція;

- економічних факторів (Ec) – повільне зростання економіки, малий внутрішній ринок авіаперевезень, нерозвиненість аеропортової інфраструктури;

- соціальних факторів (S) – низький рівень отримуваної фахівцями освіти, низький рівень життя населення, низька платоспроможність;

- технологічних факторів (T) – постійний розвиток авіабудування, необхідність інвестування у персонал;

- правових факторів (L) – відсутність сприятливої правової бази для розвитку ринку авіаперевезень та інвестування в авіабудівну галузь;

- екологічних факторів (En) – законодавчі обмеження у виборі місця розташування підприємств такого типу.

Як окремий фактор необхідно також враховувати середовище, в якому перебувають усі зазначені фактори, – середовище поведінкової економіки (BE) [3, 14, 15], де стейкхолдерам організаційного проекту у сфері обслуговування літаків властивий ірраціоналізм, що піддається контролю внаслідок існування певних законів, відповідно до яких ірраціональну з точки зору традиційної економіки поведінку можна пояснити і прогнозувати.

В умовах реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, який є унікальним та новим для ринку авіабудування, ціна такої ірраціональної поведінки стейкхолдерів може бути занадто високою та призвести до того, що проект навіть і не розпочнеться або не буде доведений до завершення. До поведінкових факторів можна віднести такі, як [3, 14, 15]: епістемічна самовпевненість – небажання людини визнати, що людські знання обмежені, що спричиняє ігнорування факту, що багато людей схильні до «тунельного» та «вузького» мислення, що, в свою чергу, є причиною футурологічної сліпоти людини; «якірування» – прийняття управлінських рішень на основі перших

отриманих даних, ірраціоналізм проявляється в тому, що певна інформація отримує пріоритет тільки тому, що вона була отримана першою; ефект Даннінга–Крюгера – прийняття помилкових рішень некомпетентними людьми, які не здатні усвідомити це через занадто

велику впевненість у власних знаннях і компетенції.

Із наведених вище факторів можна виявити причини (проблем) виникнення груп ризиків, що пов'язані з діяльністю стейкхолдерів, які представимо у вигляді рисунка 1.

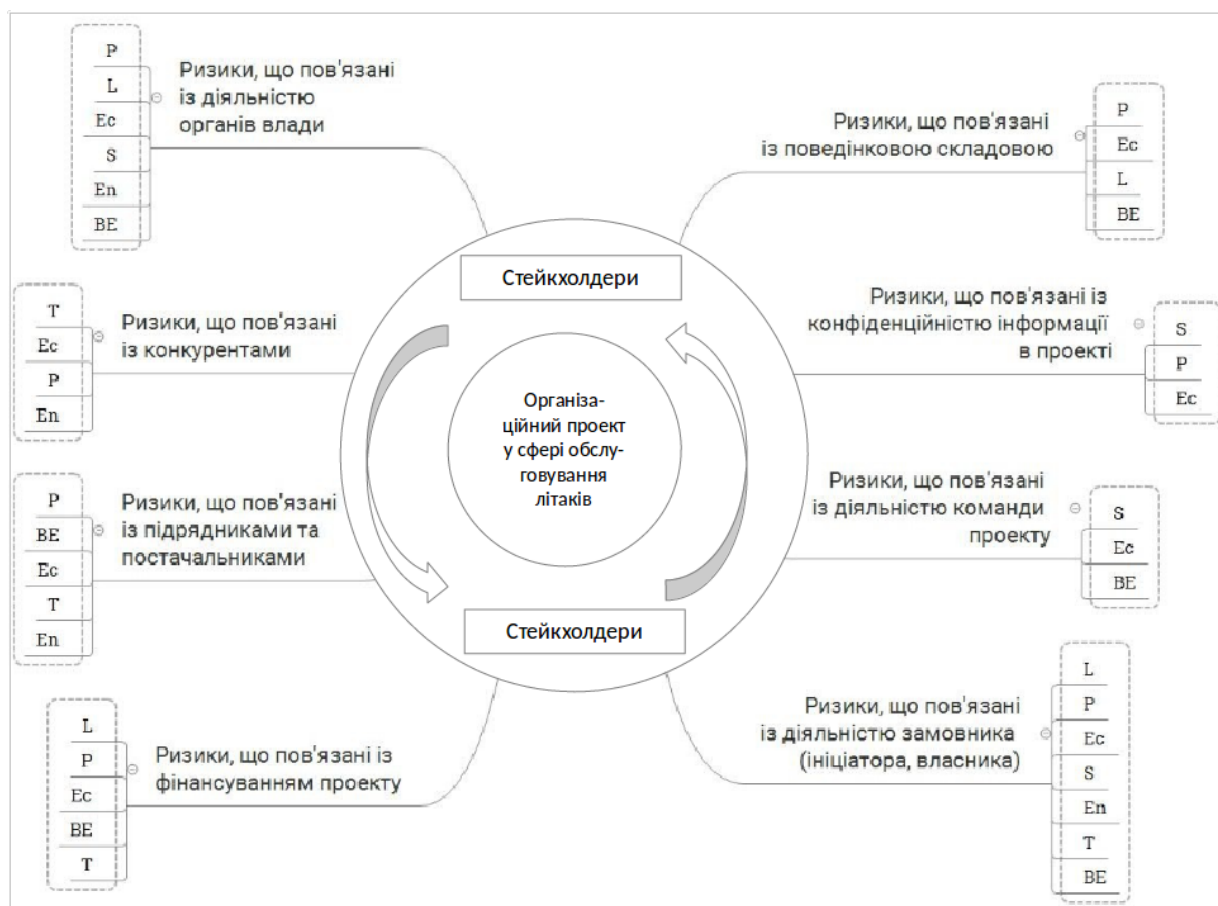


Рисунок 1 – Вплив факторів середовища на виникнення ризиків в процесі реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків

На рисунку 1 наочно представлено групи ризиків організаційного проекту у сфері обслуговування літаків та фактори, що можуть їх викликати.

За результатами ідентифікації стейкхолдерів (таблиця 1) та груп ризиків, що пов'язані з їх діяльністю або бездіяльністю (таблиця 2), можна побудувати матрицю ризиків стейкхолдерів організаційних проектів у

сфері обслуговування літаків та представити її у вигляді таблиці 3.

Із інформації, що наведена у таблиці 3, можна зробити висновок про те, що діяльність або бездіяльність якогось стейкхолдера організаційного проекту у сфері обслуговування літаків може призвести до виникнення тієї чи іншої групи ризиків.

Таблиця 3 – Матриця ризиків стейкхолдерів організаційних проектів у сфері обслуговування літаків

Стейк-холдери	Групи ризиків, що пов'язані з діяльністю стейкхолдерів							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+					+	+
4	+	+	+				+	+
5	+	+					+	+
6	+	+	+	+		+	+	+
7	+		+	+	+		+	+
8			+	+		+	+	+
9			+	+		+	+	+
10	+	+					+	+
11				+			+	+
12						+	+	+
13		+	+				+	+

Висновки. В цьому дослідженні автором проаналізовано ряд публікацій науковців стосовно застосування методології управління проектами у різних сферах діяльності, зокрема у частині управління стейкхолдерами та ризиками проекту, та, як наслідок, впливи цих факторів можуть мати позитивний або негативний ефект для реалізації будь-якого проекту.

Для вирішення поставленої мети автором проведено ідентифікацію стейкхолдерів організаційного проекту у сфері обслуговування літаків та ризиків, що пов'язані з їх діяльністю. Крім того, за допомогою модифікованого PEST-аналізу, з урахуванням екологічних і правових факторів, а також факторів поведінкової економіки, автором виявлено вплив зовнішнього середовища на виникнення ризиків у процесі реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків.

За результатами оцінювання впливу зовнішнього середовища на виникнення ризиків, що пов'язані з діяльністю або бездіяльністю стейкхолдерів організаційного проекту у сфері обслуговування літаків, побудовано матрицю ризиків, яка містить інформацію стосовно груп ризиків, які можуть виникати унаслідок їхньої діяльності.

Результати проведеного дослідження можуть стати підґрунтям для розроблення у подальшому заходів, що спрямовані на запобігання виникненню ризиків та боротьбу з ними з метою забезпечення реалізації організаційного проекту у сфері обслуговування літаків у рамках затвердженого бюджету, встановлених строків та відповідної якості.

Список літератури

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] R. E. Freeman, *Stakeholder theory: the state of the art*. Cambridge University Press, 2010.
- [3] С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев и др., *Креативные технологии в управлении проектами и программами*. Киев: Самит-Книга, 2010.
- [4] Ю. М. Тесля, та М. І. Рич, "Модель несилової консолідації інтересів зацікавлених сторін по відношенню до різних аспектів проекту", *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*, № 3 (47), с. 110-115, Луганськ: Вид-во СЧУ ім. В. Даля, 2013.

- [5] А. И. Финогеева, "Совершенствование механизма взаимодействия компании с заинтересованными сторонами", *УЭК*, № 3 (97), 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizma-vzaimodeystviya-kompanii-s-zainteresovannymi-storonami>. Дата обращения: 05.02.2019.
- [6] Ю. Ю. Гусева, М. В. Сидоренко, та І. В. Чумаченко, "Управління зацікавленими сторонами освітніх проєктів", *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*, № 2, с. 8-12, 2016.
- [7] Л. А. Нохріна, "Алгоритм ідентифікації стейкхолдерів", на *V міжнар. наук.-теор. Інтернет-конф. Місто. Культура. Цивілізація* (квітень 2015), Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015, с. 168-175.
- [8] В. В. Лепський, "Ідентифікація цінностей стейкхолдерів проєктів проєктно-орієнтованого медичного закладу", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 44-51, 2017 (*Технічні науки*).
- [9] О. Б. Данченко, "Огляд сучасних методологій управління ризиками в проєктах", *Управління проєктами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*, № 1, с. 16-25, Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2014.
- [10] О. Б. Данченко, Д. І. Бедрій, та І. Б. Семко, "Ідентифікація кадрових ризиків наукових проєктів", *Управління проєктами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*, № 4 (64), с. 18-24, Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля (Сєверодонецьк), 2017.
- [11] Д. В. Рач, "Управление рисками в проєктах в условиях контекстной и поведенческой неопределенности: резюме исследования", *Управління проєктами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*, № 2 (66), с. 49-69, Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля (Сєверодонецьк), 2018.
- [12] Д. Ф. Сепеда Гуаман, "Особенности управления организационными проектами у сфере обслуживания літаків", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 34-41, 2018 (*Технічні науки*).
- [13] О. І. Мельниченко, Д. Ф. Сепеда Гуаман, та О. І. Белова, "Ідентифікація стейкхолдерів організаційних проєктів у сфері обслуговування літаків", *Вісник Національного транспортного університету*, вип. 1 (43), Київ: НТУ, 2019.
- [14] Д. Ф. Сепеда Гуаман, "Модель оточення організаційного проєкту в умовах поведінкової економіки", на *Третій Міжнар. наук.-практ. конф. Project, Program, Portfolio Management* (07-08 грудня 2018), Одеса: ОНПУ, 2018, с. 89-91.
- [15] Д. Ф. Сепеда Гуаман, "Врахування аспектів поведінкової економіки в організаційних проєктах на прикладі стейкхолдерів", на *Наук.-практ. конф. Актуальні питання сучасної науки та практики* (15 листопада 2018), Київ: Ун-т економіки та права «КРОК», 2018, с. 450-452.

References

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] R. E. Freeman, *Stakeholder theory: the state of the art*. Cambridge University Press, 2010.
- [3] S. D. Bushuev, N. S. Bushueva, I. A. Babaev, et al., *Creative technologies of project and program management*. Kiev: Samit-Kniga, 2010 [in Russian].
- [4] Yu. M. Teslya, and M. I. Rych, "Model of non-force consolidation of stakeholders' interests in relation to different aspects of the project", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnyctva: coll. of sci. papers*, no. 3 (47), pp. 110-115, Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2013 [in Ukrainian].
- [5] A. I. Finogeyeva, "Improving of the mechanism of company interaction with stakeholders, *UEkS*, no. 3 (97), 2017. [Online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizma-vzaimodeystviya-kompanii-s-zainteresovannymi-storonami>. Accessed on: 05.02.2019.
- [6] Yu. Yu. Husyeva, M. V. Sydorenko, and I. V. Chumachenko, "Management by stakeholders of educational projects", *Visnyk Natsional'noho tehnicnoho universytetu "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy*, no. 2, pp. 8-12, Kharkiv, 2016 [in Ukrainian].
- [7] L. A. Nokhrina, "Stakeholder identity identification algorithm", in *Proc. V Internat. sci.-*

- theor. conf. Misto. Kul'tura. Tsyvilizatsiya*, Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2015, pp. 168-175 [in Ukrainian].
- [8] V. V. Leps'kyi, "Identification of the values of stakeholders of project-oriented medical facilities projects", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 3, pp. 44-51, 2017 [in Ukrainian].
- [9] O. B. Danchenko, "Review of modern risk management methodologies in projects", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnytva*: coll. of sci. papers, no. 1, pp. 16-25, Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2014 [in Ukrainian].
- [10] O. B. Danchenko, D. I. Bedrii, and I. B. Semko, "Identification of personnel risks of scientific projects", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnytva*: coll. of sci. papers, no. 4 (64), pp. 18-24, Lugansk: SNU im. V. Dalja (Syevyerodonetsk), 2017 [in Ukrainian].
- [11] D. V. Rach, "Project risk management in contextual and behavioral uncertainty: summary of the study", *Upravlinnja proektamy ta rozvytok vyrobnytva*: coll. of sci. papers, no. 2 (66), pp. 49-69, Lugansk: SNU im. V. Dalja (Syevyerodonetsk), 2018 [in Russian].
- [12] D. F. Sepeda Huaman, "Features of organizational projects management in the field of aircraft maintenance", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 3, pp. 34-41, 2018 [in Ukrainian].
- [13] O. I. Mel'nychenko, D. F. Sepeda Huaman, and O. I. Byelova, "Identification of stakeholders of organizational projects in the field of aircraft servicing", *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu*, iss. 1 (43), Kyiv: NTU, 2019 [in Ukrainian].
- [14] D. F. Sepeda Huaman, "Model of an organizational project environment in a behavioral economy", in *Proc. 3d Internat. Sci.-Pract. Conf. Project, Program, Portfolio Management*, Odesa: ONPU, 2018, pp. 89-91 [in Ukrainian].
- [15] D. F. Sepeda Huaman, "Consideration of behavioral economics aspects in organizational projects on an example of stakeholders", in *Proc. Sci.-Pract. Conf. Aktual'ni pytannya suchasnoyi nauky ta praktyky*, Kyiv: Un-t ekonomiky ta prava "KROK", 2018, pp. 450-452 [in Ukrainian].

D. F. Cepeda Guaman

e-mail: ferchoevol2@hotmail.com

University of economy and law "KROK"

30-32, Tabirna str., Kyiv, 03113, Ukraine

MATRIX OF RISKS OF ORGANIZATIONAL PROJECTS STAKEHOLDERS IN THE FIELD OF AIRCRAFT MAINTENANCE

The current state of the development and implementation of the project management methodology in the world is closely linked with project stakeholders, which can have a very significant impact on its implementation. The impact of project stakeholders can be both positive and negative one that can lead to the success or failure of project implementation.

The purpose of the article is to build a risk management matrix for stakeholders in organizational projects in the field of aircraft maintenance based on the identification of stakeholders and the risks that may arise in the process of their activities or inactivity.

The author analyzes the publications of scientists in the field of project management and concludes that it is necessary to continue research on stakeholders and risks management in the process of implementing an organizational project in the field of aircraft maintenance.

A list of stakeholders of organizational project in the field of aircraft maintenance is identified and identification of groups of risks and their types related to the activities of stakeholders of this type of project is carried out.

It has been discovered how stakeholders can influence the implementation of organizational project in the field of aircraft maintenance. Environmental factors using PEST analysis, which has been modified by adding additional factors such as: legal, environmental and behavioral ones, are analyzed.

The author proposes a new model that takes into account environmental factors, which in future may become sources of risks affecting the stakeholders of organizational project in the field of aircraft maintenance.

The application of this model will allow the head of organizational project in the field of aircraft maintenance to develop effective measures to prevent or avoid the risks associated with the activities of stakeholders of the project through continuous monitoring in order to reduce negative impact of stakeholders on the project implementation.

Keywords: *project approach, project stakeholders, project risks, matrix, organizational project in the field of aircraft maintenance.*

Т. А. Воркут, д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортного права та логістики,
e-mail: tpsalkaf@mail.ntu.edu.ua

А. В. Севост'янова, аспірант кафедри менеджменту,
e-mail: sevostianova1607@gmail.com

Національний транспортний університет,
вул. Омельновича-Павленко 1, м. Київ, 01010, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА СПЕЦИФІКА УПРАВЛІННЯ НИМИ

У статті проведено аналіз стану та проблем розвитку альтернативної енергетики. Визначено актуальність розвитку альтернативної енергетики та необхідність переходу на альтернативні джерела енергії. Встановлено обґрунтовану можливість і пріоритетність використання вітрової енергії в Україні. Виявлено проблемні питання в галузі вітроенергетики та проаналізовано існуючі дослідження в управлінні вітроенергетичними проектами. На основі результатів аналізу визначено види проектів вітроенергетики, їх особливості. Проведено категоризування проектів вітроенергетики за різними ознаками класифікації. Виділено базові відмінні ознаки проектів вітроенергетики й особливості їх управління. Встановлено, що управління проектами вітроенергетики є багатофакторним і високоризиковим. Ефективність управління великою мірою залежить від значної кількості стейкхолдерів і невизначеностей, пов'язаних з ними.

Ключові слова: альтернативна енергетика, вітроенергетика, проект вітроенергетики, управління проектами.

Вступ. Глобальні кліматичні зміни, проблематика наслідків аварій на атомних електростанціях, підвищення цін на енергоносії, зростання потреб в енергетичних ресурсах зумовлюють необхідність коригування енергетичної політики багатьох розвинених країн у напрямі розвитку альтернативних джерел енергії [1]. Стратегію держави у цій сфері має бути спрямовано на вирішення основних проблемних питань щодо збільшення частки енергії з відновлюваних джерел у структурі загального первинного постачання енергії.

В Україні відповідно до «Національної доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» до 2030 року», «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», Закону про «зелений тариф» тощо державою ставляться цілі зі стимулювання та розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема й вітроенергетики.

Для нашої країни вітроенергетика є надзвичайно важливою галуззю, розвиток якої дасть змогу зменшити її залежність від імпортованого палива та шкідливих викидів парникових газів й інших забруднень навколишнього середовища. Єврокомісія віднесла вітроенергетику до одного з пріоритетних напрямів розвитку електрогенерації в світі [2]. Згідно з прогнозом Міжнародного енергетичного агентства

[3], до 2040 р. частка вітру в глобальному виробництві електроенергії зросте до 40 %, вітроенергетичні станції стануть найдешевшим способом генерації в більшості країн світу, а вартість вітряних проектів знизиться на 32 %, і це стане можливим завдяки накопиченому досвіду і поліпшеному фінансуванню.

Для здійснення прогнозів потрібне правильне та вміле управління, яке враховує специфічні особливості проектів вітроенергетики (ПВЕ) і спрямоване на підвищення ефективності таких проектів.

Аналіз останніх досліджень. Вивченню окремих аспектів розвитку альтернативних джерел енергії присвячено праці вітчизняних та зарубіжних науковців, таких як А. Мерзляк, О. Теліженко, Г. Півняк, О. Стоян, І. Чукаєва, Ф. Шкрабець, В. Круглов та ін. Дослідженнями в сфері управління проектами енергетичної галузі займалися вітчизняні вчені К. В. Кошкін, Ю. М. Тесля, О. Б. Данченко, Ю. М. Харітонов, С. К. Чернов, Є. А. Квасневський, І. Б. Семко, Г. Ф. Ковалев, М. К. Сухонос, Л. М. Салій, О. А. Саченко. Питання управління проектами альтернативних джерел енергії розглядають в своїх роботах А. В. Татомир, І. Б. Семко, Н. І. Борисова, О. М. Возний, О. О. Бакулич.

У джерелі [8] досліджено проблеми впровадження альтернативних джерел енергії в Україні, зокрема зазначено, що вітроенергетика має певні обмеження, до яких віднесено:

- залежність виробленої потужності від швидкості вітру (найвигідніше будівництва на узбережжі Чорного і Азовського морів);
- можливі проблеми з постачанням електроенергії на далекі відстані;
- висока вартість вітроустановки і додаткових електричних апаратів (інверторів, акумуляторних батарей і т. ін.);
- можливі механічні й аеродинамічні шуми.

Окрім цього, в роботі [8] зазначено, що несприятливий інвестиційний клімат України не дає змогу інвесторам і державі в повному обсязі розвивати альтернативну енергетику. Основними факторами такого впливу є:

- політична нестабільність, дефіцит бюджету, нестабільність валютного ринку тощо;
- недосконалість нормативно-правової бази;
- слабка стимулююча державна підтримка при розробці й використанні альтернативних видів енергії;
- мала обізнаність населення в ефективності альтернативних джерел енергетики;
- низька конкурентоспроможність вітчизняних розробок;
- недостатнє фінансування наукових розробок, інновацій в енергетиці;
- відсутність промислового виробництва вітчизняних аналогів установок, які б використовували нетрадиційні види палива;
- відсутність практики кредитування банківськими установами проектів з енергозбереження тощо.

В джерелі [7] розглянуто можливість заміни двигуна внутрішнього згорання автомобіля на вітрову установку, що підвищує його екологічність та розширює межі застосування вітроенергетики.

Проблемні питання в галузі вітроенергетики наведені в [15], де відзначено, що для ефективного розвитку вітроенергетичної галузі в Україні вже склалися деякі передумови, зокрема економічні: зростання світових цін на паливні ресурси і залежність більшості європейських країн, в тому числі й України, від ввезення палива з-за кордону, та екологічні: істотне погіршення стану атмосфери і озонового шару землі через спалювання значної кількості палива та інші види забруднення, проблема утилізації ядерних відходів і усві-

домлення реально існуючої небезпеки, що надходить від атомних станцій, тощо. Також визначено переваги вітрової енергетики, яка:

- є економічно ефективною;
- створює додаткові робочі місця;
- сприяє розвитку цієї галузі промисловості та загалом конкурентоспроможності України;

- є джерелом екологічно чистого палива (енергія вітру не забруднює повітря, вітрові турбіни не виробляють атмосферні викиди, які спричиняють кислотні дощі, смог або парниковий ефект);

- базується на невичерпній енергії вітру;
- має побутову пристосовуваність (вітрові турбіни можуть використовуватися малими підприємствами і домогосподарствами).

Також в роботі [15] говориться і про недоліки вітроенергетичної галузі, зокрема:

- вітроенергетика потребує значних фінансових інвестицій;
- географічна залежність, тобто територія землі, де є значний вітер, який є необхідною умовою для ефективної роботи вітрової турбіни, часто знаходиться у віддалених місцях, що призводить до додаткових витрат;
- турбіни вітроенергетичних установок можуть спричиняти додатковий шум та естетичне забруднення;
- існує проблема загибелі пташок.

В роботах [5, 6, 10, 11, 14] проведено дослідження ціннісно-орієнтованого та ризик-орієнтованого управління проектами альтернативної енергетики, здійснено класифікацію етапів життєвого циклу продуктів таких проектів, зацікавлених сторін та їх цінностей, реалізовано когнітивне моделювання ризиків проектів альтернативної енергетики, розглянуто можливість використання інформаційних технологій для управління такими проектами, види відхилень у проектах та методи управління ризиками проектів альтернативної енергетики [4].

В роботі [10] виділено певні особливості проектів по використанню альтернативної енергетики:

- особливості технологічного процесу;
- природні особливості регіонів, де можливе використання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії;
- велика кількість організацій, що бере участь у розробці та реалізації проектів;
- підвищення рівня енергетичної незалежності;

- виконання вимог щодо енергетичної безпеки;
- зниження шкідливого впливу на довкілля;
- вирішення соціально-економічних питань розвитку держави.

Проекти альтернативної енергетики характеризуються значною кількістю стейкхолдерів, а успішне управління такими проектами ґрунтується на регулярному, систематичному виявленні інтересів і цінностей його стейкхолдерів [11]. В цьому джерелі також визначено класифікацію проектів, що реалізуються на різних фазах життєвого циклу енергетичних станцій за видами діяльності, це: науковий напрям (фундаментальні та прикладні дослідження, розробки/дослідні зразки); технічний напрям (проектування, будівництво, ремонт і технічне обслуговування, модернізація, утилізація тощо); напрям забезпечення ресурсами і персоналом; організаційно-правовий напрям (землевідведення, отримання ліцензій, дозволів тощо); законотворчий напрям (розробка і просування законопроектів); PR та медіа.

В джерелі [6] розглянуто питання управління проектами альтернативної енергетики, де альтернативна енергетика розглядається як сукупність проектів, що пов'язані з впровадженням та використанням нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії. Авторами проведено класифікацію проектів альтернативної енергетики за основними параметрами, що характеризують проект, та сформульовано означення таких проектів. Зокрема, за [6], проектами альтернативної енергетики є проекти, які призначені для створення унікального продукту – енергії за рахунок використання потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, біомаси, морів та океанів, річок. Таке означення не зовсім коректне й потребує уточнення.

Методи та засоби управління ризиками проектів альтернативної енергетики розглянуто в [10], сформульовано стратегії реагування на негативні та позитивні ризики. Автор констатує, що очевидним фактором ризику є небажання компаній переплачувати за альтернативну енергію в короткій перспективі, адже будівництво таких об'єктів поки дорожче, ніж традиційних. Але зношення традиційних об'єктів генерації електроенергії максимум до 2050 р. змусить суспільство обирати: або відбудову традиційних джерел енергії, або нові

об'єкти альтернативної енергетики, які є більш перспективними. Окрім цього, виділено ще низку проблем, а саме: остаточно не сформовано законодавчу базу для розвитку альтернативної енергетики, не побудовано зв'язки та сам перехід від традиційної до альтернативної енергетики, екологічні та соціально-політичні ризики. Перші пов'язані з впливом на довкілля, другі – з протестними настроями в суспільстві відносно будівництва та експлуатації таких об'єктів. Наявність витрат на додаткові екологічні експертизи, отримання численних дозволів тощо може призводити до збільшення тривалості реалізації проектів та їх вартості.

Під час управління проектами на підприємствах вітроенергетики менеджер проекту стикається з проблемами, до яких відносяться [15]:

- бюрократизм: значна частина часу реалізації проекту йде саме на погодження необхідних документів у державних структурах. Необхідно мати це на увазі, плануючи час, відведений на реалізацію проекту;

- обмеження бюджету, що є нормальним фактором у ринковій економіці, де завжди виникають додаткові витрати. Отже, при плануванні бюджету проекту необхідно резервувати певну частину грошей на форс-мажорні обставини;

- визначення та відведення необхідної ділянки землі під вітроенергетичні станції (ВЕС). Окрім того, що необхідно знайти ту ділянку землі, на якій вітер є найбільш вигідним для роботи ВЕС, вона повинна знаходитися на необхідній відстані від населеного пункту, щоб відповідати всім необхідним екологічним нормам;

- залежність від постачальників обладнання або інших комплектуючих частин, а також від погодних умов. При монтуванні ВЕС необхідно планувати етапи реалізації проекту, зважаючи на погодні умови;

- залежність від людського фактора, адже основна частина успіху реалізації проекту залежить саме від того, яким чином менеджер зміг мотивувати і заохотити команду проекту до роботи та готовності проекту в назначений час.

Аналіз основних методів управління проектами в сфері вітроенергетики проведено в [18], інформаційних та математичних методів управління ресурсами при розробці проектів вітроенергетичного підприємства – в [16].

Дослідження теоретичних положень наукових шкіл управління проектами в контексті управління проектами у вітроенергетичному секторі представлено в [17]. Ці дослідження мають недоліки, пов'язані з їх загальністю (вони стосуються більше загальних понять та визначень, аніж сфери проектної діяльності вітроенергетичних підприємств).

Узгодження конфігурацій проектів сервісних та обслуговуваних систем (стосовно електрозабезпечення сільськогосподарських підприємств за використання енергії вітру) розглядається в роботі [9].

Як показує аналіз літературних джерел, розвиток вітроенергетики як елемента альтернативної енергії є вкрай необхідним. В Україні створено деякі передумови розвитку цієї галузі, але для впровадження таких проектів потрібна методологія, яка б враховувала особливості саме ПВЕ. Управління такими проектами є малодослідженим, а існуючі дослідження є неповними, в більшості стосуються альтернативної енергетики взагалі, вони потребують конкретизації, уточнення та врахування особливостей ПВЕ, а також можливих відхилень у таких проектах. Вміле та ефективне впровадження ПВЕ на сьогодні в нашій країні є вкрай нагальним та потрібним.

Метою статті є виявлення та аналіз особливостей ПВЕ, визначення проблем та специфіки управління такими проектами.

Виклад основного матеріалу. Під ПВЕ розуміємо проекти, спрямовані на створення такого продукту, як електроенергія за рахунок використання сили вітру.

Для проектів виробництва електроенергії з альтернативних джерел характерна висока інвестиційна привабливість, операційна ефективність та порівняно короткий період окупності, що становить близько 6-8 років [6, 15]. Висока інвестиційна привабливість та операційна ефективність ПВЕ забезпечені за рахунок державного регулювання (діє закон про звільнення від прибутку і вхідного податку на додану вартість та передбачено поетапне зниження коефіцієнта «зеленого тарифу» для електроенергії, виробленої об'єктами вітроенергетики, введеними в експлуатацію (або суттєво модернізованими) після 2014 (на 10 %), 2019 (на 20 %) і 2024 рр. (на 30 %)).

Перспектива застосування енергії, створеної вітровими установками, має два шляхи подальшої реалізації проекту. Перший – використання енергії для внутрішнього енерго-

збереження, другий – реалізація електроенергії на зовнішньому ринку. Відповідно проекти вітроенергетики можуть реалізовуватись як для отримання прибутку від продажу виробленої електроенергії, так і з метою енергозбереження та оптимізації внутрішніх бізнес-процесів організацій [6].

Ланцюжок роботи енергетичної системи поєднує її складові – від виробництва енергії до розподілу між споживачами. І, враховуючи високу економічну ефективність цих проектів, вони можуть бути цікавими для середнього та великого бізнесу щодо залучення їх інвестицій для будівництва, експлуатації та закупівлі продукту проектів вітроенергетики.

Виходячи з [6, 15], можна визначити основні види проектів вітроенергетики, це:

- будівництво об'єктів для забезпечення технологічного процесу видобутку, перетворення та транспортування енергії, що отримана за рахунок вітроенергетики;
- впровадження технологій використання вітрової енергії;
- будівництво ВЕС з великим потенціалом акумулювання енергії;
- поєднання вітроенергетичних технологій з теплоелектростанціями або тепловими помпами для періоду переходу на виключно вітроенергетичні джерела.

Для управління цими різноманітними проектами, враховуючи їх складність, великі обсяги, різноманітність технологічних процесів, обмеження, велику кількість ризиків, необхідне застосування проектного підходу в процесі управління.

За методологією управління проектами, кожний проект характеризується [12, 13]: результативністю, тобто вся діяльність націлена на досягнення певної мети; унікальністю, тобто проект повинен породжувати унікальні результати; обмеженістю в часі, адже будь-який проект має чітко визначений час початку та завершення; обмеженістю за ресурсами; чіткою послідовністю виконання етапів проекту.

ПВЕ є цільовими та унікальними, тому що результатом реалізації проектів є отримання електричної енергії за допомогою вітру. У той же час ці проекти мають чітко визначену дату початку та завершення, тобто є конкретно визначена тривалість виконання проектів. ПВЕ, як і будь-які інші, мають сенс лише при дотриманні послідовності виконання всіх етапів проекту та досягнення очікуваного результату. Для таких проектів типовим є обмеження

за бюджетом, оскільки під час планування проектів закладається гранична вартість усього проекту та окремих робіт за проектом, а обмеження за ресурсами визначається обмеженням складом команди або графіком отримання технічних і матеріальних ресурсів.

Управління ПВЕ базується на їх особливостях, які можна виявити шляхом класифікації таких проектів за різними ознаками [6, 8, 12, 14, 15].

За терміном реалізації:

- довгострокові – проекти експлуатації ВЕС, тривалість яких становить понад три роки;

- середньострокові – проекти, на виконання яких знадобиться від одного до трьох років;

- короткострокові проекти (виготовлення устаткування для вітрових установок на експорт, проекти з постачання технікою для виготовлення устаткування, будівництво малих вітрових установок на дахах будинків та автомобілях, реконструкція, технічне переоснащення, налагодження нових потужностей для об'єктів вітроенергетики тощо – терміном до одного року.

За масштабістю:

- малі проекти (невеликі прості короткострокові ПВЕ з обмеженими ресурсними можливостями) – на реалізацію такого проекту потрібно буде витратити до 10 млн. євро;

- середні проекти (стратегічні проекти виробництв, регіональні ПВЕ) – проекти вартістю від 10 до 100 млн. євро;

- мегапроекти (багатофункціональні проекти регіонального або національного масштабу) – на реалізацію цього ПВЕ потрібно буде витратити понад 100 млн. євро.

За ступенем складності:

- технічно складні проекти (будівництво генеруючих та акумулюючих об'єктів), кількість задач проекту – понад 1000 й вирішення таких проектів передбачає використання як ПВЕ, так і інших нетрадиційних складних технологій в поєднанні з традиційними.

За якістю проекту:

- бездефектні проекти (усі проекти, пов'язані з реконструкцією, модернізацією, будівництвом об'єктів вітроенергетики).

За характером сторін, що залучаються до реалізації проекту:

- міжнародні проекти (участь у будівництві, постачання відповідного обладнання,

забезпечення кваліфікованими спеціалістами, інвестування, участь в інноваційних розробках);

- національні, міжрегіональні проекти (ПВЕ, тісно пов'язані з розвитком національної економіки).

За характером цільового призначення проекту:

- антикризові проекти (використання ПВЕ дає можливість ефективного використання природних ресурсів, з мінімальними витратами та за короткий час вирішення проблем нестачі електроенергетичних потужностей);

- інноваційні проекти (використання нових та модернізованих вітроенергетичних установок, зміна існуючих систем – технічної, технологічної, інформаційної, економічної, організаційної та досягнення в результаті зниження витрат енергетичних ресурсів поліпшення якості продукції, послуги).

За галузевою приналежністю:

- промислові – енергетична промисловість (усі ПВЕ розглядаються через призму галузевих особливостей та специфікацій, що притаманні цьому напрямку).

За необхідністю постійного контролю:

- керовані (особливості енергетичної галузі вимагають щоденного контролю для безперебійного постачання споживачів енергією в потрібній кількості, необхідної якості).

Особливості ПВЕ полягають у наступному [6, 8, 10, 15]:

- географічна пов'язаність, тобто залежність виробленої потужності від швидкості вітру (найвигідніше будувати на морських узбережжях);

- вплив природних особливостей регіонів розташування ПВЕ;

- поновлюваність вітроенергетичних джерел;

- висока вартість вітроустановки і додаткових електричних апаратів (інверторів, акумуляторних батарей і т. ін.);

- особливості технологічного процесу, що полягають у неможливості запасати енергію в значних масштабах, в необхідності безперервного електропостачання, що є важливою умовою роботи підприємства та залежить від виробника, постачальника, споживача та ін.;

- можливі проблеми з постачанням електроенергії на далекі відстані;

- тривалість проектів в енергетичній галузі (від короткострокових (до 1 року) до довгострокових – до 10 років і більше);

- велика кількість організацій учасників проектів (до 20 і більше) та соціальних складових, що призводить до значних ризиків, пов'язаних зі стейкхолдерами ПВЕ, збільшення невизначеностей та відхилень у їх ціннісних установках, комунікаціях та ін.;

- проблеми, пов'язані з реформуванням енергетичної галузі, які призводять до збільшення кількісного складу проектів (укрупнення компаній), змін у територіальному розподіленні, ускладнення ієрархічної структури управління й ін.;

- підвищення рівня енергетичної незалежності та виконання вимог щодо енергетичної безпеки країни (згідно з Концепціями енергетичної безпеки і енергетичної політики України проекти з розробки та впровадження нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії дають змогу знизити залежність національної економіки від негативного впливу проблем, які виникають у паливно-енергетичному комплексі через дефіцит власних енергетичних ресурсів та необхідність їх зовнішнього постачання);

- екологічність, зниження шкідливого впливу на довкілля (енергія вітру є самопоновлюваною і відносно безпечною, не потребує буріння і добування корисних копалин, не виділяє шкідливих речовин у процесі експлуатації, її використання приводить до зниження парникового ефекту та глобального потепління);

- вирішення соціально-економічних питань розвитку держави (забезпечення робочими місцями, енергозабезпечення країни відносно дешевою та окупною електроенергією);

- велика кількість невизначеностей та ризиків (більше 100), особливо стейкхолдерів таких проектів;

- висока інвестиційна привабливість (наявність системи законодавчих норм, що регламентують діяльність вітчизняних та закордонних інвесторів у сфері залучення інвестицій в галузі вітроенергетики);

- операційна ефективність – висока ефективність забезпечується за рахунок державного регулювання;

- середній термін окупності – термін окупності залежить від багатьох факторів: потужності, розташування, тарифу, експлуатаційних витрат та ін.;

- можливі механічні й аеродинамічні шуми, вирішення яких можливе за рахунок активних та пасивних інженерних рішень.

Управління проектами, зокрема і вітроенергетики, являє собою організацію, планування, керівництво, координацію людських і матеріальних ресурсів протягом життєвого циклу проекту, спрямовану на ефективне досягнення його цілей шляхом застосування системи сучасних методів, техніки й технологій управління для досягнення визначених у проекті результатів за складом і обсягом робіт, вартості, часу та якості [6]. Успішна реалізація енергетичних проектів неможлива без належного управління.

Під управлінням ПВЕ розуміється діяльність, спрямована на реалізацію проекту, тобто на отримання такого продукту, як енергетика, за рахунок сили вітру, з максимально можливою ефективністю при заданих обмеженнях щодо часу, коштів і якості кінцевих результатів.

Управління проектами вітроенергетики має свої особливості [4, 5, 10, 11, 15-19], це:

– інноваційність та складність виробництва й технічного оснащення ПВЕ;

– множинність проектів та їх масштаби;

– необхідність підтримки активізації впровадження іноземного капіталу та розвитку нових форм міжнародної співпраці;

– високі вимоги до маневрування генеруючих установок, що пов'язано з високою динамічністю енергоспоживання (в кожний період часу необхідно виробляти таку кількість енергії, яка необхідна для споживання);

– високі вимоги до забезпечення балансування з зовнішнім середовищем (створення резервів потужностей, необхідних для проведення ремонтних робіт енергосистеми за підтримки якості виробленої енергії; збіг за часом процесів виробництва та споживання енергії; гарантованість і надійність енергозабезпечення економіки та населення в повному обсязі в звичайних умовах та в мінімально необхідному обсязі при загрозі виникнення надзвичайних ситуацій);

– стратегічна орієнтація на енергетичну та екологічну безпеку;

– застосування множини різних механізмів та методів управління ПВЕ;

– потреба в управлінні ризиками ПВЕ, що пов'язані з великими проектними командами, активністю соціально-політичних та громадських організацій до об'єктів управління, їх взаємодією й ін.;

– забезпечення зв'язку із стратегічним менеджментом компанії;

–орієнтованість на технічне переоснащення енергетичної галузі та її об'єктів, підприємств, систем, що базується на інтегрованій взаємодії традиційних енергетичних проєктів підприємств з ПВЕ на основі ефективної науково-технічної політики держави та діяльності електроенергетичних компаній;

–коригування планів ПВЕ протягом усього життєвого циклу;

–залежність від великої кількості стейкхолдерів, починаючи від інвесторів та політиків і до громадських організацій та населення, яке живе поблизу, необхідність комунікації й інтегрування всіх учасників ПВЕ (існуючі невизначеності та неузгодження призводять до високих ризиків, пов'язаних зі стейкхолдерами ПВЕ, які ставлять під загрозу впровадження та ефективність реалізації таких проєктів).

Все це свідчить про багатокритеріальність такого управління, а для досягнення результативності та ефективності при управлінні ПВЕ необхідно враховувати їх особливості, зовнішні та внутрішні впливи й відхилення, які призводять до ризиків, зокрема ризиків стейкхолдерів. Тому надалі потрібним і обов'язковим є дослідження інтенсивності впливу стейкхолдерів на ефективність управління ПВЕ в поєднанні з небезпеками та невизначеностями їх рішень, впливів, взаємодії або протидії.

Висновки. Неможливо недооцінювати розвиток вітроенергетики на території України. Саме він є одним із перспективних напрямів гарантування безпеки економіки та енергетичної незалежності для нашої країни нарівні з екологічною безпекою, наданням робочих місць, підняттям фінансового рівня тощо. Завдання забезпечення ефективного управління проєктами вітроенергетики є не тільки актуальним, але й економічно обґрунтованим.

У рамках дослідження: 1) виконано аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних вчених та дослідників у сфері управління проєктами альтернативної енергетики й ПВЕ та виявлено проблеми такого управління; 2) виявлено види ПВЕ та їх особливості, які розглянуті в рамках категорій; 3) виділено відмітні ознаки ПВЕ та особливості управління ними; 4) визначено, що ПВЕ є дуже залежними від великої кількості стейкхолдерів і невизначеностей, пов'язаних з ними; 5) подальші дослідження необхідно спрямувати на вивчення

впливу стейкхолдерів на ефективність управління ПВЕ.

Список літератури

- [1] В. В. Круглов, "Розвиток альтернативної енергетики з використанням механізмів державно-приватного партнерства", *Теорія та практика державного управління*, вип. 3, с. 127-131, 2015.
- [2] Wind in power: 2014 European statistics; European Wind Energy Association. [Online]. Available: http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind_in_power_annual_statistics_2012.pdf.
- [3] International Energy Agency: "World Energy Outlook (WEO)". [Online]. Available: <http://www.iea.org/weo2017/>.
- [4] К. В. Кошкин, и С. К. Чернов, "Экономическое оздоровление наукоемких производств через их реорганизацию", *Управление проектами та розвиток виробництва*: зб. наук. праць, № 4 (16), с. 54-60, Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005.
- [5] О. Б. Данченко, та Н. І. Борисова, "Методи управління ризиками проєктів альтернативної енергетики", *Вісник НТУ "ХП"*: зб. наук. праць, № 2, с. 52-58, Харків: НТУ ХП, 2014.
- [6] І. Б. Семко, Н. І. Борисова, та Д. В. Копил, "Проекти створення та використання альтернативних джерел енергії", *Управління розвитком складних систем*: зб. наук. праць, № 20, Київ: КНУБА, 2014, с. 61-66.
- [7] О. А. Корпач, та А. В. Ковальов, "Вітрові двигуни – альтернативні енергоустановки", *Вісник НТУ. Серія: Технічні науки*: наук.-техн. зб.: у 2 ч., ч. 1, вип. 30, с. 181-185, Київ: НТУ, 2014.
- [8] О. М. Теліженко, та К. Ю. Репа, "Проблеми впровадження альтернативних джерел енергії в Україні", на *Міжнар. наук.-практ. конф. ім. проф. О. Ф. Балацького. Економічні проблеми сталого розвитку*. Суми: СумДУ, 2015, с. 45-46.
- [9] А. В. Татомир, "Узгодження конфігурацій проєктів сервісних та обслуговуваних систем (стосовно електрозабезпечення сільськогосподарських підприємств за використання енергії вітру)", автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22, Львів. нац. аграр. ун-т, Львів, 2009.

- [10] Н. І. Борисова, "Сучасні методи і засоби управління ризиками в застосуванні до управління проектами альтернативної енергетики", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 19-25, 2014 (*Технічні науки*).
- [11] О. М. Возний, та Н. І. Борисова "Ціннісно-орієнтоване управління проектами альтернативної енергетики", *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами, № 2 (1224), с. 72-78, Харків: НТУ «ХПІ», 2017.
- [12] И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге, и А. В. Полковников, *Управление проектами: учеб. пособие для студентов, обуч. по спец. «Менеджмент организации», 6-е изд. стер.* Москва: Омега-Л, 2010 (*Современное бизнес-образование*).
- [13] С. Д. Бушуєв, Н. С. Бушуєва, А. Я. Казарєзов, та К. В. Кошкін, *Управління проектами та програмами: підручник*. Миколаїв: Торубариос, 2010.
- [14] І. Б. Семко, та Н. І. Борисова, "Особливості проектів використання нетрадиційних джерел енергії", на *X міжнар. конф. Управління проектами у розвитку суспільства*, Київ: КНУБА, 2013, с. 225-227.
- [15] О. О. Бакуліч, та А. В. Севост'янова, "Проблеми вітроенергетичної галузі при розробці та управлінні проектами", *Вісник Національного транспортного університету. Серія: Технічні науки: наук.-техн. зб., вип. 3 (42)*, с. 3-9, Київ: НТУ, 2018.
- [16] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Analysis of information and mathematical methods of resource management in the development of projects of a wind power company", in *Internat. Sci. Conf. Globalization and modern business challenges*, Tbilisi, 2018, pp. 12-17.
- [17] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Analysis of theoretical provisions of project management in the context of project management in the wind energy sector", in *Konferencje naukowa Rozwoj systemow i srodkow transport samochodowego – SAKON 2018*, Rzeszow, 2018, pp. 56-62.
- [18] О. О. Бакуліч, и А. В. Севостьянова, "Методы управления проектами в сфере ветроэнергетики", на *Internat. Sci.-Pract. Conf. Economics, Business and Tourism: Challenges, Achievements and Innovations*, Kutaisi, 2017, с. 16-19.
- [19] І. Б. Семко, "Моделі та методи управління ризиками портфелів проектів в енергетичній галузі", дис. канд. техн. наук: 05.13.22, Черкаси: ЧДТУ, 2012.

References

- [1] V. V. Kruhlov, "Development of alternative energy using public-private partnership mechanisms", *Teoriia ta praktyka derzhavnoho upravlinnia*, iss. 3, pp. 127-131, 2015 [in Ukrainian].
- [2] Wind in power: 2014 European statistics; European Wind Energy Association. [Online]. Available: http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind_in_power_annual_statistics_2012.pdf
- [3] International Energy Agency: "World Energy Outlook (WEO)". [Online]. Available: <http://www.iea.org/weo2017/>
- [4] K. V. Koshkin, and S. K. Chernov, "Economic recovery of knowledge-intensive industries through their reorganization", *Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytstva: proceed. of sci. papers*, no. 4 (16), pp. 54-60, 2005 [in Russian].
- [5] O. B. Danchenko, and N. I. Borysova, "Methods for management of risks of alternative energy projects", *Visnyk NTU "KhPI": coll. of sci. papers*, no. 2, pp. 52-58, 2014 [in Ukrainian].
- [6] I. B. Semko, N. I. Borysova, and D. V. Kopyl, "Projects on creation and use of alternative energy sources", *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system: coll. of sci. papers*, no. 20, pp. 61-66, 2014 [in Ukrainian].
- [7] A. O. Korpach, and A. V. Kovalov, "Wind engines – alternative power plants", *Visnyk NTU. Serii: Tekhnichni nauky: sci.-tech. coll.: in 2 parts, part 1*, iss. 30, pp. 181-185, 2014 [in Ukrainian].
- [8] O. M. Telizhenko, and K. Yu. Repa, "Problems of implementation of alternative energy sources in Ukraine", *Proc. prof. A. F. Balatsky Internat. Sci.-Pract. Conf. Economic problems of sustainable development*, Sumy, 2015, pp. 45-46 [in Ukrainian].

- [9] A. V. Tatomyr, "Coordination of project configurations of service and serviced systems (regarding electric power supply of agricultural enterprises at the use of wind energy)", M.S. author's abstract, Lviv, 2009 [in Ukrainian].
- [10] N. I. Borysova, "Modern methods and means of risk management in application to the management by alternative energy projects", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 19-25, 2014 [in Ukrainian].
- [11] O. M. Voznyi, and N. I. Borysova, "Value-oriented management by alternative energy projects", *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy*, no. 2 (1224), pp. 72-78, 2017 [in Ukrainian].
- [12] I. I. Mazur, V. D. Shapiro, N. G. Olderogge, and A. V. Polkovnikov, *Project management: manual*. Moscow: Omega-L, 2010 [in Russian].
- [13] S. D. Bushuiev, N. S. Bushuieva, A. Ya. Kazariezov, and K. V. Koshkin, *Project and Program management: manual*. Mykolaiv, Torubarius, 2010 [in Ukrainian].
- [14] I. B. Semko, and N. I. Borysova, "Features of projects using non-traditional energy sources", in *Proc. Internat. Conf. Project management in society development*, Kyiv, 2013, pp. 225-227 [in Ukrainian].
- [15] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Wind power industry problems in project development and management", *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky: sci.-tech. coll.*, iss. 3 (42), pp. 3-9, 2018 [in Ukrainian].
- [16] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Analysis of information and mathematical methods of resource management in the development of projects of a wind power company", in *Internat. Sci. Conf. Globalization and modern business challenges*, Tbilisi, 2018, pp. 12-17.
- [17] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Analysis of theoretical provisions of project management in the context of project management in the wind energy sector", *Konferencje naukowa Rozwoj systemow i srodkow transport samochodowego – SAKON 2018*, Rzeszow, 2018, pp. 56-62.
- [18] O. O. Bakulich, and A. V. Sevostianova, "Methods of project management in the field of wind power", in *Internat. Sci.-Pract. Conf. Economics, Business and Tourism: Challenges, Achievements and Innovations*, Kutaisi, 2017, pp. 16-19 [in Russian].
- [19] I. B. Semko, "Models and methods of project portfolio risk management in energy sector", M.S. thesis, Cherkasy, 2012 [in Ukrainian].

T. A. Vorkut, Dr.Tech.Sc., associate professor, head of the department of transport law and logistics,
e-mail: tpsalkaf@mail.ntu.edu.ua

A. V. Sevostianova, postgraduate student of the department of management,
e-mail: sevostianova1607@gmail.com

National Transport University
Omelianovycha-Pavlenko str., 1, Kyiv, 01010, Ukraine

SPECIFIC FEATURES OF WIND POWER PROJECTS AND THEIR MANAGEMENT SPECIFICATION

The urgency of adapting the energy policy of many developed countries to the development of alternative energy sources is conditioned by global climate changes, the consequences of accidents at nuclear power plants, rising energy prices, and growing energy needs. Wind energy is recognized by European scientific community as one of the priority directions in the development of electricity generation in the world. For our country, wind energy is an extremely important branch, the development of which will reduce Ukraine's dependence on imported fuels and harmful emissions of greenhouse gases and other sources of environmental pollution.

The development of wind energy and the successful implementation of wind energy projects require the right and skillful management, which takes into account the specific features of such pro-

jects, the requirements of all stakeholders of projects, their environment and the industry as a whole. Such management should be based on the best practices in project management science and should be aimed at increasing the efficiency of wind energy projects under turbulent stochastic environment.

In the article the state and problems of the development of alternative energy are analyzed. The urgency of alternative energy development and the necessity of transition to alternative energy sources are determined. The possibility and priority of the use of wind energy in Ukraine are established. The problem issues in the field of wind energy are identified and existing researches in the management by wind energy projects are analyzed. Based on the results of the analysis, the types of wind energy projects are identified, as well as their specific features are disclosed. The categorization of wind energy projects according to various classifications is carried out. The basic distinctive features of wind energy projects are highlighted and peculiarities of their management are specified. It has been established that the management by wind energy projects is multifactorial and risk-oriented. The effectiveness of management largely depends on a significant number of stakeholders and the uncertainties associated with them.

Keywords: *alternative energy, wind power engineering, wind power project, project management. manage-*

Д. І. Бедрій

e-mail: dimi7928@gmail.com

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»,
вул. Буніна, 31, м. Одеса, 65026, Україна**КЛАСИФІКАЦІЯ КОНФЛІКТІВ У НАУКОВИХ ПРОЕКТАХ**

На сьогоднішній день запровадження методології управління проектами стає дієвим інструментом для впровадження сучасних підходів, моделей та методів у різних сферах діяльності людини і дає змогу підвищити їх ефективність. Управління усіма учасниками будь-якого проекту вимагає від керівника проекту та його команди неабияких зусиль, для того щоб задовольнити усі потреби та забезпечити отримання цінностей. У зв'язку з цим у процесі реалізації проекту можуть виникати конфлікти як усередині команди, так і зовні. Стаття присвячена науковій проблемі ідентифікації та систематизації конфліктів проекту. Проведено аналіз існуючих підходів до типології й систематизації конфліктів у психології та менеджменті. За його результатами автор запропонував удосконалити їх шляхом систематизації конфліктів у наукових проектах. Удосконалена класифікація конфліктів у наукових проектах дасть керівнику проекту можливість своєчасно реагувати на виникнення конфліктних ситуацій шляхом якісної реалізації заходів щодо запобігання конфліктам.

Ключові слова: методологія управління проектами, науковий проект, людські ресурси, конфлікти, ознаки, систематизація, класифікація.

Вступ. Розвиток будь-якої сфери діяльності вимагає запровадження проектного підходу, що проявив себе як дієвий інструмент. Сучасний стан розвитку методології управління проектами сьогодні ґрунтується на різних аспектах, таких як: процеси [1], цінність [2], компетентність [3] та креативність [4].

Виходячи з наведених аспектів, можна дійти висновку, що своєчасна та якісна реалізація будь-якого проекту пов'язана із злагодженою роботою команди проекту.

Процес управління командою проекту полягає у відстеженні діяльності кожного його учасника, забезпеченні зворотного зв'язку, вирішенні проблем та управлінні змінами в команді з метою забезпечення оптимізації виконання проекту [1]. Ключовою вигодою цього процесу є вплив на поведінку команди, управління конфліктами та вирішення проблем, що виникають.

У сучасній методології управління проектами відсутня окрема компонента управління конфліктами в проекті, а також не проведена систематизація конфліктів. Робота присвячена науковій проблемі ідентифікації та систематизації конфліктів у проектах. Керівник проекту повинен вивчати поведінку кожного окремого члена команди з метою своєчасного

запобігання конфліктам та їх уникнення, що, у свою чергу, дасть змогу забезпечити реалізацію проекту у встановлені терміни, в рамках затвердженого бюджету та отримати якісний продукт проекту.

Аналіз останніх досліджень. Планування управління людськими ресурсами має важливе значення для планування та реалізації будь-яких проектів. Методологія управління проектами [1] включає рекомендації стосовно кожного учасника команди проекту та вимоги, які до них висувуються. Головну роль у керівництві командою проекту відіграє керівник проекту для досягнення його цілей. Ця роль чітко відстежується протягом усього проекту. Більшість керівників проекту починають свою роботу над проектом з моменту його ініціації та працюють над ним до повного завершення. Однак у деяких випадках проектний менеджер може залучатися до роботи з оцінювання та аналізу ще до ініціації проекту. Роль керівника проекту в управлінні проектом може бути різною у різних організаціях і адаптуватися з урахуванням особливостей організації та самого проекту. Також досягнення цілей проекту залежить від ефективної та злагодженої роботи не тільки керівника проекту, а й усієї його команди, тому це є ще

одним із завдань, що постають перед проектним менеджером. У компонентах методології управління проектами, таких як управління людськими ресурсами та управління стейкхолдерами, є процес управління конфліктами, який полягає у застосуванні методів управління конфліктами, але цього недостатньо для якісного управління учасниками проекту.

Відповідно до [2] керівники проектів повинні, крім професійних здібностей, додатково отримувати ще й соціальне визнання. Професіонали, які спрямовані на досягнення місії, мають демонструвати компетенції (можливості) у трьох аспектах: систематичні знання у галузі управління проектами та програмами; практичний досвід управлінської діяльності; психологія, особисті якості та етика. В процесі розгляду третього аспекту не враховується поведінка людини, яка може призвести до виникнення конфліктів у процесі реалізації проекту.

У роботі [3] систематизовано та представлено з урахуванням специфіки України основи професійних знань та систему оцінювання компетенцій проектних менеджерів. Модель системи знань та оцінювання компетентності структурована за трьома напрямками – люди, практика та перспектива, яка представлена у вигляді ока, що відображає компетентний погляд на інтеграцію усіх елементів управління проектом з точки зору проектного менеджера, який оцінює конкретну ситуацію. Зокрема, у людській компетенції розглянуто таку компетенцію, як конфлікти та кризи, але систематизації конфліктних ситуацій не наведено.

Креативні технології управління проектами та програмами [4] дають змогу в умовах турбулентного оточення і високого рівня невизначеності управляти креативним та когнітивним потенціалом команд менеджерів і будувати стратегії проектів та програм розвитку для забезпечення досягнення поставленої мети. Однак цього недостатньо, тому що при застосуванні креативних технологій є велика ймовірність виникнення конфліктів серед учасників проекту, але автори це питання не розглядали.

У роботі [5] розглянуто питання управління проектами з точки зору лідерства, а також визначено фактори, що забезпечують успіх проекту, зокрема: володіння професійною

мовою спільно з мовою проектного менеджменту; вміння забезпечувати взаєморозуміння і необхідну мотивацію команди менеджерів та інших учасників проекту; інтерпретація поведінки учасників проекту у контексті досягнення мети проекту. Автором у цій роботі не враховано те, що лідерство може сприяти виникненню конфліктів між учасниками проекту.

Демарко Т. та Лістер Т. у своїй роботі з управління проектами розроблення програмного забезпечення [6] демонструють те, що складні проблеми його розроблення мають людську, а не технічну природу, тому запропонували принципи врахування людського фактора як запоруку успішних проектів та команд, що підкріплені результатами наукових досліджень. Проте авторами не розглядалося питання управління конфліктами, яке дуже тісно пов'язане з діяльністю людини.

Бушуєва Н. С. у роботі [7] відзначила, що застосування типових методів управління командою без урахування індивідуальних психологічних особливостей – психотипу кожної окремої людини – може призводити до непередбачених результатів у зв'язку з виникненням несумісності внутрішніх задатків з виконанням певних робіт і різних конфліктів у неструктурованій за психотипами команді проекту. Крім того, розглянуто метод морфологічного аналізу, який дає змогу підвищити ефективність взаємодії між членами команди соціального проекту. Визначено підхід, який дає можливість системно дослідити різні схеми формування команди на основі ознак Рейніна соціонічного типу, за результатами застосування якого запропоновано морфологічну матрицю створення команди соціального типу. Однак цей метод при формуванні команди проекту не враховує таку ознаку, як конфліктність кожного окремого члена команди.

У роботі [8] розглянуто застосування теорії можливостей при формуванні команди проекту. Висунуто пропозицію, що команда проекту – це нечітка множина, яка задається за допомогою функції належності відповідного учасника до цієї команди. Визначено умови ефективності командної роботи на стадії ініціації проектів. Запропоновані умови ефективної роботи команди проекту не враховують показник конфліктності її членів.

Автором у [9] наведено, що побудова моделей розвитку компетентності команди та

організації у контексті довіри є актуальною науковою задачею, вирішення якої дасть можливість підвищити ефективність управління та результативність проектів. Також досліджено зв'язок між компетентністю і довірою у середовищі команди проекту та організації. Крім того, створено моделі оцінювання та розвитку компетентності у контексті довіри для команди проекту та організації, які дають змогу аналізувати залежність між довірою та компетентністю й формувати рекомендації щодо розвитку. Розроблена автором «Модель програми розвитку компетентності організації у контексті довіри» дає можливість наочно представити зв'язок між компетентністю й довірою у часі та аналізувати поведінку системи в точках біфуркації. Однак ця модель не включає процес ідентифікації та систематизації конфліктів.

У роботі [10] Данченко О. Б. відзначила, що сучасна методологія управління проектами та програмами потребує посилення уваги і зусиль проектною командою в розрізах управління проектними відхиленнями, оскільки мінливість зовнішнього середовища (в політичному, правовому, економічному, соціальному та інших аспектах) призводить до нестабільності та мінливості стану проекту, що може негативно впливати на досягнення його результату. До негативних відхилень у проекті можуть призводити не тільки ризики, проблеми та зміни, а також конфлікти, стреси та кризи. Також автором за результатами опитування було встановлено, що між ризиками, змінами, проблемами, конфліктами, кризами, стресами у проекті може бути наявний причинно-наслідковий зв'язок, оскільки джерелом будь-якої зміни може виступати ризикована подія, внесені до проекту зміни можуть викликати виникнення нового ризику чи проблеми, чи призвести до конфлікту, не виявлена або не вирішена своєчасно проблема (конфлікт) може перерости в ризик, прийняття рішення щодо вирішення проблеми може викликати зміни в проекті, не знятий стрес – перерости в проблему, невирішена проблема – перерости в кризу. Ця робота може стати у нагоді при ідентифікації та систематизації конфліктів проекту.

Новікова Н. у роботі [11] торкнулася проблеми вивчення та аналізу конфліктних ситуацій в організаціях, які можуть впливати як на результати діяльності персоналу, так і

на морально-психологічний клімат у колективі. Конфлікти завдають значної шкоди ефективній взаємодії у групах, стають причиною втрат виробничих ресурсів та часу. Поряд із тим своєчасно виявлені та вирішені конфліктні ситуації можуть стати засобом вирішення актуальних завдань. Конфлікти пов'язані з дією людського фактора в організації, тому важливе значення для сучасних керівників має оволодіння технікою управління ними, на противагу необхідності вирішення конфліктних проблем з їх наслідками. Але автором не розглядалося питання управління конфліктами у проектах.

Питання управління людськими ресурсами у будь-якому проекті, зокрема й науковому [12], на сьогоднішній день є дуже актуальним, особливо у частині врахування позитивного або негативного впливу людського фактора на успіх проекту.

У роботі [13] автором було проведено дослідження створення високоефективної команди наукового проекту, від спільної роботи якої залежить чи буде завершений проект вчасно, в рамках затвердженого бюджету, та продукт якого буде мати відповідну якість. Крім того, керівник проекту повинен забезпечити конструктивну роботу всієї команди наукового проекту.

Автором у роботі [14] розглядалося управління конфліктами наукового проекту та було запропоновано застосовувати його як нову компоненту методології управління проектами. Ця компонента повинна включати процеси планування управління конфліктами проекту, ідентифікації конфліктів, аналізу конфліктів, планування реагування на конфлікти, здійснення реагування на конфлікти та моніторингу конфліктів.

Отже, сучасний швидкий ритм життя будь-якої людини має негативні наслідки для самопочуття та психофізичного стану особистості, призводить до перевтоми, інформаційних стресів, депресій та нервових зривів. А це, у свою чергу, провокує конфлікти в різних сферах суспільної та професійної діяльності людей. Управління конфліктами науковцями розглядається тільки у психології та менеджменті, але особливу увагу необхідно приділити конфліктам в управлінні проектами, зокрема науковими. Науковці, які є основними виконавцями наукових проектів, не є винятком

із загальної ситуації, тому керівник такого типу проектів повинен забезпечити продуктивну, творчу та якісну діяльність своєї команди та членів.

Метою статті є ідентифікація та аналіз конфліктів наукових проектів, виділення їх типів та удосконалення існуючих класифікацій конфліктів шляхом застосування їх у наукових проектах.

Викладення основного матеріалу. Управління командою проекту має бути спрямоване на забезпечення ефективного використання потенціалу усіх учасників проекту.

До основних аспектів управління командою проекту можна віднести наступні:

- особистісні, зокрема: лідерство, комунікація, ведення переговорів, делегування повноважень, мотивація, тренінги, навчання;
- групові, зокрема: комплектування команди, розгляд конфліктів;
- загальні, зокрема: оцінювання виконання, залучення нових виконавців, трудові відносини, питання охорони праці.

На стадії ініціації будь-якого проекту, зокрема й наукового, повинна бути сформована організаційна структура, яка має на меті виконання всього проекту – від початку до його завершення.

Процес формування команди проекту полягає у цілеспрямованій побудові особливого засобу взаємодії людей у групі, що дає змогу ефективно реалізовувати їхній професійний, інтелектуальний і творчий потенціали відповідно до стратегічних цілей проекту.

Однак, навіть якщо керівник проекту зможе сформувати оптимальний склад команди проекту, то це не завжди може полегшити його роботу, а іноді й призвести до ускладнень. Це може бути пов'язане з тим, що справжніми фахівцями складніше керувати, ніж пересічними спеціалістами, зокрема: вони більш амбітні, незалежні у своїх судженнях, менш дисципліновані, не дуже сприймають командний тон.

До основних рис ефективної команди можна віднести такі:

- неформальна атмосфера;
- завдання, які ставляться перед членами команди, добре зрозумілі;
- члени команди прислухаються один до одного;

- в обговоренні завдань беруть участь усі члени команди;

- її члени не тільки відкрито висловлюють свої думки, а й виражають свої почуття;

- конфлікти й розбіжності обов'язково мають місце, але пов'язані виключно з ідеями, а не з особистостями.

Основними виконавцями наукових проектів є науковці [12], їх діяльність є інтелектуальною та творчою [15], а також емоційною, тому в процесі виконання наукового проекту можуть виникати конфліктні ситуації, які можуть бути пов'язані не тільки з ідеями щодо наукового продукту, а й особистісними переконаннями та думками.

Для захисту від конфліктних ситуацій керівники наукових проектів повинні звертатися до такої науки, як психологія, з якої можна отримати теоретичне обґрунтування механізмів і практичні рекомендації щодо гармонізації стосунків з членами команди проекту та стейкхолдерами, врівноваження свого внутрішнього стану, запобігання й розв'язання різноманітних конфліктів тощо.

У більшості випадків науковці у своїх висновках приходять до такого визначення конфлікту, як процес крайнього загострення суперечностей та боротьби двох чи більше сторін у розв'язанні значущої для них проблеми, який супроводжується негативними емоціями й вимагає розв'язання. Крім того, ця сутичка може бути як відкритим, так і прихованим протистоянням цих сторін внаслідок відстоювання ними взаємовиключних інтересів, цілей, позицій, суджень чи поглядів. При цьому кожна з конфліктних сторін вважає себе правою і рішуче вступає в боротьбу за ці інтереси [16].

Тому будь-який конфлікт передбачає наявність учасників та проблеми, через яку він відбувається.

Передумовами виникнення конфлікту є: наявність ситуації, що сприймається учасниками як неприйнятна для них, тобто конфліктна; неподільність об'єкта конфлікту, через що вирішення своїх проблем однією стороною стає можливим лише за рахунок іншої сторони.

Головними ознаками конфлікту є: усвідомлення сторонами протилежної спрямованості інтересів, мотивів і суджень сторін; від-

крите або приховане протиборство сторін, завдання ними взаємних збитків; психологічна напруженість, наявність негативних емоцій стосовно іншої сторони; втягування учасників у конфліктну взаємодію, що ускладнює її припинення.

Значення конфліктів у суспільстві полягає в тому, що вони, незважаючи на їх руйнівний характер і негативне сприйняття людьми, забезпечують розвиток суспільства чи підприємства або проекту й запобігають застою, стагнації. З цих позицій конфлікт розглядається конфліктологами як фактор динамічної стабільності організації.

Структурно конфлікт являє собою сукупність стійких зв'язків його складових елементів, що забезпечують його цілісність, відмінність від інших явищ соціального життя, але без яких він не може існувати як цілісна система і як процес. Оскільки кожний конфлікт має об'єктивний зміст і компоненти, які можна констатувати й спостерігати, а також суб'єктивне значення, яке для кожної з конфліктуючих сторін є своїм й не виявляється вочевидь, то у структурі конфлікту виявляють його об'єктивні та суб'єктивні складові.

До об'єктивних складових структури конфлікту відносять його учасників, предмет, об'єкт, проблему конфлікту та умови його перебігу.

До суб'єктивних (психологічних) складових – образ конфлікту, його мотиви, позиції сторін-конфліктерів.

Аналіз сутності та структури конфлікту показує, що деякі загальні питання чи аспекти конфліктів важко розглядати, не враховуючи специфіки окремих проявів конфлікту. У той же час кожний конкретний конфлікт має спільні риси з багатьма іншими, подібними до нього [17].

Для систематизації різних видів конфліктів конфліктологи пропонують їх класифікацію, що групує конфлікти за тими або іншими властивими їм характеристиками, що виступають як підстава для типологізації різних конфліктів [18]. Підставою для типологізації, тобто віднесення даного конфлікту до того чи іншого різновиду, можуть бути його учасники (наприклад конфлікти між окремими людьми або між державами); їхня кількість (двосторонні, багатосторонні конфлікти); сфери, в

яких стикаються інтереси учасників конфлікту (зокрема виробничі, сімейні, політичні конфлікти); характер і форми перебігу конфлікту (розрізняють приховані, відкриті, збройні конфлікти); а також його тривалість, причини виникнення тощо. Однак жодна класифікація конфліктів не може вважатися закінченою й тому є відносною та умовною [19]. Головна мета будь-якої класифікації – це допомогти пояснити конфлікт та знайти адекватні способи його розв'язання або попередження [18, 20].

Важливою характеристикою конфлікту є гострота протидії сторін, що беруть участь у ньому. В західній конфліктології ця характеристика називається інтенсивністю конфлікту. На цій підставі виділяють конфлікти низької, середньої та високої інтенсивності. Конфлікт низької інтенсивності проходить у формі суперечки між опонентами. Конфлікт найвищої інтенсивності завершується фізичним знищенням однієї зі сторін [19]. Американські конфліктологи (Р. Даль, 1978, та ін.) класифікують соціальні конфлікти в суспільстві за кількістю сторін, що беруть участь у конфлікті, та їх наслідками.

Найважливішою особливістю конфлікту є характер потреби людини, за задоволення якої вона бореться. Відповідно до теорії американського психолога А. Маслоу потреби можна згрупувати, виділивши в них п'ять ієрархічно зв'язаних рівнів. До них відносяться потреби фізіологічні – у безпеці та захищеності, соціальні – потреба в повазі, потреба самовираження та самоактуалізації. У випадку незадоволення кожної з цих потреб людина може йти на конфлікт. Виходячи з цього, можна виділити п'ять типів конфліктів. Якщо використовувати більш узагальнену градацію блокованих потреб і представити їх у вигляді матеріальних, соціальних та духовних, то класифікація конфліктів буде мати вигляд, зображений на рисунку 1 [21].

Залежно від сфери діяльності людини конфлікти розрізняють на сімейні, побутові, виробничі, трудові, політичні. Однією з істотних ознак конфлікту є характер та особливості сторін, що беруть участь у ньому. Від того, ким представлені сторони, що конфліктують, вирішальним чином залежить характеристика самого конфлікту.

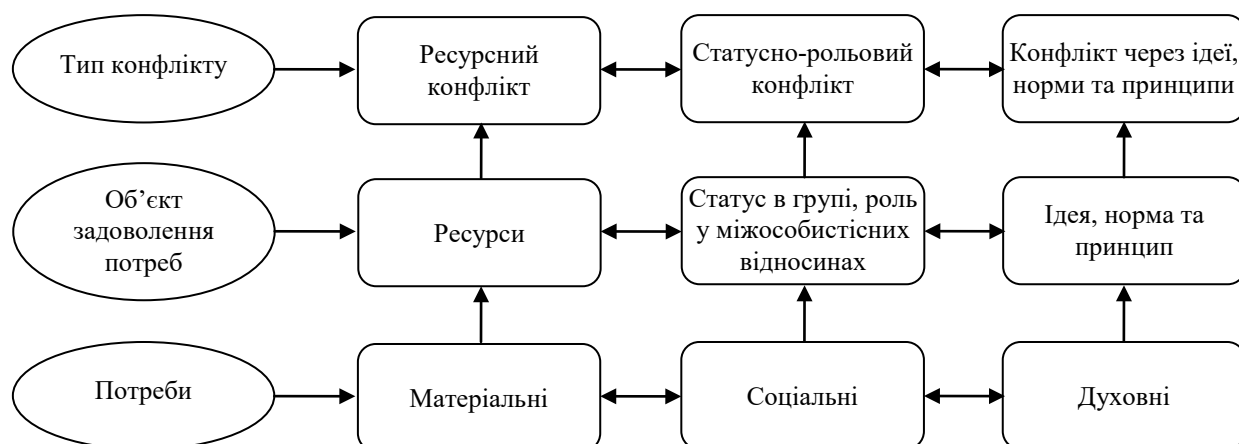


Рисунок 1 – Типи конфліктів за А. Маслоу залежно від потреб людини

Виходячи з цього, типологію конфліктів можна зобразити у вигляді рисунка 2 [20]. Кожний конфлікт може мати конструктивні та деструктивні функції. Залежно від співвідно-

шення позитивних і негативних елементів у цього типу конфліктах їх поділяють на конструктивні, що мають позитивні та негативні наслідки одночасно, і деструктивні.

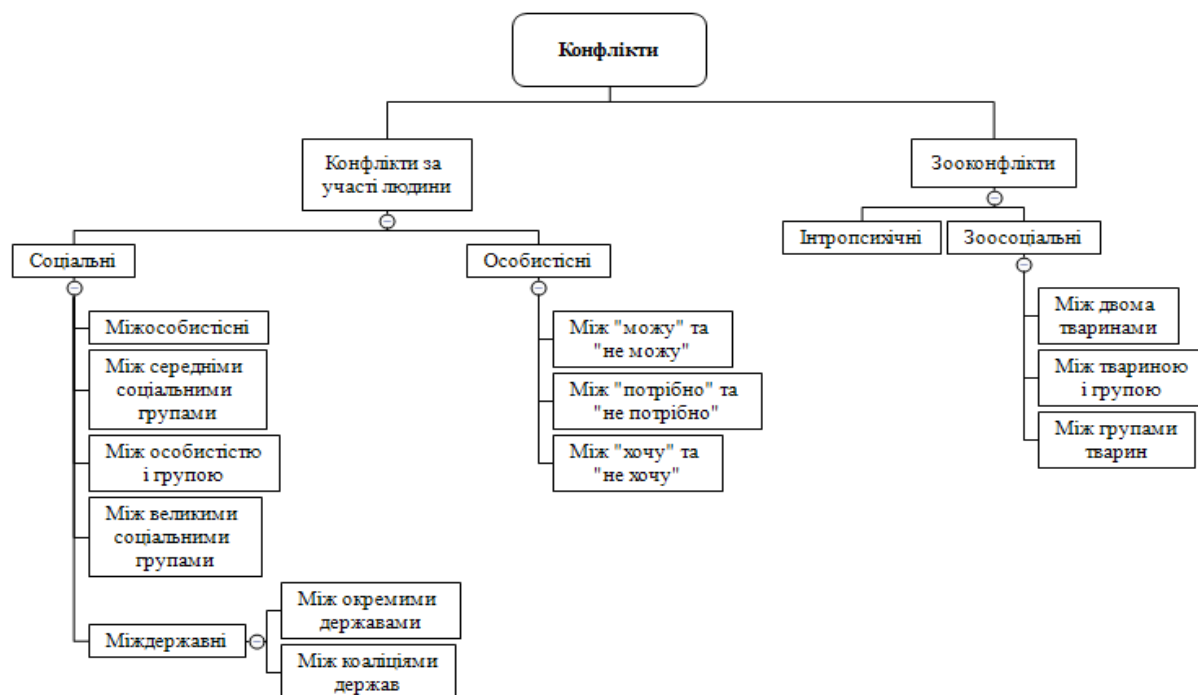


Рисунок 2 – Види конфліктів за сферою діяльності людини

Різноманітність конфліктів дуже залежить від закладених у них причинно-мотиваційних зв'язків. З огляду на це, Н. Гришина [19] за результатами вивчення виробничих конфліктів виділила конфлікти, що виникають як реакція на: перешкоду до досягнення первинних, тобто основних, цілей трудової діяльності; перешкоду до досягнення вторинних, що мають особистий характер,

цілей спільної трудової діяльності; поведінку, що не відповідає прийнятим нормам відносин та поведінці людей у спільній трудовій діяльності, не відповідає їхнім очікуванням; особисті конфлікти, що виникають через особистісні особливості членів трудового колективу.

Міжособистісні конфлікти між опонентами залежно від характеру відносин підпорядкованості можна класифікувати на конф-

лікти «по вертикалі», «по горизонталі» й «по діагоналі» – коли опоненти знаходяться у відношеннях непрямої підпорядкованості.

Найповнішу схему видів конфлікту персоналу в організаціях розробив С. Ємельянов (таблиця 1) [19].

Таблиця 1 – Класифікація конфліктів персоналу в організаціях за С. Ємельяновим [19]

Кваліфікаційні ознаки конфліктів	Види конфліктів	Загальна характеристика
Сфера прояву конфлікту	Економічні	В основі лежать економічні протиріччя
	Ідеологічні	В основі лежать протиріччя у поглядах
	Соціально-побутові	В основі лежать протиріччя соціальної сфери
	Сімейно-побутові	В основі лежать протиріччя сімейних відносин
Суб'єкти конфліктної взаємодії	Внутрішньоособистісні	Зіткнення протилежно спрямованих мотивів особистості
	Міжособистісні	Суб'єктами виступають дві особистості
	Між особистістю та групою	Суб'єктами виступають особистість та група особистостей
	Міжгрупові	Суб'єктами є малі соціальні групи
Предмет конфлікту	Реалістичні	Мають чіткий предмет
	Нереалістичні	Не мають предмета або мають предмет, який є дуже важливим для одного або обох суб'єктів конфлікту
Ступінь тривалості та напруження конфлікту	«Бурні» та швидкоплинні	Виникають на основі індивідуальних психологічних особливостей особистості, відзначаються агресивністю та ворожістю
	Гострі й тривалі	Виникають на підґрунті глибоких протиріч
	Слабко виражені та уповільнені	Пов'язані з дуже гострими протиріччями або пасивністю однієї зі сторін
	Слабко виражені та швидкоплинні	Пов'язані з поверховими причинами, мають епізодичний характер
Соціальні наслідки	Конструктивні	В основі лежать об'єктивні протиріччя. Сприяють розвитку організації або іншої соціальної системи
	Деструктивні	В основі, як правило, лежать суб'єктивні причини, які створюють соціальне напруження та призводять до руйнування соціальної системи

У середовищі будь-якого проекту [1], зокрема й наукового, конфлікти неминучі. Джерела конфліктів включають дефіцит ресурсів, пріоритети розкладу та персональний стиль роботи. Основні правила командної роботи, групові норми та сталі практики управління проектом, такі як планування комунікацій і розподіл ролей, сприяють зниженню кількості конфліктів, що виникають. Успішне управління конфліктами приводить до більш високої продуктивності та позитивних робочих взаємовідносин.

Для цього необхідно ідентифікувати конфлікти, які можуть виникати в процесі пла-

нування та реалізації наукових проектів, а також систематизувати їх у відповідну класифікацію, що наведена у вигляді таблиці 2.

При правильному управлінні наявність різних думок стосовно будь-яких питань виступає позитивним фактором, який сприяє творчому підходу й прийняттю доцільних рішень.

У випадку, коли наявність різних думок стає негативним фактором, тоді, у першу чергу, члени команди проекту несуть відповідальність за їх вирішення. Якщо відбувається загострення конфлікту, то керівник проекту повинен сприяти його прийнятному вирішенню.

Таблиця 2 – Класифікація конфліктів у наукових проектах

Кваліфікаційні ознаки конфліктів	Види конфліктів
За рівнем проекту	проектні, програмні, портфельні
За сферами діяльності	технічні, творчі, організаційні, економічні, соціальні
За учасниками проекту	зовнішні, внутрішні
За цінністю учасників проекту	матеріальні, майнові, фінансові
За тривалістю	бурхливі, короткочасні, швидкоплинні, уповільнені, тривалі
За масштабом	загальні, локальні
За напругою	гострі, слабо виражені
За учасниками конфліктного впливу	особистісні, міжособистісні, міжособистісно-групові, групові
За предметом конфлікту	реальні (предметні), нереальні (безпредметні), об'єктивні, суб'єктивні
За джерелом виникнення	організаційні, емоційні, соціально-трудові, ділові, особистісні
За комунікаціями у проекті	вертикальні, горизонтальні, змішані
За соціальними наслідками	позитивні та негативні, конструктивні та деструктивні, творчі та руйнівні
За формами та ступенем зіткнення	відкриті та приховані, спонтанні, ініціативні та спровоковані, неминучі, вимушені та недоцільні
За способом та масштабами врегулювання	антагоністичні та компромісні, повністю або частково вирішувані, приводять до згоди та співробітництва

Конфлікт слід урегулювати на ранній стадії та, як правило, конфіденційно, безпосередньо та при співробітництві усіх сторін. У випадку переходу конфлікту до деструктивної стадії для його вирішення можуть бути використані формальні процедури, зокрема й заходи дисциплінарного впливу.

Успіх керівників проектів в управлінні своїми командами проектів дуже часто залежить від їх спроможності вирішувати конфлікти. Менеджери проектів можуть застосовувати різноманітні методи вирішення конфліктів.

Фактори, що впливають на методи вирішення конфліктів, включають:

- важливість і напруженість конфлікту;
- обмеженість часу, що наявний для вирішення конфлікту;
- відносну владу втягнутих до конфлікту людей;
- важливість збереження добрих відносин;
- мотивацію до вирішення конфлікту в довгостроковій та короткостроковій перспективі.

Висновки. За результатами аналізу публікацій науковців у сфері управління проектами було виявлено, що у процесі реалізації будь-якого проекту можуть виникати конфлікти між усіма його учасниками, які можуть призвести до зриву виконання проекту, але сучасна методологія управління проектами не розглядає окремо управління конфліктами у проекті й тому є необхідність більш детального розгляду означеного питання.

Для цього автором проаналізовано існуючі на сьогоднішній день підходи до систематизації, типології та класифікації конфліктів у сфері психології та менеджменту, які розглядають конфлікти з точки зору потреб людини, сфер її діяльності у суспільному житті, професійної діяльності.

У результаті автором було запропоновано удосконалити існуючі у психології та менеджменті класифікаційні ознаки конфліктів шляхом застосування їх в управлінні проектами. Зокрема, відповідно до ідентифікації конфліктів, які можуть виникати в процесі планування та реалізації наукових проектів, було запропоновано класифікацію конфліктів у наукових проектах.

Крім того, подальші дослідження необхідно проводити шляхом розроблення нових моделей та методів управління конфліктами наукових проектів з метою запобігання зриву реалізації цих проектів.

Список літератури

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] *Руководство по управлению инновационными проектами и программами*, т. 1, версия 1.2, пер. на рус. язык под ред. С. Д. Бушуева. Київ: Наук. світ, 2009.
- [3] С. Д. Бушуев, и Д. А. Бушуев, *Основы индивидуальных компетенций для управления проектами, программами и портфелями (National Competence Baseline, NCB UA, Version 4.0)*, т. 1. Управление проектами; под ред. С. Д. Бушуева. Киев: Саммит-Книга, 2017.
- [4] С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев и др., *Креативные технологии в управлении проектами и программами*. Киев: Самит-Книга, 2010.
- [5] С. Д. Бушуев, та В. В. Морозов, *Динамічне лідерство в управлінні проектами*: монографія, Укр. асоціація управління проектами, 2-е вид. Київ: УАУП, 2000.
- [6] Т. Демарко, и Т. Листер, *Человеческий фактор: успешные проекты и команды*. Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2005.
- [7] Н. С. Бушуева, та А. С. Філатов, "Морфологічна матриця формування команди проекту соціального типу", *Управління розвитком складних систем*, № 16, с. 28-32, 2013.
- [8] О. И. Шерстюк, и А. В. Оганов, "Ролевая парадигма формирования команды проекта", *Управління розвитком складних систем*, № 20, с. 97-101, 2014.
- [9] М. В. Лазарева, "Развитие компетентности команды и организации в контексте доверия", *Управління розвитком складних систем*, № 21, с. 43-51, 2015.
- [10] О. Б. Данченко, "Методологія інтегрованого управління відхиленнями в проектах", автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.22 – управління проектами та програмами, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, Київ, 2015.
- [11] Н. Новікова, "Управління конфліктами в організації: підходи до вирішення та профілактики", *Галицький економічний вісник*, № 2 (41), с. 79-83, 2013 (*Загальні проблеми економіки та суб'єктів господарювання*).
- [12] Д. І. Бедрій, "Особенности проектно-ориентированного управления научными проектами", на *Другій міжнар. наук.-практ. конф. Project, Program, Portfolio Management* (08-09 грудня 2017 р.), т. 2, Одеса: ОНПУ, 2017, с. 15-18.
- [13] О. Б. Данченко, Д. І. Бедрій, та І. Б. Семко, "Концептуальна модель формування високоефективної команди наукового проекту", *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*, № 1 (1277), с. 51-56, 2018. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1277.8.
- [14] О. Б. Данченко, Д. І. Бедрій, та І. Б. Семко, "Управління конфліктами наукового проекту", *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*, № 2 (1327), с. 28-35, 2019. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1327.5.
- [15] Верховна Рада України (2018, берез. 07). *Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність»*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/848-19>. Дата звернення: Трав. 3, 2019.
- [16] В. Я. Галаган, В. Ф. Орлов, та О. М. Отич, *Конфліктологія: консп. лекцій для підготовки магістрів усіх форм навч.* Київ: ДЕТУТ, 2008.
- [17] Є. Б. Тихомирова, та С. Р. Постоловський, *Конфліктологія та теорія переговорів*: підручник. Рівне: Перспектива, 2007.
- [18] Е. Е. Кучко, "Систематизация подходов к классификации инноваций", *Социология*, № 4, с. 61-70, 2008.
- [19] А. Я. Анцупов, и А. И. Шипилов, *Конфликтология: учеб. для вузов*. Санкт-Петербург: Питер, 2007.
- [20] А. М. Бандура, та В. А. Друзь, *Конфліктологія*. Харків: Фоліо, 1997.
- [21] А. Маслоу, *Мотивация и личность* / пер. А. М. Татлыбаевой; терминолог. правка В. Данченко. Киев: PSYLIB, 2004.

References

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] S. D. Bushuyev (ed.), *Innovative project and program management guide*, vol. 1, version 1.2. Kyiv: Nauk. svit, 2009 [in Russian].
- [3] S. D. Bushuyev, and D. A. Bushuyev, *Bases of individual competences for project management, program and portfolio management (National Competence Baseline, NCB UA, Version 4.0)*, vol. 1. Project Management; S. D. Bushuyev (ed.). Kiev: Sammit-Kniga, 2017 [in Russian].
- [4] S. D. Bushuev, N. S. Bushueva, I. A. Babaev et al., *Creative technologies in project and program management*. Kiev: Samit-Kniga, 2010 [in Russian].
- [5] S. D. Bushuyev, and V. V. Morozov, *Dynamic leadership in project management*: monograph, Ukr. association of project management, 2nd ed. Kyiv: UAUP, 2000 [in Ukrainian].
- [6] T. Demarko, and T. Lister, *The human factor: successful projects and teams*. St-Petersburg: Simvol-Plyus, 2005 [in Russian].
- [7] N. S. Bushuyeva, and A. S. Filatov, "Morphological matrix of the formation of a project team of a social type", *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, no. 16, pp. 28-32, 2013 [in Ukrainian].
- [8] O. I. Sherstyuk, and A. V. Oganov, "Role paradigm of project team formation", *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, no. 20, pp. 97-101, 2014 [in Russian].
- [9] M. V. Lazareva, "Development of team and organization competence in a context of trust", *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, no. 21, pp. 43-51, 2015 [in Russian].
- [10] O. B. Danchenko, "Methodology of integrated management by deviations in projects", author's abstract of D.S. thesis, Kyiv, 2015 [in Ukrainian].
- [11] N. Novikova, "Conflict management in the organization: approaches to solution and prevention", *Halyts'kyi ekonomichnyi visnyk*, no. 2 (41), pp. 79-83, 2013 (general problems of economy and business entities) [in Ukrainian].
- [12] D. I. Bedrii, "Features of project-oriented management by scientific projects", in *Abstracts II Internat. Sci.-Pract. Conf. Project, Program, Portfolio Management*, Odesa, 2017, pp. 15-18 [in Ukrainian].
- [13] O. B. Danchenko, D. I. Bedriy, and I. B. Semko, "Conceptual model for the formation of a highly effective team of scientific project", *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya portfelya-my, prohramamy ta proektamy*, no. 1 (1277), pp. 51-56, 2018. DOI: 10.20998/2413-3000.2018.1277.8 [in Ukrainian].
- [14] O. B. Danchenko, D. I. Bedriy, and I. B. Semko, "Management by conflicts of scientific project", *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya portfelya-my, prohramamy ta proektamy*, no. 2 (1327), pp. 28-35, 2019. DOI: 10.20998/2413-3000.2019.1327.5 [in Ukrainian].
- [15] Verkhovna Rada Ukrayiny (2018, March 7). *Law of Ukraine "On scientific and scientific-technical activity"*. [Online]. Available: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/848-19>. Accessed on: May 3, 2019.
- [16] V. Ya. Halahan, V. F. Orlov, and O. M. Otych, *Conflictology*. Kyiv: DETUT, 2008 [in Ukrainian].
- [17] Ye. B. Tykhomyrova, and S. R. Postolovs'kyi, *Conflictology and negotiation theory*. Rivne: Perspektyva, 2007 [in Ukrainian].
- [18] Ye. Ye. Kuchko, "Systematization of approaches to the classification of innovations", *Sotsiologiya*, no. 4, pp. 61-70, 2008 [in Russian].
- [19] A. Ya. Antsupov, and A. I. Shipilov, *Conflictology*. St-Petersburg: Piter, 2007 [in Russian].
- [20] A. M. Bandura, and V. A. Druz', *Conflictology*. Kharkiv: Folio, 1997 [in Ukrainian].
- [21] A. Maslou, "Motivation and personality". Kiev: PSYLIB, 2004 [in Russian].

D. I. Bedrii

e-mail: dimi7928@gmail.com

State Enterprise «Ukrainian Scientific Research Institute of Radio and Television»

Bunin str., 31, Odesa, 65026, Ukraine

CLASSIFICATION OF CONFLICTS IN SCIENTIFIC PROJECTS

Today, the project management methodology has proved itself to be a high-quality and effective tool for introducing modern approaches, models and methods in various fields of human activities and has allowed to increase their effectiveness. The management by all participants in any project requires a lot of efforts from the project manager and his team in order to satisfy all needs and ensure the acquisition of values.

The author has analyzed the publications on project management and found that in the process of implementing any project, including a scientific one, conflicts may arise both inside and outside the team. This may be due to the fact that the fast rhythm of a person's life in the modern world has negative consequences for the well-being and psycho-physical condition of a person. That is why the scientific problem of this work consists in the identification and systematization of conflicts of a scientific project.

The article analyzes the existing approaches to the typology and systematization of conflicts in psychology and management, which consider conflicts in terms of human needs, the scope of its activities in public life and professional activities.

According to the results of the analysis, as well as taking into account the peculiarities of scientific projects, the author has proposed to improve existing conflict typologies by systematizing conflicts that may arise in the process of planning and implementing scientific projects.

The improved classification of conflicts in research projects proposed by the author will allow the project manager to respond in a timely manner to the occurrence of conflict situations through the qualitative implementation of conflict prevention activities that can be associated with all participants of research projects and will allow these projects to be completed with high-quality satisfaction of all stakeholders.

Keywords: *project management methodology, research project, human resources, conflicts, signs, systematization, classification.*

Д. В. Бас

Черкаський державний технологічний університет,
e-mail: dimabass1990@gmail.com
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000

МЕТОДИ ЦІННІСНО-ОРІЄНТОВАНОГО УПРАВЛІННЯ АРТ-ПРОЕКТАМИ

На сьогоднішній день у світі та в Україні швидкими темпами впроваджуються методологія управління проектами та методологія ціннісно-орієнтованого управління проектами, зокрема розвивається компонента управління стейкхолдерами. Тому науковці приділяють багато уваги ідентифікації, аналізу та управлінню стейкхолдерами у зв'язку з тим, що вони можуть як покращити результат проекту, так і повністю дискредитувати його, тим самим завершити проект без досягнення поставленої мети. У статті проаналізовано етап ідентифікації стейкхолдерів відповідно до існуючих механізмів взаємодії компанії та її стейкхолдерів. Автором запропоновано удосконалити ці механізми шляхом проведення оцінювання цінностей кожного стейкхолдера та врахування впливу ризиків від їх діяльності або бездіяльності. Застосування методів ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами допоможе керівнику арт-проекту та його команді провести ідентифікацію стейкхолдерів арт-проекту та оцінити цінність арт-продукту з урахуванням потреб кожної зацікавленої сторони арт-проекту з метою підвищення їх задоволеності продуктом арт-проекту.

Ключові слова: методологія управління проектами, арт-проект, стейкхолдери, цінності, ціннісно-орієнтоване управління, метод.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день у світі та в Україні швидкими темпами впроваджуються методологія управління проектами [1] та методологія ціннісно-орієнтованого управління проектами [2]. Означені методології включають такий розділ, як управління стейкхолдерами проекту, що має як позитивний, так і негативний вплив на його реалізацію.

У сучасному світі науковці приділяють багато уваги ідентифікації, аналізу та управлінню стейкхолдерами. Проведено багато досліджень у цій сфері, тому що цей об'єкт має дуже сильний вплив на проект. Він може як покращити результат проекту, так і повністю дискредитувати його, тим самим завершити проект без досягнення поставленої мети.

Аналіз останніх досліджень. Глобальний процес розвитку конкурентного середовища вимагає від державних або приватних компаній безперервного зростання і залежить від цінностей, що створюються ними з року в рік, а також від постійності їх намірів щодо впровадження інновацій [1, 2].

В основі ціннісно-орієнтованого управління лежить ціннісне мислення. Таке мислення передбачає, що всі аспекти управління проектом мають бути підпорядковані єдиній

меті, та для оцінювання їх ефективності слід використовувати схожі механізми [1, 3].

Найбільш ефективною при впровадженні ціннісно-орієнтованого управління є японська система управління інноваційними проектами та програмами підприємств (Р2М) [2, 4, 5]. Система Р2М полягає у створенні цінності для підприємств як у комерційній, так і в соціальній діяльності, з орієнтацією на місію та систему цілей, через стратегію до реалізації проектів та програм, що забезпечують успіх проектної діяльності підприємства.

Головним аспектом впровадження системи Р2М в будь-якій діяльності є визначення міри пристосованості цих видів діяльності до створення цінності, а також їх сприяння її створенню [2, 4, 5].

Дослідженню підходу до формування цінності у проектах, портфелях проектів та програм при управлінні проектно-орієнтованими організаціями було присвячено роботу [6]. Крім того, було запропоновано комплекс взаємопов'язаних моделей та екранні форми програмного продукту, який підтримує процес формування цінності проектів та програм на їх життєвому шляху. Результати цього дослідження можуть стати у нагоді при розробленні методів ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами.

У роботі [7] описуються креативні підходи до управління складними програмами розвитку на основі матричних технологій, які враховують інноваційне спрямування розвитку сучасних підприємств. Це дослідження ґрунтується на вивченні та врахуванні людського фактора в процесі управління креативністю членів команди проекту, яка може допомогти керівнику арт-проекту підвищити якість виконання процесів арт-проекту.

У роботі [8] наведено результати досліджень управління програмами інноваційного розвитку з урахуванням впливу системи управління знаннями, а також досліджено процеси формування бази актуальних знань з огляду на ціннісний підхід. Це дослідження стане у нагоді команді арт-проекту в процесі детального вивчення цінності майбутнього арт-продукту на етапі ініціації арт-проекту.

Ще одним із головних факторів отримання цінності будь-якого проекту є задоволення потреб стейкхолдерів.

Основоположним дослідженням зацікавлених осіб є теорія стейкхолдерів, яка почала формуватися ще з 60-х років ХХ ст. Перше уявлення полягало в тому, що компанія – це система, яка має вплив та зазнає впливу з боку свого оточення: постачальників, споживачів, персоналу акціонерів тощо [9, 10].

У середині 70-х років ХХ ст. Рассел Акофф продовжив розвиток цієї теорії та запропонував розширити кількість стейкхолдерів до наступного покоління [10, 11].

Однак сучасне уявлення теорії стейкхолдерів склалося з середини 80-х років ХХ ст. завдяки Едварду Фрімену. Його ідея полягала в тому, що внутрішнє та зовнішнє уявлення фірми – це її зацікавлені сторони, чиї інтереси та вимоги повинні бути задоволені [12]. Результати досліджень [9-12] є базовими для проведення ідентифікації стейкхолдерів у будь-якій сфері діяльності та стануть у нагоді керівнику арт-проекту на початковому етапі ініціації арт-проекту, але вони не враховують сучасні тенденції у світі.

Після виникнення теорії було розроблено два важливі стандарти:

- ISO 26000:2010 Guidance on social responsibility (Керівництво із соціальної відповідальності) [13], яке містить рекомендації із соціальної відповідальності компанії;

- AA1000 Stakeholder Engagement Standard (SES) 2018 (Стандарт взаємодії із зацікавленими сторонами) [14], розроблений

Institute of Social and Ethical Account Ability, – це загальноприйнята нормативна база для планування, виконання, оцінювання, інформування та нефінансової аудиторської перевірки якості взаємодії із зацікавленими сторонами у процесі звітності та підпорядкованості організацій, у галузі ефективного муніципального управління.

Обидва стандарти [13, 14] містять достатньо серйозні рекомендації, а AA1000SES [14] має повну покрокову інструкцію із залучення стейкхолдерів у процеси діяльності компанії. Рекомендації, що наведені у цих стандартах, враховують сучасні тенденції ідентифікації зацікавлених сторін і можуть бути використані у процесі планування управління стейкхолдерами арт-проекту.

У роботі [15] автор за результатами аналізу сучасних тенденцій розвитку взаємовідносин компанії з різними зацікавленими сторонами виявив, що необхідно враховувати думки та інтереси не тільки акціонерів, але й інших груп стейкхолдерів. Також автором запропоновано механізм взаємодії зі стейкхолдерами компанії, наведено його основні елементи, принципи, функції та необхідність впровадження у діяльність організації. Крім того, у рамках розробленого механізму пропонується класифікація інструментів взаємодії, що застосовуються залежно від обраної стратегії взаємовідносин із зацікавленими сторонами. Це дослідження містить сучасні рекомендації стосовно взаємодії із зовнішніми стейкхолдерами компанії, що, у свою чергу, дасть змогу керівнику арт-проекту розробити ефективні заходи щодо управління зовнішніми стейкхолдерами арт-проекту.

Запропонований у роботі [16] метод визначення очікувань зацікавлених сторін, зокрема внутрішніх стейкхолдерів, та їх коригування за допомогою управлінського впливу можна застосовувати для зниження ймовірності настання ризикових ситуацій, що загрожують успішній реалізації стратегії програми. Також описаний аналітичний процес має на меті допомогти виявити розбіжності між поточним і бажаним рівнем залучення внутрішніх зацікавлених сторін проектів до процесу реалізації стратегії програми. Крім того, застосування запропонованого методу сприяє визначенню дій та комунікацій, необхідних для усунення подібних розбіжностей. Результати цього дослідження дадуть можливість

керівнику арт-проекту побудувати ефективну комунікацію всередині команди арт-проекту.

У роботі [17] проаналізовано застосування ціннісного підходу до управління арт-проектом, визначено термін «арт-проект» та виявлено його специфічні особливості.

За результатами дослідження [18] запропоновано моделі ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами, зокрема виявлено, що продукт арт-проекту необхідно розглядати ще й з точки зору гедонізму, тобто його цінність полягає в тому, що замовник/споживач повинен отримати задоволення та насолоду від володіння ним, що є вищим благом або сенсом життя.

Враховуючи специфічність арт-проектів, їх планування та реалізація мають ґрунтуватися на застосуванні ціннісно-орієнтованого підходу, оскільки він є найактуальнішим у сучасній методології управління проектами.

Метою статті є розроблення методів ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами, які дають можливість проведення ідентифікації стейкхолдерів арт-проекту та оцінювання цінності арт-продукту, для підвищення задоволеності потреб усіх зацікавлених сторін арт-проекту.

Викладення основного матеріалу. На початковій стадії роботи зі стейкхолдерами та при використанні методологічного інструментарію у галузі відпрацювання методології взаємодії між стейкхолдерами різних рівнів, що мають різні інтереси та цінності, пропонується ідентифікувати та згрупувати всіх стейкхолдерів [1, 10, 12].

Залежно від зацікавленості у проекті, стейкхолдери можуть бути активами проекту або його проблемами. Обставинами, що призводять до зниження ефективності взаємодії, є недостатня та неперевірена інформація про проект, відсутність знань у галузі управління проектами й специфіки проекту, а також інфраструктура, фінанси, різниця у політичних поглядах, соціально-культурний контекст.

Відповідно до стандарту AA1000SES [14] взаємодії із зацікавленими сторонами «при визначенні стейкхолдерів необхідно враховувати такі метрики, як рівень відповідальності, ступінь впливу, ступінь близькості, ступінь залежності».

Для ідентифікації пропонується зробити вхідну оцінну карту кожного стейкхолдера окремо. Побудована на початковому етапі

ідентифікації зацікавлених сторін карта стейкхолдерів є первинним плановим документом і в процесі виконання проекту буде змінюватися.

При виявленні зацікавлених сторін може бути використана ретроспективна інформація про раніше реалізовані проекти. У зв'язку з цим не виключається можливість екстраполяції теорії прецедентів, яка дає змогу аналізувати інформацію про попередні проекти із найбільшим ступенем близькості прецедентів до вихідних проектів.

Формулювати перелік зацікавлених сторін проекту потрібно з самого початку проекту. До самого завершення проекту проектний менеджер працює з ним і вносить до нього корективи. Крім того, для зручності користування ним виникає необхідність його систематизації за певним критерієм або критеріями.

Для забезпечення успішної реалізації будь-якого проекту, зокрема й арт-проекту, керівнику проекту та його команді необхідно на стадії планування приділити багато уваги ще й розробленню плану управління стейкхолдерами проекту [1, 9, 12, 17]. Це пов'язано з тим, що зацікавлені сторони проекту формують зовнішнє та внутрішнє оточення кожного окремого проекту, зокрема економічну, фінансову, психологічну та інші складові [1, 10, 11, 17].

В арт-проектах ставлення будь-якого стейкхолдера до нього обумовлено не тільки цінністю продукту арт-проекту, але й його ставленням до керівника проекту та команди, яка його буде реалізовувати [1, 12, 17]. Наприклад, для замовника це пов'язано з тим, що він повинен бути впевненим у тому, що цей керівник та його команда зможуть реалізувати арт-проект, а він отримає той арт-продукт, який його цікавить.

Від команди управління арт-проектом вимагається провести ідентифікацію усіх його учасників, визначити їх вимоги та очікування [1, 6, 11, 15, 18]. Це, у свою чергу, дасть команді арт-проекту управляти впливом стейкхолдерів на проект з метою забезпечення якісного та своєчасного його завершення.

Науковці у своїх роботах [1, 10, 12, 19] розглядають наступну процедуру аналізу стейкхолдерів, яка складається з таких етапів:

1. Аналіз оточення проекту. Цей етап полягає у виділенні таких груп стейкхолдерів, як: зовнішні, внутрішні, далекі та близькі.

2. Визначення стейкхолдерів із сформованих груп. На цьому етапі відбувається опис кожного стейкхолдера, зокрема його найменування (для фірм, компаній тощо), прізвище, ім'я та по батькові (для людей), їх цілі, інтереси, цінності тощо.

3. Проведення аналізу їх впливу на проект. Цей етап включає проведення оцінювання їх впливу на проект та проекту на них.

4. Визначення інтересів кожного стейкхолдера щодо проекту та його інструменти впливу на проект. На цьому етапі команда проекту повинна провести аналіз інтересів кожного стейкхолдера і виявити їх можливі інструменти для їхнього задоволення.

5. Визначення ступеня підтримки та протидії проекту. Команді проекту на цьому

етапі необхідно оцінити ступінь підтримки або протидії проекту кожним стейкхолдером.

6. Ідентифікація проблемних ситуацій у процесі реалізації проекту. Виходячи з отриманої інформації у попередніх пунктах про стейкхолдерів, команда проекту повинна визначити проблемні ситуації, які можуть виникати під час реалізації проекту.

7. Проведення психологічного аналізу стейкхолдерів проекту. На цьому етапі необхідно оцінити психологічний вплив кожного стейкхолдера на проект.

8. Розроблення стратегії взаємодії зі стейкхолдерами. Цей крок полягає у розробленні стратегій взаємодії між керівником (командою) проекту та його стейкхолдерами.

Схематично традиційний метод аналізу стейкхолдерів проекту зобразимо на рисунку 1.



Рисунок 1 – Традиційний метод аналізу стейкхолдерів проекту

Сьогодення вимагає від керівників проектів і членів їх команд своєчасного та ефективного реагування на будь-які виклики, які можуть виникати в процесі реалізації проектів. Ці виклики можуть бути пов'язані з діяльністю або бездіяльністю внутрішніх та зовнішніх стейкхолдерів, а також зі змінами їх уподобань та цінностей. Це може призвести до того, що вимоги до майбутнього продукту проекту можуть кардинально змінюватися протягом

життєвого циклу проекту, зокрема це стосується й арт-продукту, враховуючи його особливості [17].

Для планування управління стейкхолдерами арт-проекту пропонується розширити метод їх ідентифікації, який, на відміну від існуючого, дасть можливість додатково врахувати цінність кожного стейкхолдера та ризики від їх впливу на проект, який зображено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Метод ідентифікації стейкхолдерів арт-проекту

Цей метод складається з таких етапів [17, 18, 19, 20]:

1. Аналіз оточення арт-проекту.

1.1. Ідентифікація стейкхолдерів. На цьому кроці відбувається опис кожного стейкхолдера.

1.2. Визначення цінностей стейкхолдерів. Цей крок полягає у визначенні всіх цінностей кожного стейкхолдера.

1.3. Ідентифікація ризиків, що пов'язані зі стейкхолдерами. На цьому кроці команда арт-проекту ідентифікує всі ризики, які можуть виникнути із взаємодії з кожним стейкхолдером.

2. Проведення аналізу впливу стейкхолдерів на проект із урахуванням їх цінностей та ризиків.

3. Визначення інтересів кожного стейкхолдера з урахуванням цінностей та ризиків щодо проекту та його інструменти впливу на проект.

4. Визначення ступеня підтримки та протидії стейкхолдерами арт-проекту з урахуванням їх цінностей та ризиків.

5. Ідентифікація проблемних ситуацій у процесі реалізації проекту з урахуванням цінностей стейкхолдерів та ризиків.

6. Проведення психологічного аналізу стейкхолдерів проекту з урахуванням цінностей стейкхолдерів та ризиків.

7. Розроблення стратегії взаємодії зі стейкхолдерами з урахуванням їх цінностей та ризиків.

У результаті проведених досліджень виявлено, що взаємодія зі стейкхолдерами повинна ґрунтуватися на застосуванні сучасних підходів, моделей, методів та методик. Ідентифікація зацікавлених сторін має супроводжуватися їх категоризацією за певною ознакою [1, 2, 18, 20].

Враховуючи особливості арт-проекту, зокрема вимоги до майбутнього арт-продукту, керівник арт-проекту та його команда повинні звернути увагу на взаємодію зі стейкхолдерами арт-проекту на початковому етапі його планування. Від правильно сформульованих вимог до майбутнього арт-продукту залежить, наскільки якісно та ефективно буде реалізовуватися арт-проект.

Суттєвими параметрами стейкхолдерів арт-проекту можуть бути визначені такі, як: їх інтерес до проекту або рівень такого інтересу, сила впливу стейкхолдера на проект або ступінь його залученості до проекту.

Запропонований метод управління цінністю арт-проекту зображено на рисунку 3.

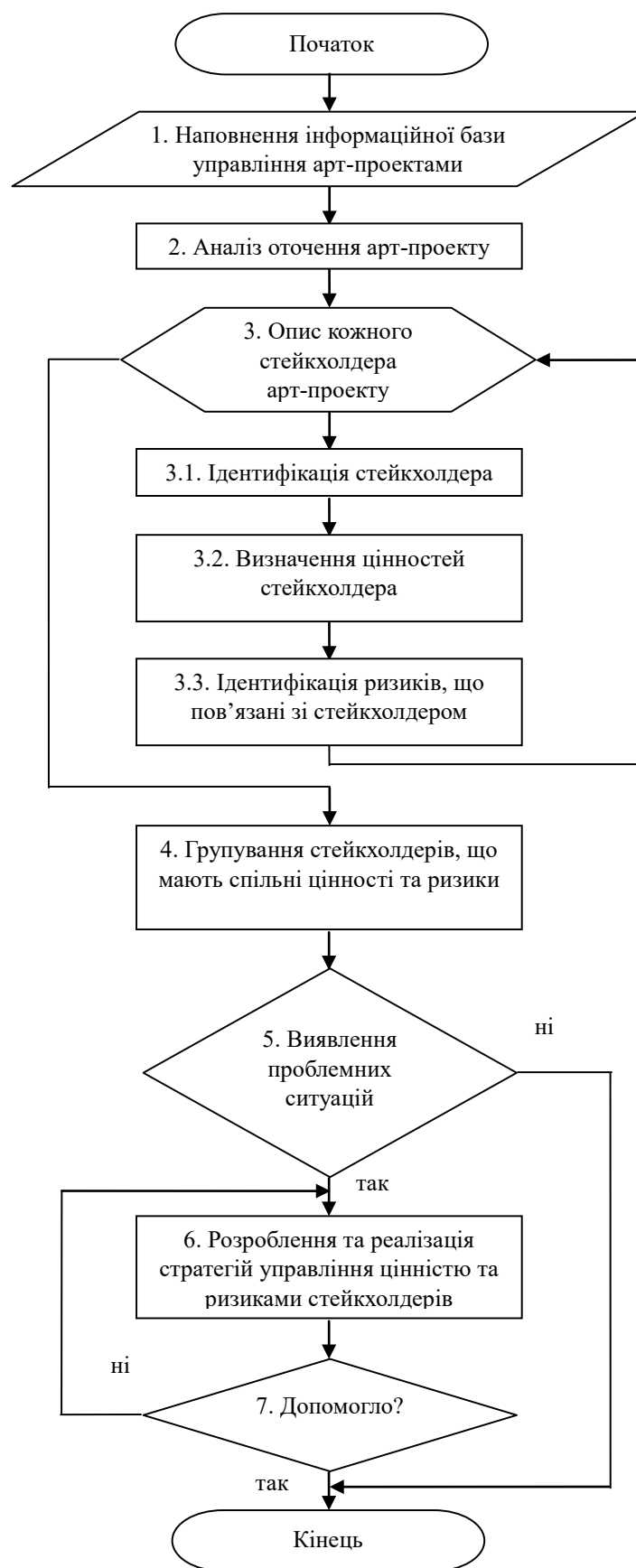


Рисунок 3 – Метод управління цінністю арт-проекту

Запропонований метод управління цінністю арт-проекту включає такі етапи [17, 18, 20, 21]:

1. Наповнення інформаційної бази управління арт-проектами. На цьому етапі команда арт-проекту збирає, аналізує та обробляє інформацію стосовно виконаних раніше арт-проектів (за наявності).

2. Аналіз оточення арт-проекту. Цей етап полягає у проведенні аналізу оточення арт-проекту та виділенні таких груп стейкхолдерів, як: зовнішні, внутрішні, далекі та близькі.

3. Опис кожного стейкхолдера арт-проекту.

3.1. Ідентифікація стейкхолдерів. На цьому кроці відбувається опис кожного стейкхолдера.

3.2. Визначення цінностей стейкхолдерів. Цей крок полягає у визначенні всіх цінностей кожного стейкхолдера.

3.3. Ідентифікація ризиків, що пов'язані зі стейкхолдерами. На цьому кроці команда арт-проекту ідентифікує всі ризики, які можуть виникнути із взаємодії з кожним стейкхолдером.

4. Групування стейкхолдерів за спільними цінностями та ризиками. Зацікавлені сторони необхідно сформувані у пари або групи за ознакою наявності спільних цінностей та ризиків.

5. Виявлення проблемних ситуацій зі стейкхолдерами арт-проекту. Виходячи з отриманої у попередніх пунктах інформації про стейкхолдерів, команда проекту повинна визначити проблемні ситуації, які можуть виникати під час реалізації проекту. Якщо так, то перехід до п. 6, якщо ні, то кінець.

6. Розроблення та реалізація стратегій управління цінністю та ризиками стейкхолдерів. Команда арт-проекту повинна розробити і реалізувати стратегії управління цінністю та ризиками стейкхолдерів з метою зменшення негативного впливу або збільшення позитивного впливу на реалізацію арт-проекту у випадку настання проблемних ситуацій

7. Допомогло? Якщо так, то кінець, якщо ні, то перехід до п. 6.

На цьому реалізація методу завершується.

Таким чином, унікальна цінність арт-продукту належить, як правило, користувачу продукту проекту, зокрема споживачу арт-продукту (мистецтвознавці, критики, театра-

ли, кіномани). Цінність інновації поділяють команда проекту, власник проекту (інвестор або власник арт-проекту) і користувач продукту проекту. Носієм цінності інтелектуального активу є команда проекту, яка під час реалізації проекту набуває необхідного досвіду для реалізації подібних проектів у майбутньому.

Висновки. Автором проведено дослідження публікацій науковців у сфері управління проектами, програмами та портфелями проекту, зокрема в частині застосування їх у процесі планування та реалізації арт-проекту. Враховуючи особливості арт-проекту та арт-продукту, автор дійшов висновку, що є необхідність проведення більш детального дослідження зовнішніх та внутрішніх стейкхолдерів арт-проекту з метою якісного визначення вимог до арт-продукту на початковому етапі.

Автором запропоновано удосконалити сучасний метод ідентифікації стейкхолдерів проекту на етапі аналізу оточення арт-проекту шляхом визначення, окрім самих стейкхолдерів, ще їх цінностей та ризиків, що можуть бути з ними пов'язані.

Розроблено метод управління цінністю арт-проекту, основними перевагами якого є вироблення стратегій управління цінністю та ризиками стейкхолдерів, які ґрунтуються на результатах застосування удосконаленого методу ідентифікації стейкхолдерів арт-проекту.

Отримані автором результати надають дієвий механізм для проведення ідентифікації стейкхолдерів арт-проекту та оцінювання цінності арт-продукту, що сприяють підвищенню задоволеності потреб усіх зацікавлених сторін арт-проекту.

Крім того, вагомим фактором є те, що в арт-проектах ставлення будь-якого стейкхолдера до нього обумовлено не тільки цінністю арт-продукту, а ще й його ставленням до команди проекту, яка його буде реалізовувати.

Список літератури

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 6th ed., USA, PMI, 2017.
- [2] *Руководство по управлению инновационными проектами и программами*, т. 1, версия 1.2, пер. на рус. язык под ред. С. Д. Бушуева. Київ: Наук. світ, 2009.
- [3] Д. В. Мочалов, "Менеджмент культуры и арт-менеджмент: взаимосвязь и взаимообусловленность", *Вестник КазГУКИ*,

- № 4, 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/menedzhment-kultury-i-art-menedzhment-vzaimosvyaz-i-vzaimoobuslovlennost>. Дата обращения: Апр. 4, 2019.
- [4] A guidebook of project & program management for enterprise innovation, PMAJ. [Online]. Available: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [5] N. Borisova, and D. Bas, "Project management – value based approach", in *Proc. Dortmund Internat. Research Conf. 2016*, eds. Peter Reusch, Carsten Wolff, ISBN 978-3-00-055144-4, Dortmund, 2016, pp. 218-221.
- [6] С. Д. Бушуев, и Н. С. Бушуева, "Механизмы формирования ценности деятельности проектно-управляемых организаций", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, т. 1, № 2 (43), с. 4-9, 2010.
- [7] С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева, И. А. Бабаев и др., *Креативные технологии в управлении проектами и программами*. Киев: Саммит книга, 2010.
- [8] М. М. Куценко, "Ціннісно-орієнтований підхід в управлінні програмами інноваційного розвитку на основі системи управління знаннями", *Технологический аудит и резервы производства*, № 6/4 (8), с. 7-8, 2012.
- [9] Jeffrey S. Harrison, Caron H. St. John, *Strategic management of organizations and stakeholders: concepts and cases*, 2nd ed. Cincinnati: South-Western College Publishing, 1998.
- [10] Применение теории стейкхолдеров при продвижении проектов в Интернете. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cossa.ru/152/198318/>. Дата обращения: Апр. 4, 2019.
- [11] В. В. Илюк, "Методологический подход к управлению стейкхолдерами инновационных проектов", *Организатор производства*, № 4. с. 38-55, 2016.
- [12] R. E. Freeman, *Stakeholder theory: the state of the art*. Cambridge University Press, 2010.
- [13] ISO 26000:2010 Guidance on social responsibility. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/42546.html>. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [14] AA1000 Stakeholder Engagement Standard (SES) 2018. [Online]. Available: <http://www.accountability.org/standards/>. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [15] А. И. Финогеева, "Совершенствование механизма взаимодействия компании с заинтересованными сторонами", *Управление экономическими системами: эл. науч. журн.*, № 3 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=4307. Дата обращения: Апр. 4, 2019.
- [16] І. М. Кадикова, С. О. Ларіна, та І. В. Чумаченко, "Управління внутрішніми стейкхолдерами проектів при реалізації стратегії програми", *Управління розвитком складних систем*, № 28, с. 47–53, 2016.
- [17] D. Bas, "Values-oriented management of art projects", *Proc. Conf. Topical areas of fundamental and applied research XI*, vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, pp. 136-138.
- [18] О. Б. Данченко, В. В. Лепський, та Д. В. Бас, "Моделі ціннісно-орієнтованого управління арт-проектами", *Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. праць*, № 4 (64), с. 25-32, 2017.
- [19] Л. А. Нохріна, "Алгоритм ідентифікації стейкхолдерів", на *V міжнар. наук.-теор. Інтернет-конф. Місто. Культура. Цивілізація*. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015, с. 168-175.
- [20] Д. В. Бас, "Метод ідентифікації стейкхолдерів арт-проекту", *Управління проектами у розвитку суспільства: тези доп., відп. за вип. С. Д. Бушуєв*. Київ: КНУБА, 2018, с. 30-32.
- [21] О. Б. Данченко, та Д. В. Бас, "Метод управління цінністю арт-проекту", на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Управління проектами: Стан та перспективи*. Миколаїв, 2018, с. 33-34.

References

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, sixth ed., USA, PMI, 2017.
- [2] *Innovative project and program management guide*, vol. 1, version 1.2, S. D. Bushuyev (ed.). Kyiv: Nauk. svit, 2009 [in Russian].

- [3] D. V. Mochalov, "Culture management and art management: interconnection and interdependence", *Vestnik KazGUKI*, no. 4, 2011. [Online]. Available: <http://cyberleninka.ru/article/n/menedzhment-kultury-i-art-menedzhment-vzaimosvyaz-i-vzaimoobuslovlennost>. Last accessed: Apr. 4, 2019).
- [4] A guidebook of project & program management for enterprise innovation, PMAJ. [Online]. Available: http://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/p2m_guide.html. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [5] N. Borisova, and D. Bas, "Project management – value based approach", in *Proc. Dortmund Internat. Research Conf. 2016*, eds. Peter Reusch, Carsten Wolff, ISBN 978-3-00-055144-4, Dortmund, 2016, pp. 218-221.
- [6] S. D. Bushuyev, and N. S. Bushuyeva, "Mechanisms of formation of the value of the activities of designed organizations", *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, vol. 1, no. 2 (43), pp. 4-9, 2010 [in Russian].
- [7] S. D. Bushuev, N. S. Bushueva, I. A. Babayev et al., *Creative technologies in project and program management*. Kyiv: Samit-Kniga, 2010 [in Russian].
- [8] M. M. Kutsenko, "Value-oriented approach in the management by innovation development programs based on knowledge management system", *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, no. 6/4 (8), pp. 7-8, 2012 [in Ukrainian].
- [9] Jeffrey S. Harrison, Caron H. St. John, *Strategic management of organizations and stakeholders: concepts and cases*, 2nd ed. Cincinnati: South-Western College Publishing, 1998.
- [10] Application of the theory of stakeholders in the promotion of projects on the Internet. [Online]. Available: <https://www.cossa.ru/152/198318/>. Last accessed: Apr. 4, 2019.
- [11] V. V. Il'yuk, "Methodological approach to managing stakeholders of innovative projects", *Organizator proizvodstva*, no. 4, pp. 38-55, 2016 [in Russian].
- [12] R. E. Freeman, *Stakeholder theory: the state of the art*. Cambridge University Press, 2010.
- [13] ISO 26000:2010 Guidance on social responsibility. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/42546.html>. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [14] AA1000 Stakeholder Engagement Standard (SES) 2018. [Online]. Available: <http://www.accountability.org/standards/>. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [15] A. I. Finogeyeva, "Improving of the mechanism of company interaction with stakeholders", *Upravleniye ekonomicheskimi sistemami*, no. 3 (97). 2017. [Online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizma-vzaimodeystviya-kompanii-s-zainteresovannymi-storonami>. Accessed on: Apr. 4, 2019.
- [16] I. M. Kadykova, "Managing by internal stakeholders of projects in implementing the program strategy", *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, no. 28, pp. 47-53, 2016 [in Ukrainian].
- [17] D. Bas, "Values-oriented management of art projects", *Proc. Conf. Topical areas of fundamental and applied research XI*, vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2017, pp. 136-138.
- [18] O. B. Danchenko, V. V. Leps'kyi, and D. V. Bas, "Models of value-oriented management of art projects", *Upravlinnya proektamy ta rozvytok vyrobnytstva*, no. 4 (64), pp. 25-32, 2017 [in Ukrainian].
- [19] L. A. Nokhrina, "Stakeholder identity identification algorithm", in *Proc. V Internat. Sci.-Theor. Conf. "Misto. Kul'tura. Tsyvilizatsiya"*, Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2015, pp. 168-175 [in Ukrainian].
- [20] D. V. Bas, "Method of identification of art project stakeholders", *Upravlinnya proektamy u rozvytku suspil'stva: papers abstracts*. Kyiv: KNUBA, 2018, pp. 30-32 [in Ukrainian].
- [21] O. B. Danchenko, and D. V. Bas, "Method of managing the value of art project", in *Proc. XIV Internat. Sci.-Pract. Conf. Upravlinnya proektamy: Stan ta perspektyvy*. Mykolayiv, 2018, pp. 33-34 [in Ukrainian].

D. V. Bas

e-mail: dimabass1990@gmail.com

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18000, Ukraine

METHODS OF VALUE-ORIENTED ART PROJECT MANAGEMENT

Today, in the world and in Ukraine, the methodology of project management and the methodology of value-oriented project management are being rapidly implemented, in particular, the stakeholder management component is being developed.

After the results of the analysis of scientists' publications, the author has concluded that the interested parties of any project, in particular, an art project, can both improve the result of the project and completely discredit it, thereby completing the project without achieving the goal. Therefore, in existing project management methodologies, special attention is paid to identifying, analyzing, monitoring and managing stakeholders, as well as determining the value of a project product for each of them.

The purpose of the article is to develop methods of value-oriented management of art projects, which provide an opportunity to identify the stakeholders of the art project and assess the value of the art product, to increase the satisfaction of the needs of all stakeholders of the art project.

The article analyzes the stage of identifying the stakeholders of an art project in accordance with the existing mechanisms of the interaction between the company and its stakeholders. The author has offered to improve these mechanisms by assessing the values of each stakeholder and taking into account the impact of risks from their activities or inactivity.

The method of managing the value of the art project, which allows to develop strategies to manage the value of stakeholders and risks that may arise in the course of their activities, is proposed.

The application of techniques of value-oriented art project management will help the art project manager and his team to identify the art project stakeholders and assess the value of the art product, taking into account the needs of each interested party of the art project in order to increase their satisfaction with the art project product.

Keywords: *project management methodology, art project, stakeholders, values, value-oriented management, method.*

Т. П. Гончаренко, к.х.н., доцент,
e-mail: t.p.g@inbox.lv

Л. І. Жицька, к.б.н., доцент,
e-mail: zhytska_lyudmila@ukr.net

Л. І. Плахотня, завідувач лабораторій
e-mail: plubov2@gmail.com

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

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПО РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

У статті представлено інструментарій оцінювання впливу техногенних загроз на стан екологічної безпеки регіонів України, розглянуто сутність використаної в роботі методики екологічного оцінювання території на основі натуральних (абсолютних і відносних) показників. Для розрахунків інтегральних регіональних показників впливу на довкілля використано статистичну інформацію про основні показники техногенного навантаження на навколишнє природне середовище за різними видами екодеструктивної діяльності: забір води, скиди у воду, викиди в атмосферу та їх цільність, наявність відходів, ерозія і деградація ґрунтів, пошкодження лісових насаджень, поточні екологічні витрати. Важливою перевагою цього методу є об'єктивність, що базується на використанні офіційних даних державних установ. За результатами розрахунків інтегральних показників техногенного впливу на довкілля здійснено групування та ранжування регіонів України, сформульовано висновки та запропоновано можливі рекомендації щодо прийняття обґрунтованих рішень по використанню оцінки техногенного впливу на території регіонів держави.

Ключові слова: комплексна оцінка території регіонів, абсолютні і відносні показники впливу на довкілля, інтегральний індекс впливу, екологічний стан регіонів.

Вступ. У Законі України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» зазначено, що «антропогенне і техногенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинених країнах світу» [1]. Загрозами національній безпеці України в екологічній сфері є значне антропогенне порушення життєзабезпечувальних систем і техногенна перевантаженість території України, зростання ризиків еколого-техногенного характеру, нераціональне використання природних ресурсів, що призводить до виснаження та погіршення їх якості, недосконала система утилізації екологічно небезпечних відходів [2].

В результаті інтенсивного господарювання без урахування специфіки природних умов регіону порушується екологічна рівновага, зменшується стійкість екосистем до

впливу зовнішніх негативних факторів. Основна причина подібного стану полягає в низькій ефективності використання існуючих механізмів екологічного контролю і управління щодо поліпшення екологічної ситуації та раціонального природокористування. На жаль, екологічні проблеми суттєво обмежують соціально-економічний розвиток суспільства, котрий знаходиться у безпосередньому взаємозв'язку з якістю навколишнього природного середовища.

На захист довкілля від техногенного впливу повинні працювати усі інструменти екологічного менеджменту, зокрема й комплексна оцінка техногенного впливу по регіонах держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будь-який вплив людини на природні екосистеми приводить до їх змін, які викликають позитивні чи негативні наслідки для економіки й усього суспільства. Взаємодіючи

з навколишнім природним середовищем, суспільство прагне поліпшити добробут, зробити життя населення більш комфортним і матеріально забезпеченим, а це веде до збільшення виробництва необхідної промислової та сільськогосподарської продукції і спричиняє необмежене використання природних ресурсів. Виробництво такої кількості продукції, в свою чергу, пов'язано зі збільшенням утворення відходів, які, потрапляючи в довкілля, збільшують його забруднення [3].

Розгляду сучасних проблем охорони навколишнього середовища і визначенню напрямів формування та реалізації державної екологічної політики, в тому числі на регіональному рівні, присвятили свої публікації такі вчені: А. Б. Качинський [4], С. П. Іванюта [5], Л. Ф. Кожушко, П. М. Скрипчук [6]. Основоположниками комплексного оцінювання техногенного впливу на довкілля є провідні вчені Росії (А. Ноткін, В. Рябцев, В. Свободін та ін.), Білорусії (Г. Лич, А. Шандибін та ін.), Литви й Латвії (Б. Пошкус, А. Калнініш та ін.), України (В. Андрійчук, О. Кулинич, Б. Пасхавер, В. Тарасова, Р. Тринько та ін.) [7].

Для екологічного оцінювання території та рівня екологічної безпеки регіону запропоновано ряд кількісних і якісних методів оцінювання: якісне бальне оцінювання, кількісне оцінювання на основі вартісних показників (витратне та збиткове), кількісне оцінювання на основі натуральних (абсолютних і відносних) показників та ін. [3–7].

Якісне бальне оцінювання застосовують для оцінювання естетичної цінності ландшафту, комфортності середовища, порушення культурних та історичних пам'яток тощо. Вченими запропоновано рейтингову методику соціально-екологічного оцінювання областей, яка полягає в розрахунку інтегрального індексу комфортності проживання населення й індексу рівня забруднення навколишнього середовища. Інтегральний індекс соціально-економічної комфортності розраховується кумулятивним методом на базі групових індексів: індексу забезпеченості житлом, індексу благоустрою житлового фонду, індексу споживання комунальних послуг, індексу благоустрою населеного пункту. Індекс рівня забруднення навколишнього середовища розра-

ховується на основі даних про забруднення атмосфери та поверхневих водних об'єктів у розрахунку на одного жителя [3].

Кількісне екологічне оцінювання території можна здійснити шляхом розрахунку екологічних втрат від впливу виробничих комплексів, що функціонують на даній території. Під час діяльності територіально-виробничих комплексів відбуваються процеси, пов'язані з вилученням з навколишнього середовища природних ресурсів і відповідними порушеннями рівноваги в природному середовищі. Ці деструктивні процеси можна розглядати як джерело утворення екологічних витрат. Їх можна виділити в такі групи: вилучення і використання природного ресурсу; забруднення; вплив на природні об'єкти; витрати на природоохоронні заходи [4–7]. Для кількісного оцінювання рівня екологічної безпеки регіону на основі натуральних (абсолютних і відносних) показників беруться такі показники, як зниження запасів та якості природних ресурсів; зміна стану здоров'я населення; зміна демографічної структури; зміни в структурі та розміщенні підприємств. Застосовується ця методика при проведенні екологічного оцінювання територій методом картографічного моделювання. Результатом є створення атласів, карт [3].

Метою роботи було здійснення ранжування регіонів України за проведенням комплексним оцінюванням впливу негативних антропогенних чинників на навколишнє природне середовище.

Матеріали та результати досліджень. У цій науковій роботі комплексне оцінювання техногенного впливу на довкілля та рівня екологічної безпеки регіону проводилося за допомогою методу, запропонованого А. О. Соколовою та О. А. Мартинчиком, викладачами кафедри економіки Житомирського національного агроекологічного університету [8]. Суть методу полягала в заміні абсолютних показників еколого-економічного стану окремого природного ресурсу за регіонами, що мають різні одиниці вимірювання і є непорівнянними між собою, відносними величинами структури. Ці величини виражаються в частках або відсотках, вони можуть складатися і відображають часткову або питому участь об'єкта у формуванні загально-

го підсумку показника чи суми всіх показників. Така питома оцінка має елемент порівняння даних кожного регіону з загальним підсумком, тому може виступати як порівняльна комплексна або рейтингова оцінка техногенного впливу на довкілля [8].

Набір показників, що давав змогу оцінити рівень екологічної безпеки регіону, вибирався на основі наявної статистичної інформації про вплив на довкілля за різними видами екодеструктивної діяльності: забір та скидання води; обсяги викидів в атмосферу, у розрахунку на 1 особу, щільність викидів від стаціонарних джерел забруднення; утворення відходів; ерозія і деградація ґрунтів; площа загибелі лісових насаджень; поточні витрати на охорону довкілля.

Абсолютні показники впливу на довкілля по регіонах України у 2017 р. подано в таблиці 1 [9, 10], відносні показники, які розраховувались діленням абсолютного показника деструктивної діяльності певного регіону на відповідний абсолютний показник по Україні, наведено в таблиці 2. Статистичні дані по Автономній Республіці Крим були відсутні у 2017 р., тому цей регіон не порівнювався з іншими регіонами України [9, 10]. Для порівняльного оцінювання впливу на довкілля по регіонах країни розраховувались інтегральні індекси впливу кожного регіону зіставленням комплексного показника впливу кожного регіону до середнього по Україні ($9/25 = 0,360$). Результати розрахунків подано в таблиці 3.

За результатами аналізу даних таблиці 2 було визначено, що показниками, які роблять найбільший внесок у значення розрахованого інтегрального індексу впливу, є щільність викидів у розрахунку на 1 км^2 та обсяги викидів у розрахунку на 1 особу від стаціонарних джерел забруднення. Інші показники не здійснюють статистично значущого впливу на загальний інтегральний показник.

Як свідчать дані таблиці 3, тільки чотири регіони з 25 здійснюють вплив на довкілля, нижчий середнього по Україні (Закарпатська, Чернівецька, Житомирська, Волинська області); сім регіонів (Тернопільська, Рівненська, Миколаївська, Херсонська, Сумська, Хмельницька, Одеська області) мають інтегральні індекси впливу в межах 1,0–2,0, що характеризує значний вплив на довкілля; інтегральні

індекси впливу на довкілля ще семи регіонів (Харківська, Чернігівська, Кіровоградська, Черкаська, Полтавська, Київська, Луганська області) знаходяться в межах 2,0–4,0, що відповідає високому впливу на навколишнє середовище; інтегральні індекси впливу чотирьох регіонів (Львівська, Вінницька, Запорізька, Івано-Франківська області) коливаються від 5,0–16,0, що свідчить про дуже високий вплив на довкілля; а інтегральні індекси впливу трьох регіонів (Січеславська, Донецька області, місто Київ) мають надзвичайно високий негативний вплив, їх індекси знаходяться в межах 26,0–36,0. Найбільш забрудненим регіоном України стало місто Київ: його інтегральний показник техногенного впливу на довкілля становить близько 35,4.

Отже, результати досліджень свідчать, що екологічна ситуація у природному довкіллі держави як життєво важливого середовища для існування людини залишається досить складною. Враховуючи експортну орієнтацію економіки України з переважним спрямуванням на видобуток і переробку великих обсягів мінеральної сировини, що може спровокувати значне забруднення повітря, земельних ресурсів, водних джерел, у багатьох регіонах України можливе різке погіршення екологічної ситуації саме через вплив екологічних чинників. Система моніторингу довкілля, яка існує нині в Україні, не забезпечує здійснення систематичних і обґрунтованих досліджень гранично допустимих впливів на екосистеми, характеру змін основних джерел загроз екологічній безпеці держави, аналізу динаміки основних показників техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Тому своєчасна комплексна обґрунтована оцінка техногенного впливу на довкілля, що базується на статистичних показниках техногенного впливу на довкілля, повинна стати необхідним складником формування та реалізації державної політики.

Екологічна статистика, її методи і моделі, що широко використовуються для діагностики та прогнозування екологічного стану довкілля, мають стати невід'ємними атрибутами системи управлінських рішень в охороні навколишнього середовища від невеликого локального екологічного об'єкта до масштабу оцінювання екологічного стану регіону в цілому [3].

Таблиця 1 – Абсолютні показники впливу на довкілля по регіонах України у 2017 р.

Регіони	Забір води із водних джерел, млн. м ³	Скидання зворотних вод у водні об'єкти, млн. м ³	Викиди в атмосферу від стаціонарних джерел, тис. т	Щільність викидів у розрахунку на 1 км ² , кг	Обсяги викидів у розрахунку на 1 особу, кг	Ерозія і деградація ґрунтів, тис. га	Утворення відходів, тис. т	Площа загибелі лісових насаджень, га	Поточні витрати на охорону довкілля, млн. грн
Україна	9224	4715	2584,9	4483,0	60,8	15953,9	366054,0	20111	20466,4
Місто Київ	943	543	45,5	54417,6	15,5	–	950,3	55	2210,1
Вінницька	118	63	155,8	5880,9	98,4	687,5	2341,7	22	216,8
Волинська	71	30	5,1	255,4	4,9	362,4	733,1	3006	170,8
Січеславська	1033	617	657,3	20590,9	203,5	1104,8	243114,7	333	5533,5
Донецька	1458	801	784,8	29598,0	185,9	1757,4	22434,6	236	1852,6
Житомирська	110	72	10,3	346,5	8,4	87,8	550,3	792	116,9
Закарпатська	45	36	3,2	251,2	2,5	39,6	173,4	987	164,2
Запорізька	1218	956	180,9	6655,7	104,5	1212,5	5129,4	210	2003,0
Івано-Франківська	89	60	198,3	14240,3	143,8	133,7	1948,8	159	316,2
Київська	324	271	48,2	1713,6	27,6	157,9	1265,6	7374	879,7
Кіровоградська	199	44	12,2	496,3	12,7	1102,4	37623,3	88	140,4
Луганська	79	42	75,1	2815,5	34,4	1372,3	644,0	1147	496,7
Львівська	176	167	109,1	4997,8	43,1	525,0	2483,1	700	446,6
Миколаївська	247	60	14,2	576,7	12,4	964,5	2327,9	123	1446,7
Одеська	667	159	29,6	888,5	12,4	1214,0	739,9	279	778,4
Полтавська	124	70	55,9	1944,0	39,4	517,7	35121,8	–	1065,8
Рівненська	126	57	9,6	476,8	8,2	323,3	457,7	2587	343,8
Сумська	94	47	20,3	853,3	18,5	305,1	580,4	28	456,0
Тернопільська	49	29	10,6	763,2	10,0	244,0	1905,8	1	12,7
Харківська	270	270	45,0	1430,8	16,7	996,3	1803,4	143	900,0
Херсонська	1727	69	9,6	336,5	9,1	686,2	399,8	1153	78,1
Хмельницька	106	35	21,1	1021,5	16,5	628,4	928,2	305	210,9
Черкаська	180	107	48,3	2310,1	39,4	326,6	1295,1	184	254,1
Чернівецька	66	38	3,3	406,2	3,6	124,2	369,0	35	86,9
Чернігівська	105	72	31,6	989,7	30,8	81,0	732,7	164	285,5

Джерело: [9, 10].

Таблиця 2 – Відносні показники впливу на довкілля по регіонах України у 2017 році

Регіони	Забір води із водних джерел, млн. м ³	Скидання зворотних вод у водні об'єкти, млн. м ³	Викиди в атмосферу від стаціонарних джерел, тис. т	Щільність викидів у розрахунку на 1 км ² , кг	Обсяги викидів у розрахунку на 1 особу, кг	Ерозія і деградація ґрунтів, тис. га	Утворення відходів, тис. т	Площа загибелі лісових насаджень, га	Поточні витрати на охорону довкілля, млн. грн
Україна	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Місто Київ	0,10223	0,11516	0,01760	12,13866	0,25493	–	0,00260	0,00273	0,10797
Вінницька	0,01279	0,01336	0,06027	1,31182	1,61842	0,04307	0,00640	0,00109	0,01006
Волинська	0,00770	0,00636	0,00197	0,05697	0,08059	0,02272	0,00200	0,14947	0,00835
Січеславська	0,11199	0,13086	0,25428	4,59311	3,34704	0,06924	0,66415	0,01656	0,27037
Донецька	0,15806	0,16988	0,30361	6,60228	3,05757	0,11015	0,06129	0,01173	0,09052
Житомирська	0,01193	0,01527	0,00398	0,07729	0,13816	0,00550	0,00150	0,03938	0,00571
Закарпатська	0,00488	0,00764	0,00124	0,05603	0,04112	0,00248	0,00047	0,04908	0,00806
Запорізька	0,13205	0,20276	0,06998	1,48465	1,71875	0,07600	0,01401	0,01044	0,09787
Івано-Франківська	0,00965	0,01273	0,07671	3,17651	2,36513	0,00838	0,00532	0,00791	0,01545
Київська	0,03513	0,05748	0,01865	0,38224	0,45395	0,00990	0,00346	0,36667	0,04298
Кіровоградська	0,02157	0,00933	0,00472	0,62803	0,20888	0,06910	0,10278	0,00438	0,00686
Луганська	0,00856	0,00891	0,02905	0,62804	0,56579	0,08602	0,00176	0,05703	0,02427
Львівська	0,01908	0,03542	0,04221	1,11483	0,70888	0,03290	0,00678	0,03481	0,02182
Миколаївська	0,02678	0,01273	0,00549	0,12864	0,20395	0,06046	0,00636	0,00612	0,07069
Одеська	0,07231	0,03372	0,01145	0,19819	0,20395	0,07610	0,00202	0,01383	0,03803
Полтавська	0,01344	0,01485	0,02163	0,43364	0,64803	0,03244	0,09595	–	0,05208
Рівненська	0,01367	0,01209	0,00371	0,10636	0,13487	0,02026	0,00125	0,12864	0,01680
Сумська	0,01019	0,00997	0,00785	0,19034	0,30428	0,01912	0,00159	0,00139	0,02228
Тернопільська	0,00531	0,00615	0,00410	0,17024	0,16447	0,01529	0,00521	0,00005	0,00062
Харківська	0,02927	0,05726	0,01741	0,31916	0,27467	0,06245	0,00493	0,00711	0,04397
Херсонська	0,18723	0,01463	0,00371	0,07506	0,14967	0,04301	0,00109	0,05733	0,00382
Хмельницька	0,01149	0,00742	0,00816	0,22786	0,27138	0,03939	0,00254	0,01512	0,01030
Черкаська	0,01951	0,02269	0,01869	0,51530	0,64803	0,02047	0,00354	0,00914	0,01242
Чернівецька	0,00716	0,00896	0,00128	0,09061	0,05920	0,00778	0,00101	0,00174	0,00425
Чернігівська	0,01138	0,01527	0,01222	0,22077	0,50658	0,00508	0,00200	0,00815	0,13950

Джерело: розраховано авторами за [9, 10].

Таблиця 3 – Ранжування регіонів за комплексною оцінкою впливу на довкілля

№ п/п	Регіони	Комплексний частковий показник впливу по регіонах	Інтегральний індекс впливу на довкілля по регіонах	Ранг
1	Закарпатська	0,17100	0,47500	1
2	Чернівецька	0,18199	0,50553	2
3	Житомирська	0,29872	0,82978	3
4	Волинська	0,33613	0,93369	4
5	Тернопільська	0,37144	1,03178	5
6	Рівненська	0,43765	1,21570	6
7	Миколаївська	0,52122	1,44783	7
8	Херсонська	0,53555	1,48764	8
9	Сумська	0,56701	1,57503	9
10	Хмельницька	0,59366	1,64906	10
11	Одеська	0,64960	1,80440	11
12	Харківська	0,81623	2,26731	12
13	Чернігівська	0,02095	2,55819	13
14	Кіровоградська	1,05565	2,93236	14
15	Черкаська	1,26979	3,52720	15
16	Полтавська	1,31206	3,64461	16
17	Київська	1,37046	3,80683	17
18	Луганська	1,40943	3,91508	18
19	Львівська	2,01673	5,60203	19
20	Вінницька	3,07728	8,54800	20
21	Запорізька	3,80651	10,57364	21
22	Івано-Франківська	5,67779	15,77164	22
23	Січеславська	9,45760	26,27111	23
24	Донецька	10,56909	29,34747	24
25	Місто Київ	12,74188	35,39411	25

Джерело: розраховано авторами за [8].

Висновки. В роботі проведено комплексне оцінювання техногенного впливу на довкілля для різних регіонів України. Розрахунки регіональних інтегральних індексів впливу на навколишнє природне середовище велись на основі статистичної інформації про вплив на навколишнє середовище за різними видами екодеструктивної діяльності: забруднення атмосферного повітря, зміни стану земельних і водних ресурсів, загибель лісових насаджень, утворення відходів.

Аналіз проведених досліджень засвідчив, що у цілому екосистема України з 2017 р. за інтенсивністю техногенного впливу на природне середовище перевищує пристосувальні можливості екосистем. Особливо це стосується Дніпропетровської та Донецької областей, а також міста Київ. Швидкість деградації довкілля названих територій набула таких величин, що найближчим часом може бути втрачена стійкість екосистем. Найбільш забрудненим регіоном України виступає місто Київ, його інтегральний індекс перевищує 35.

Дуже високий техногенний вплив на довкілля здійснюється в таких областях, як Львівська, Вінницька, Запорізька, Івано-Франківська. Тривожить екологічна ситуація в Тернопільській, Рівненській, Миколаївській, Херсонській, Сумській, Хмельницькій, Одеській областях. Відносно невелике техногенне навантаження спостерігається в Закарпатській, Чернівецькій, Житомирській, Волинській областях.

Розрахунки регіональних індексів впливу показали, що найбільший внесок у їх значення роблять такі показники, як викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення на квадратний кілометр та викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення на одну особу. Інші показники не мають статистично значущого впливу на інтегральний показник.

Протягом останніх років в Україні досить гостро відчувається обмеженість ресурсів для оздоровлення екологічних ситуацій у регіонах. При децентралізації також постійно постає питання про ефективний та обґрунтований розподіл бюджетних коштів між регіонами для підвищення рівня екологічної безпеки населення та об'єктів господарювання. Наведені вище дані комплексної оцінки техногенного впливу на довкілля по регіонах України можуть стати основою для визначення

пріоритетних напрямів розвитку регіонів, оптимізації шляхів забезпечення екологічної безпеки їх територій, прийняття управлінських рішень з метою ефективнішого розподілу коштів між регіонами для запобігання погіршенню життєдіяльності населення досліджуваних регіонів держави.

Використана методика кількісного оцінювання на основі статистичних натуральних (абсолютних і відносних) показників забезпечує можливість проведення ранжування регіонів за інтегральним показником впливу на довкілля та більш обґрунтованого прийняття рішення щодо оздоровлення екологічної ситуації кожного регіону держави.

Список літератури

- [1] Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» від 21.12.2010 р. № 2818-VI [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>
- [2] *Заключний звіт з науково-дослідної роботи «Проведення аналізу стану реалізації регіональної екологічної політики»* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/docs/activity-ecopolit/NDR%20regionalna%20politika%202013.doc>
- [3] В. В. Тарасова, *Екологічна статистика: підручник*. Київ: Центр учбової літератури, 2008.
- [4] А. Б. Качинський, *Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи*. Київ: ПІНБ, НАСБУ, 2004.
- [5] С. П. Іванюта, "Про інтегральну оцінку рівня екологічної безпеки регіонів України", *Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури, НАН України, Ін-т телекомунікації і глобального інформ. простору*, вип. 13, с. 24-34, 2013.
- [6] Л. Ф. Кожушко, та П. М. Скрипчук, *Екологічний менеджмент: підручник*. Київ: Академія, 2007.
- [7] І. Ковалевська, "Статистичний аналіз та оцінювання впливу екологічного стану довкілля на здоров'я населення та якість життя людини", *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, № 1, с. 30-32, 2013.

- [8] А. О. Соколова, та О. А. Мартинчик, *Методичні рекомендації для проведення семінарсько-практичних занять з курсу «Ризикологія» для студентів економічних спеціальностей*. Житомир: Житомир. нац. агроєкол. ун-т, 2010.
- [9] *Довкілля України за 2017 рік: стат. зб..* Держ. служба статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- [10] *Статистичний щорічник Черкаської області за 2017 рік*, В. П. Приймак, ред. Черкаси, 2018.
- [5] S. P. Ivaniuta, "On integral assessment of the level of environmental safety of Ukrainian regions", *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya: a coll. of sci. works* / Kyiv National University of Construction and Architecture, NAS of Ukraine, Institute for Telecommunications and Global Information Space, iss. 13, pp. 24-34, 2013 [in Ukrainian].
- [6] L. F. Kozhushko, and P. M. Skrypchuk, *Ecological management*. Kyiv: Akademiia, 2007 [in Ukrainian].
- [7] I. Kovalevska, "Statistical analysis and assessment of environmental impact on health of population and quality of human life", *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, no. 1, pp. 30-32, 2013 [in Ukrainian].
- [8] A. O. Sokolova, and O. A. Martynchuk, *Methodical recommendations for conducting seminars and practical classes on the course "Riskology" for students of economic specialties*. Zhytomyr: Zhytomyr Nat. Agroecol. Un-ty, 2010 [in Ukrainian].
- [9] *Environment of Ukraine for 2017: stat. newsletter*. State Statistics Service of Ukraine [Online]. Available: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- [10] *Statistical yearbook of Cherkasy region for 2017*, V. P. Pryimak, Ed. Cherkasy, 2018 [in Ukrainian].

References

- [1] The Law of Ukraine "On basic principles (strategy) of state environmental policy of Ukraine for the Period until 2020" dated December 21, 2010 no. 2818-VI [Online]. Available: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>
- [2] Final report on research work "Conducting analysis of the state of implementation of regional environmental policy" [Online]. Available: <http://www.menr.gov.ua/docs/activity-ecopolit/NDR%20regionalna%20politika%202013.doc>
- [3] V. V. Tarasova, *Environmental statistics*. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury, 2008 [in Ukrainian].
- [4] A. B. Kachynskyi, *Safety, threats and risk: scientific concepts and mathematical*

T. P. Goncharenko, candidate of chemical sciences (Ph. D.), assistant professor,
e-mail: t.p.g@inbox.lv

L. I. Zhitskaya, candidate of biological sciences (Ph. D.), assistant professor,
e-mail: zhytska_lyudmila@ukr.net

L. I. Plachotnja, head of laboratories,
e-mail: plubov2@gmail.com
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF MAN-CAUSED IMPACT ON ENVIRONMENT IN THE REGIONS OF UKRAINE

The article presents a tool for assessing the impact of man-caused threats on the state of environmental safety of regions of Ukraine, describes the essence of the methodology used in the work for environmental assessment of the territory on the basis of natural (absolute and relative) indices. To calculate the integral regional indices of ecological impact, the statistical information on the main indices of man-caused load on environment according to various types of ecological destructive activities: water sampling, discharges into water, atmospheric emissions and their density, waste, erosion and degradation of soils, damage to forest plantations, environmental costs, has been used. An

important advantage of the used method consists in the objectivity based on the use of official data of public institutions. According to the results of calculations of integrated indices of man-caused impact on the environment the grouping and ranking of the regions of Ukraine has been carried out.

The city of Kyiv is the most polluted region of Ukraine, its integral index exceeds 35. Very high man-caused impact on the environment is carried out in such regions as Lviv, Vinnytsia, Zaporizhia, Ivano-Frankivsk. The ecological situation in Ternopil, Rivne, Mykolaiv, Kherson, Sumy, Khmelnytskyi, Odesa regions is also alarming. Relatively small man-caused impact is observed in Transcarpathian, Chernivtsi, Zhytomyr, Volyn regions.

Calculations of regional indexes of impact have shown that the greatest contribution to their value is made by the following indices: emissions of pollutants into the air from stationary sources of pollution per square kilometer and emissions of pollutants into the air from stationary sources of pollution per person. Other indices do not have a statistically significant impact on the integral index.

The conclusions are formulated and recommendations for making the substantiated decisions on the reduction of man-caused impact on the territory of regions of the country are suggested.

Keywords: *comprehensive assessment of the territory of regions, absolute and relative indices of impact on environment, integral index of impact, environmental state of regions.*

О. О. Мислюк, к.х.н., доцент,
e-mail: omyslyuk13@gmail.com

О. М. Хоменко, к.х.н., доцент,
e-mail: homenko@uch.net

О. В. Єгорова, к.т.н., викладач,
e-mail: yegorova.ok@gmail.com

В. І. Пидоренко, бакалавр екології
e-mail: pydorenko313131@gmail.com

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

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТАНУ УРБАНОЗЕМІВ

Дано оцінку екологічного стану ґрунтів м. Черкаси за основними фізико-хімічними властивостями. Аналіз екологічного стану ґрунтів м. Черкаси виявив їх неоднорідність, значне відхилення від оптимальних значень, що характеризує їх як антропогенно і техногенно урбанізовані. Важливими недоліками є низький вміст гумусу, залуження ґрунту і несприятливі окисно-відновні умови, порушення оптимального співвідношення Кальцію і Магнію у ГВК. У зв'язку з цим потрібно передбачити заходи щодо відновлення структури ґрунтів та покращення ґрунтових умов зростання зелених насаджень на території міста, зокрема, гіпсування ґрунту, внесення органічних добрив, забезпечення зволоження і обмеження випаровування вологи, покращення аераційних умов.

Ключові слова: урбаноземі, хімічна трансформація, фізико-хімічні властивості ґрунту, гумус, рослини.

Вступ. Загальновідомо, що ґрунт виконує значну кількість екологічних функцій, які забезпечують стабільність як окремих біоценозів, так і біосфери в цілому. Проте техногенне навантаження на ґрунтові комплекси значно погіршує їх екологічні функції. Особливо гостро проявляються негативні зміни в межах великих міст [1, 2]. Для урбаноземів характерна фізична й хімічна трансформація, яка проявляється, перш за все, у руйнації профільної структури, наявності антропогенних включень, підвищенні щільності, зниженні вологоємності, зміні біологічних показників, значень рН, ОВП, вмісту гумусу, накопиченні важких металів тощо [3].

Метою роботи є екологічне оцінювання сучасного стану урбоґрунтів м. Черкаси.

Матеріали і результати досліджень. Літогенною основою ландшафтів м. Черкаси виступають леси і лесовидні суглинки, супіски різного генезису. Ґрунтовий покрив неоднорідний, легкого механічного складу з переважанням великого і середнього піску, наявністю включень антропогенного характеру. Найбільш поширені чорноземи типові слабо гумусовані і лучно-чорноземні ґрунти на лесових породах. Ґрунти міста зазнають значно-

го аеротехногенного навантаження [4] і містять багато хімічних ксенобіотиків [5, 6]. Діагностика показників ґрунтів, які є визначальними для оцінювання їх екологічного стану, виконання ними агроекологічних функцій, дасть можливість визначити оптимальні та критичні значення для сталого функціонування міських ландшафтів та запропонувати до реалізації найефективніші й своєчасні заходи.

Дослідження фізико-хімічних властивостей ґрунтів проводилися на 32 ділянках в різних функціональних зонах міста (рисунк 1) за стандартними методиками.

Відбір проб зразків ґрунту здійснювали методом конверта з глибини 0-20 см (верхні гумусо-аккумулятивні горизонти). Статистичну обробку результатів виконано за допомогою пакета MS Excel.

Результати досліджень властивостей урбаноземів подано в таблиці 1.

Важливим фактором стійкості ґрунтів до антропогенних впливів є вміст гумусу, який сприяє оструктуренню ґрунтів та оптимізації фізичних властивостей, підвищує поглинальну здатність і буферність, акумулює біофільні хімічні елементи й енергію.

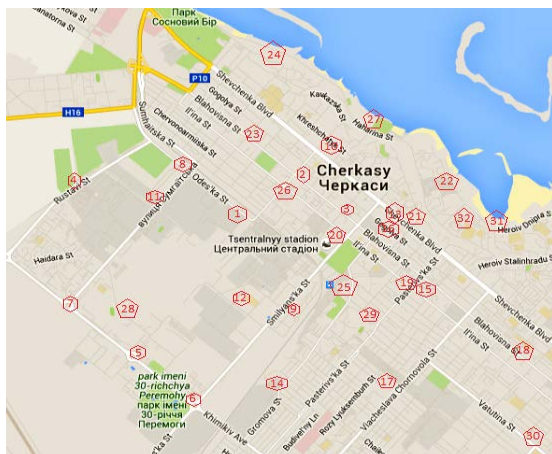


Рисунок 1 – Карта-схема розташування ділянок

Таблиця 1 – Фізико-хімічні властивості ґрунтів міста Черкаси

№ ділянки	Вміст гумусу, %	pH _{вод.}	ОВП, мВ	Mg ²⁺ обм., мг-екв/100 г ґрунту	Ca ²⁺ обм., мг-екв/100 г ґрунту	K ⁺ розч., мг-екв/100 г ґрунту
1	1,02	7,65	259	0,0	7,8	6,2
2	0,65	7,80	258	2,2	5,6	0,3
3	0,80	10,90	254	0,8	5,2	0,1
4	0,49	7,25	264	0,8	4,0	0,6
5	0,71	7,35	256	0,0	6,2	0,4
6	1,53	7,05	260	1,8	6,8	0,5
7	0,13	6,70	256	2,4	6,2	1,5
8	0,82	6,55	254	1,4	6,6	0,6
9	0,65	7,75	252	0,6	6,0	0,1
10	0,36	8,94	259	0,4	7,0	0,6
11	0,32	7,80	259	3,8	7,2	0,5
12	0,65	8,15	256	2,6	6,2	2,8
13	1,42	8,60	264	3,0	6,6	0,2
14	0,54	8,35	266	4,2	5,8	0,2
15	1,04	7,45	257	1,6	3,8	0,1
16	1,09	8,86	260	2,8	6,4	0,5
17	2,04	7,85	259	4,5	9,0	1,1
18	0,91	7,35	264	1,7	9,9	0,2
19	0,04	7,45	254	5,8	6,4	2,6
20	0,59	6,85	278	5,3	9,7	0,3
21	1,61	7,65	255	2,6	5,9	0,2
22	0,71	7,25	277	10,4	4,2	0,7
23	0,46	7,60	266	3,8	6,2	0,3
24	0,16	7,40	267	6,1	7,7	0,2
25	0,37	7,70	258	4,9	5,3	0,2
26	1,66	7,85	256	5,5	5,3	0,4
27	0,54	7,55	258	2,4	6,6	0,6
28	3,01	6,45	266	7,2	5,9	0,3
29	1,43	8,10	267	0,1	10,1	0,4
30	0,03	8,45	252	6,9	7,7	0,4
31	0,27	7,80	257	4,7	5,1	0,7
32	0,84	7,55	275	0,1	9,9	0,3

На геохімічному бар'єрі гумусового горизонту ґрунту відбувається депонування важких металів. Основні показники гумусового стану ґрунтів належать до консервативних властивостей ґрунту, кількісні характеристики яких формуються тривалий час і настільки ж довго зберігаються. Однак вплив урбанізації на ґрунти є настільки інтенсивним і тривалим, що відбуваються зміни і найбільш стійких властивостей. Хімічні забруднення, впливаючи на склад і властивості гумусових речовин, можуть призводити до порушень екологічної рівноваги в біогеоценозах. Не менш важливою є роль гумусового стану ґрунтів урболандшафтів [7].

Вміст гумусу у ґрунтах м. Черкаси (рисунки 2) є переважно дуже низьким, коливається у межах 0,03-3,01 % за середнього значення 0,84 %, стандартне відхилення – 0,67, дисперсія – 0,41, коефіцієнт варіації – 76 %.

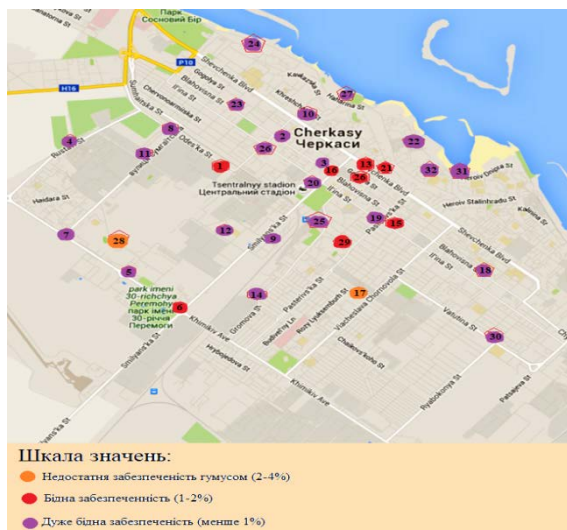


Рисунок 2 – Розподіл гумусу в ґрунтах

Групування ґрунтів за вмістом гумусу свідчить, що недостатню забезпеченість гумусом (2-4 %) має 6,25 % досліджених ґрунтових зразків, бідну (1-2 %) – 25 % і вкрай бідну (менше 1 %) – 69 % (рисунки 3).

Такі низькі показники пояснюються тим, що у місті відбувається забруднення і руйнування верхнього родючого шару ґрунту, надходить велика кількість піску, яким посыпаються дороги взимку, процес гумусоутворення практично відсутній через те, що опалі листки, дрібні гілки та плоди прибираються і, таким чином, поповнення органічної складової ґрунту за їх рахунок не відбувається, процеси розпаду, гуміфікації та мінералізації

навіть тих рослинних решток, що не були вилучені, гальмуються внаслідок дії всього комплексу антропогенних впливів [8].

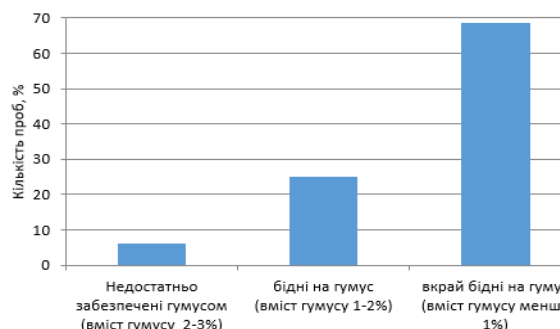


Рисунок 3 – Забезпеченість гумусом ґрунтів

Узагальнюючим екологічним показником, який характеризує поживний режим ґрунту, впливає на ріст і розвиток рослин, на міграційні властивості важких металів, є актуальна кислотність ґрунтового розчину.

Актуальна кислотність ґрунтів ($pH_{вод.}$) на дослідних ділянках м. Черкаси коливається в межах від 6,45 до 10,90 при середньому значенні 7,20, стандартне відхилення – 0,83, дисперсія – 0,69. За величиною pH ґрунти характеризуються однорідністю – коефіцієнт варіації $C_v = 11$ %. Переважно досліджені ґрунти мають слабколужне і нейтральне середовище (рисунки 4).

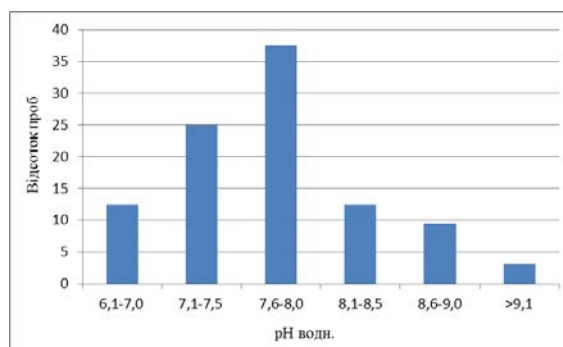


Рисунок 4 – Розподіл ґрунтів за кислотністю

У міських умовах ґрунти зазвичай лужні [1, 9–12], хоча трапляються і кислі [13–15]. В цілому процес незначного залуження ґрунту сприятливо позначається на його властивості та родючості, зокрема, знижується ступінь рухливості металів, що позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, сприяє активізації мікробного співтовариства. Однак подальше залуження (при $pH > 7,5$) спричиняє погіршення структури ґрунту, порушення рівноваги ґрунтово-геохімічних процесів, що призводить до

зниження стійкості екосистеми, і являє собою цілий ряд проблем для рослин, включаючи дисбаланс поживних речовин, який не сприяє нормальному розвитку кореневої системи деревних рослин, токсичність іонів тощо (рис. 5) [8, 16]. При $pH > 8,0$ ґрунт має погані фізичні властивості, фільтрація і перколяція надзвичайно утруднені. Утворюються важкорозчинні сполуки, що знижує доступність для рослин елементів живлення, можливе розчинення органічних речовин ґрунту (гумусу), ґрунт стає малопродатним для зростання рослин [17].



Рисунок 5 – Реакції рослин на ґрунтах з неоптимальним значенням pH

За показником pH на деяких досліджених ділянках у м. Черкаси спостерігаються неоптимальні умови щодо живлення рослин необхідними макро- та мікроелементами (рис. 6).

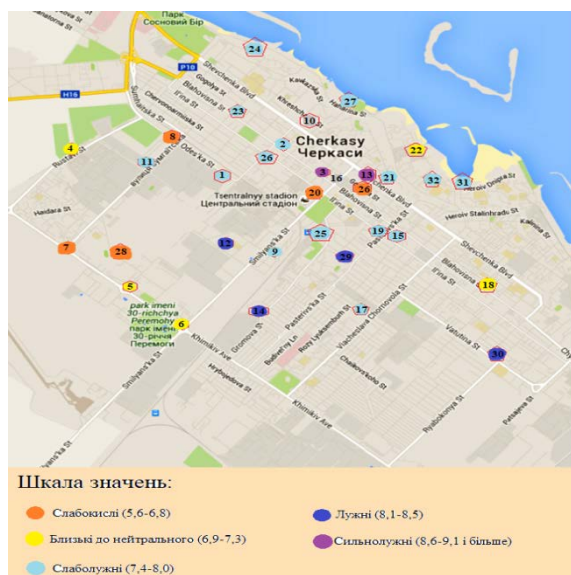


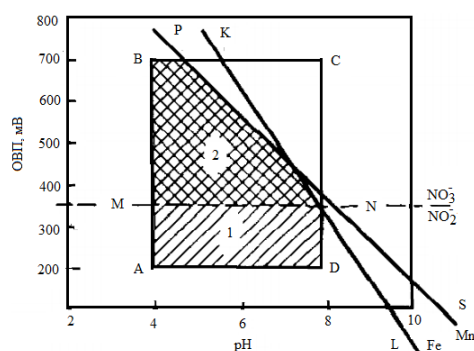
Рисунок 6 – Характеристика кислотно-основних властивостей ґрунтів

Залуження ґрунтів м. Черкаси, імовірно, зумовлене застосуванням взимку піщано-сольових сумішей при ожеледях, а також викидами підприємств і автотранспорту, які з опадами з часом потрапляють у ґрунт. Лужність ґрунтів порушує засвоєння елементів живлення рослинами та може призвести до погіршення стану зелених насаджень і невиконання ними своїх функцій.

За участю іонів водню відбувається багато окисно-відновних реакцій у ґрунтах, тому від значень pH залежить окисно-відновний стан ґрунтів, який впливає на ґрунтоутворення, регулюючи процес деструкції органічних залишків, темпи нагромадження і характер гумусових речовин, а також рухомість і біологічну доступність поживних речовин (сполук Нітрогену і Фосфору, мікроелементів) у системі ґрунт-рослина. Окисно-відновний потенціал (ОВП) є інтегральним показником оцінювання стабільності окисно-відновних процесів ґрунту, які впливають на його здатність підтримувати екологічну рівновагу у системах ґрунт-атмосфера і ґрунт-рослина [18, 19].

Окисно-відновний потенціал ґрунтів варіював від 252 до 287 мВ при середньому значенні 262 мВ (стандартне відхилення – 7,3, дисперсія – 52,6, коефіцієнт варіації – 3 %). Низькі значення ОВП ґрунтів м. Черкаси можуть бути зумовлені режимом зволоження, кількістю органічної речовини, мікробіологічною активністю, поганою аерацією ґрунту через його переущільнення.

При таких значеннях ОВП і $pH \geq 8,0$ рослини можуть відчувати дефіцит Fe, Mn. У ґрунті переважатимуть процеси денітрифікації (рис. 7).



1 – область нормального постачання рослин залізом і марганцем; 2 – область нормального постачання рослин залізом, марганцем і нітратами

Рисунок 7 – Граничні умови нормального живлення рослин (за І. П. Сердобольським) [19]

Важливу роль у процесах ґрунтоутворення відіграє Кальцій. Він входить до складу ґрунтового вбирного комплексу (ГВК), бере участь в обмінних реакціях ґрунтового розчину, зумовлює високу буферність ґрунту в кислому інтервалі середовища. Найкращі умови для живлення рослин створюються при переважанні у складі ГВК катіонів Ca^{2+} . Часткова заміна Ca^{2+} на Mg^{2+} у ГВК призводить до погіршення водно-фізичних властивостей ґрунтів, якісного складу гумусу, що зумовлює зниження їх родючості [1]. При нестачі Ca^{2+} , в першу чергу, страждає коренева система рослин: ріст коріння припиняється, не утворюються бічні корінці та фізіологічно активні кореневі волоски, корені ослизнюються і темніють. Крім того, іони Ca^{2+} виконують важливу роль у зміні спрямованості метаболічних процесів в організмі рослин в умовах дії стресових чинників [8].

Проведені дослідження засвідчили, що у складі ГВК вміст Ca^{2+} коливався в межах від 3,80 до 10,12 мг-екв/100 г ґрунту при середньому значенні 6,60, стандартне відхилення – 1,66, дисперсія – 2,77, коефіцієнт варіації – 25 %. Вміст Mg^{2+} варіює від 0,00 до 10,40 мг-екв/100 г ґрунту при середньому значенні 3,14 (стандартне відхилення – 2,50, дисперсія – 6,26, коефіцієнт варіації – 80 %).

Йони Mg^{2+} є важливими для росту і розвитку рослин, як і йони Ca^{2+} . У той же час висока концентрація Mg^{2+} може негативно впливати на водоміцність ґрунтових агрегатів, обмежувати надходження Мп для рослин, дефіцит якого призводить до хлорозу і некрозу листків і стебел [8].

У складі увібраних катіонів чорноземів типових і лучно-чорноземних ґрунтів Лісостепової зони переважає обмінний кальцій. Зазвичай ГВК на 70-85 % насичений Ca^{2+} , і тільки у солонцюватих-солончакуватих ґрунтах фіксується підвищений вміст обмінного Mg^{2+} [20]. За результатом досліджень для багатьох ґрунтів м. Черкаси характерний більший вміст Mg^{2+} порівняно з Ca^{2+} (рисунок 8).

Привертає увагу і значна неоднорідність досліджених ґрунтів за вмістом Mg^{2+} (коефіцієнт варіації – 80 %). Ймовірно це обумовлено тим, що взимку головні магістралі міста обробляють сумішшю магній хлоридом і натрій хлоридом для боротьби із ожеледицею, а також вимиванням цих іонів з ГВК у процесах нейтралізації іонів Гідрогену в ґрунтового розчині.

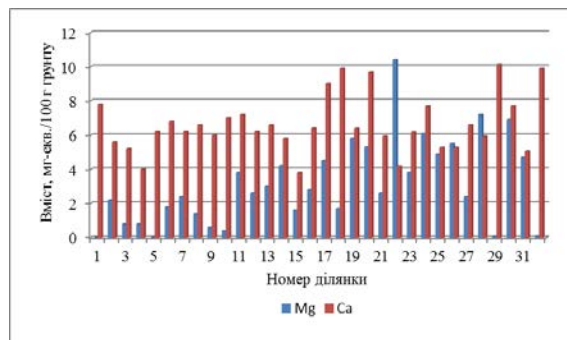


Рисунок 8 – Вміст обмінного Кальцію і Магнію

Калій відноситься до органогенів, необхідних для розвитку рослин, він є одним із трьох макроелементів, необхідних рослинам у найбільших кількостях. Калій підвищує стійкість рослин до шкідників і хвороб, регулює водний режим та підвищує стійкість до посух, покращує розвиток кореневої системи. За вмістом Калію ґрунти м. Черкаси характеризуються дуже високою неоднорідністю, але переважно забезпечені цим важливим елементом живлення рослин. Відомо, що за валовими формами поживних речовин лучно-чорноземні ґрунти наближаються до чорноземів, а в зоні недостатнього зволоження навіть перевищують їх. Не поступаються вони чорноземам і за вмістом рухомих поживних речовин [20].

Вміст Калію коливається в межах від 0,12 до 6,20 при середньому значенні 0,59 мг-екв/100 г ґрунту, стандартне відхилення – 0,67, дисперсія – 1,39, коефіцієнт варіації – 95 %. Висока неоднорідність досліджених ґрунтів за вмістом K^+ пояснюється відмінностями рослинного покриву модельних ділянок. Відомо, що Калій швидко засвоюється рослинами.

Низький вміст гумусу, залуження ґрунтів, несприятливі окисно-відновні умови, незбалансованість поживних елементів можуть робити істотний вплив на стійкість урбоекосистем м. Черкаси, на розвиток зелених насаджень. Відомо, що при зміні концентрації будь-якого елемента в урбопедосистемі обов'язково змінюється концентрація всіх інших елементів, що, безумовно, відбивається на стані всього біогеоценозу, важливим структурним компонентом якого є ґрунт [21].

Висновки. Аналіз екологічного стану ґрунтів м. Черкаси виявив їх неоднорідність, значне відхилення від оптимальних значень, що характеризує їх як антропогенно і техногенно урбанізовані. Важливими недоліками є

низький вміст гумусу, залуження ґрунту і несприятливі окисно-відновні умови, порушення оптимального співвідношення Кальцію і Магнію у ГВК.

У зв'язку з цим потрібно передбачити заходи з відновлення структури ґрунтів та покращення ґрунтових умов зростання зелених насаджень на території міста, зокрема, гіпсування ґрунту, внесення органічних добрив, забезпечення зволоження і обмеження випаровування вологи, покращення аераційних умов.

Варто враховувати наведені вище чинники для покращення існуючого стану рослин та при створенні нових насаджень під час розроблення генерального плану озеленення м. Черкаси відділом із благоустрою міста Департаменту житлово-комунального комплексу Черкаської міської ради.

Список літератури

- [1] В. І. Тригуб, С. В. Бочевар, та А. М. Купчик, "Ґрунтово-екологічні особливості міських ґрунтів (на прикладі м. Одеси)", *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*, т. 21, вип. 1, с. 98-109, 2016.
- [2] О. В. Мірзак, "Досвід дослідження ґрунтів великих промислових центрів степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровська)", *Ґрунтознавство*, т. 1. № 1-2, с. 87-92, 2001.
- [3] Soil in the city. Urban soil management strategy. City of Stuttgart, Germany, 2012. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/280919874_Soil_in_the_City_Urban_Soil_Management_Strategy
- [4] О. О. Мислюк, Є. В. Мислюк, та Л. М. Соломка, "Оцінка впливу викидів Черкаської ТЕЦ на стан урболандшафтів", *Вісник Одеського національного університету. Хімія*, т. 15, вип. 12-13, с. 47-53, 2010.
- [5] О. Ю. Шейкіна, та О. О. Мислюк, "Екологічна оцінка забруднення міських ґрунтів важкими металами вздовж основних транспортних магістралей міста Черкаси", *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, № 1, с. 61-65, 2008.
- [6] Н. М. Корнелюк, "Особливості акумуляції важких металів вегетативними органами *Chenopodium album* L. в умовах техногенного забруднення ґрунтів м. Черкаси", *Вісник Кременчуцького національного університету*, вип. 2 (115), с. 93-100, 2019.
- [7] Г. В. Тітенко, та М. І. Кулик, "Гумусовий горизонт міських ґрунтів як геохімічний бар'єр в урболандшафті", *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, № 1-2, с. 130-136, 2012.
- [8] О. Г. Луцишин, та ін. "Фізико-хімічні властивості ґрунтів в умовах Київського мегаполісу", *Доповіді Національної академії наук України*, № 3, с. 197-204, 2011.
- [9] Susan D. Day, Phillip Eric Wiseman, Sarah B. Dickinson, J. Roger Harris, "Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere", *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 36 (5), pp. 193-205, 2010.
- [10] Т. К. Клименко, "Вплив ґрунтових властивостей на розподіл валових форм важких металів у ґрунтах урбосистем м. Дніпродзержинська", *Збірник наукових праць НГУ*, № 38, с. 222-227, 2012.
- [11] Л. О. Середа, Л. А. Яблонских, и С. А. Куролап, "Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова городского округа города Воронеж", *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, № 4, с. 59-65, 2015.
- [12] A. Kazlauskaitė-Jadzevicius, J. Volungevicius, V. Gregorauskiene, and S. Marcinkonis, "The role of pH in heavy metal contamination of urban soil", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 22, iss. 4, pp. 311-318, 2014.
- [13] E. Hajduk, and Ja. Kaniuczak, "Microelements in soils and in leaves of selected tree species in an industrial urban area", *Journal of Elementology*, vol. 19, iss. 4, pp. 1001-1020, 2014.
- [14] M. Alamgir, M. Islam, N. Hossain, M. G. Kibria, and M. M. Rahman, "Assessment of heavy metal contamination in urban soils of Chittagong city, Bangladesh: a critical review", *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 7, iss. 6, pp. 362-372, 2015.
- [15] M. Kharytonov, O. Titarenko, and V. Khlopova, "Assessment of aerotechnogenic pollution of soils in area of industrial enterprises activity of Pavlograd city", *Екологічна безпека*, № 1 (19), с. 37-40, 2015.
- [16] A. Läuchli, and S. R. Grattan, "Soil pH Extremes", in *Plant Stress Physiology*, Sha-

- bala S., Ed. Cambridge, MA: CAB International. 2012, pp. 194-209.
- [17] Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. Москва, 2003.
- [18] А. Е. Возбуцкая, *Химия почвы*. Москва: Высшая школа, 1968.
- [19] З. Г. Гамкало, "Екологічна інформативність окисно-відновного потенціалу ґрунту агрофітоценозів", *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету. Серія географія*, вип. 3, с. 82-89, 2002.
- [20] А. М. Польовий, А. І. Гуцал, та О. О. Дронова, *Ґрунтознавство*. Одеса: Екологія, 2013.
- [21] В. А. Горбань, "Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей", *Ґрунтознавство*, т. 9, № 1-2 (12), с. 124-127, 2008.
- References**
- [1] V. I. Trygub, S. V. Bochevar, and A. M. Kupchik, "Soil and ecological peculiarities of urban soils (on the example of Odesa city)", *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Ser.: Geografichni ta geologichni nauky*, vol. 21, iss. 1, pp. 98-109, 2016 [in Ukrainian].
- [2] O. V. Mirzak, "Experience of the investigation of the great industrial centers of the steppe zone of Ukraine (on the example of Dnipropetrovsk city). *Ґрунтознавство*, No. 1-2, pp. 87-92, 2001 [in Ukrainian].
- [3] Soil in the city. Urban soil management strategy. City of Stuttgart, Germany, 2012. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/280919874_Soil_in_the_City_Urban_Soil_Management_Strategy
- [4] O. O. Myslyuk, E. V. Myslyuk, and L. M. Solomka, "Assessment of impact of Cherkasy CHP plant emissions on urbolandscapes". *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Ser.: Chemistry*, vol. 15, iss. 12-13, pp. 47-53, 2010 [in Ukrainian].
- [5] O. Yu. Shejkina, and O. O. Myslyuk, "Ekological assessment of urban soil contamination by heavy metals along the main transport roads of Cherkasy city", *Ekologija dovkillja ta bezpeka zhittyedijal'nosti*, no. 1, pp. 61-65, 2008 [in Ukrainian].
- [6] N. M. Kornelyuk, "Peculiarities of accumulation of heavy metals in *Chenopodium album* L. vegetative bodies in the conditions of technogenic pollution of soils of Cherkasy city", *Visnyk Kremenchukskoho natsionalnoho universytetu im. Myhaila Ostrohradskoho*, iss. 2 (115), pp. 93-100, 2019 [in Ukrainian].
- [7] A. V. Titenko, and M. I. Kulik, "Humus horizon of urban soils as a geochemical barrier in urban landscape", *Lyudyna ta dovkillja. Problemy neoeholohiyi*, no. 1-2, pp. 130-136, 2012 [in Ukrainian].
- [8] O. G. Lutsyshyn, et al., "Physical and chemical properties of soils under conditions of Kyiv megalopolis", *Dopovidi Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrayiny*, no. 3, pp. 197-204, 2011 [in Ukrainian].
- [9] Susan D. Day, Phillip Eric Wiseman, Sarah B. Dickinson, and J. Roger Harris, "Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere", *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 36 (5), pp. 193-205, 2010.
- [10] T. K. Klimenko, "The influence of soil properties on the allocation of gross forms of heavy metals in the soils of urban systems of Dniprodzerzhyns'k city", *Zbirnyk naukovykh prac' NGU*, no. 38, pp. 222-227, 2012 [in Ukrainian].
- [11] L. O. Sereda, L. A. Yablonskikh, and S. A. Kurolap, Assessment of ecological and geochemical situation of soil cover in urban district of Voronezh city. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geographiya. Geoekologiya*, no. 4, pp. 59-65, 2015 [in Russian].
- [12] A. Kazlauskaitė-Jadzevice, J. Volungevicius, V. Gregorauskienė, and S. Marcinkonis, "The role of pH in heavy metal contamination of urban soil", *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 22, iss. 4, pp. 311-318, 2014.
- [13] E. Hajduk, and Ja. Kaniuczak, "Microelements in soils and in leaves of selected tree species in an industrial urban area", *Journal of Elementology*, vol. 19, iss. 4, pp. 1001-1020, 2014.
- [14] M. Alamgir, M. Islam, N. Hossain, M. G. Kibria, and M. M. Rahman, "Assessment of heavy metal contamination in urban soils of Chittagong city, Bangladesh: a critical review", *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 7, iss. 6, pp. 362-372, 2015.
- [15] M. Kharytonov, O. Titarenko, and V. Khlopova, "Assessment of aerotechnogenic pollution of soils in area of industrial

- enterprises activity of Pavlograd city", *Ekologichna bezpeka*, no. 1 (19), pp. 37-40, 2015.
- [16] A. Läuchli, and S. R. Grattan, "Soil pH Extremes", in *Plant Stress Physiology*, Shabala S., Ed. Cambridge, MA: CAB International. 2012, pp. 194-209.
- [17] *Methodical recommendations on the assessment of urban soils in the development of urban, architectural and building documentation*. Moscow, 2003 [in Russian].
- [18] A. E. Vozbuckaya, *Soil chemistry*. Moscow: Vysshaya shkola, 1968 [in Russian].
- [19] Z. H. Hamkalo, "Ecological informativity of redox potential of soil agrophytocenosis", *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu im. Mykhaila Kotsiubynskyi State Pedagogical University*, iss. 3, pp. 82-89, 2002 [in Ukrainian].
- [20] A. M. Polovyi, A. I. Hutsal, and O. O. Dronova, *Soil science*. Odesa: Ekologichna, 2013 [in Ukrainian].
- [21] V. A. Gorban, "Ecological soil characteristics and their correlations", *Soil science*, vol. 9, no. 1-2 (12), pp. 124-127, 2008 [in Ukrainian].

O. O. Myslyuk, Ph. D., associate professor,
e-mail: omyslyuk13@gmail.com

O. M. Khomenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: homenko@uch.net

O. V. Yehorova, Ph. D., lecturer,
e-mail: yegorova.ok@gmail.com

V. I. Pydorenko, bachelor of Ecology,
e-mail: pydorenko313131@gmail.com
Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF URBAN SOILS

Physical and chemical transformation is typical for urban soils, that considerably aggravate their agroecological functions. The purpose of this work consists in ecological assessment of the current state of urban soils of Cherkasy. The city soils have a significant man-made load and contain many chemical xenobiotics. Diagnostics of the indicators of urban soils, which are crucial for assessing their ecological status and their agroecological functions, will provide an opportunity to determine the optimal and critical values for the sustainable functioning of urban landscapes and to propose the most effective and timely measures to be implemented.

The urban soils analysis has shown that the humus content varies within the range of 0.03-3.01 %, with an average value of 0.84 %, a standard deviation of 0.67, a dispersion of 0.41, a variation coefficient of 76 %. 6.25 % of the studied soil samples have insufficient supply of humus (2-4 %), 25 % have poor supply (1-2 %) and 69 % have extremely poor supply (less than 1 %). The active acidity (pH) varies from 6.45 to 10.90 with an average value of 7.20, a standard deviation of 0.83, a dispersion of 0.69, a variation coefficient of 11 %. The soils mostly have a weakly alkaline and neutral environment. The oxidation-reducing potential varies from 252 to 287 mV, with an average value of 262 mV (standard deviation of 7.3, a dispersion of 52.6, a variation coefficient of 3 %). The ratio of Ca^{2+} and Mg^{2+} cations in soil adsorption complex is not optimal. The content of Ca^{2+} ranges from 3.80 to 10.12 mg-eq./100 g of soil with an average value of 6.60, a standard deviation of 1.66, a dispersion of 2.77, a variation coefficient of 25 %. The content of Mg^{2+} varies from 0.0 to 10.40 mg-eq./100 g of soil with an average value of 3.14 (standard deviation of 2.50, a dispersion of 6.26, a variation coefficient of 80 %). The content of K^{+} ranges from 0.12 to 6.20 with an average value of 0.59 mg-eq./100 g of soil, a standard deviation of 0.67, a dispersion of 1.39, a variation coefficient of 95 %.

The soils have a significant deviation from optimal values and that characterizes them as anthropogenically and technogenically urbanized. There is a need in soil gypsuming, organic fertilizers, moisture supply and reduction of moisture evaporation, improvement of aeration conditions.

Keywords: urban soils, chemical transformation, soil physicochemical properties; humus; plants.

Н. В. Загоруйко, к.б.н., доцент,
e-mail: nelli.zagorujko@ukr.net

Л. Б. Ящук, к.х.н., доцент,
e-mail: l_yashchuk@ukr.net

Н. І. Свояк, к.б.н., доцент,
e-mail: SvojakNata@ukr.net

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

МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ БУТИЛЬОВАНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ

У статті досліджено якість бутильованої питної води найбільш поширених торгових марок України з магазинів м. Черкаси та надано медико-екологічну оцінку безпеки її споживання. Проаналізовано відповідність інформації на етикетках при маркуванні фасованої питної води від різних виробників їх хімічному складу, органолептичним показникам. Визначено, що не всі зразки мінеральних вод мають на етикетці маркування відповідно до нормативних документів. Таким чином, задекларований на етикетках хімічний склад питних вод не завжди відповідає чинному вітчизняному законодавству, що може негативно вплинути на поінформованість кінцевих споживачів такої продукції.

Ключові слова: фасована (бутильована) питна вода, якість, стандарт, торгова марка, гігієнічні норми.

Вступ. Бізнес-аналіз сучасних тенденцій розвитку ринку бутильованих питних вод свідчить про зростання соціальної значущості споживання населенням фасованої питної води. Основними причинами зростання виробництва та споживання бутильованих питних вод є дефіцит прісних вод через погіршення екологічного стану довкілля, зростання кількості екстремальних ситуацій та обізнаність населення щодо значення якісної питної води для здоров'я [1]. Саме тому значна кількість українців, що опікуються своїм здоров'ям, шукають альтернативні джерела якісної питної води. Найбільш поширеною альтернативою є використання фасованої (бутильованої) води. Україну можна справедливо назвати лідируючою країною на пострадянському просторі за видобутком мінеральних вод, їх використанням та промисловим виробництвом. Понад 77 % українців споживають бутильовану мінеральну воду. Обсяг внутрішнього ринку мінеральних вод України оцінений сьогодні в 1 млрд. доларів, рентабельність цього ринку, на думку експертів, становить 30 %. Споживання і, відповідно, виробництво мінеральних вод в Україні зростають з року в рік. Ринок мінеральних вод динамічно розвивається: приріст споживання становить 20-25 % в рік. Українські виробники бутильованої

води забезпечують 96 % внутрішнього споживання. Решта відсотків припадає на імпорتنі поставки. У структурі виробництва майже дві третини займає негазована вода [2]. Фасована питна вода, що реалізується через торгову мережу, має різний мінеральний склад, термін придатності та рекомендації для вживання. Єдиним нормативним документом, який покликаний регламентувати якість фасованих мінеральних вод, є ДСТУ 878:2006 «Води мінеральні фасовані. Технічні умови». Цей стандарт подає визначення мінеральних вод, встановлює вимоги щодо показників безпечності мінеральних вод, а також вимоги щодо маркування, пакування й умови транспортування та зберігання. Разом з тим, якість вживаної води може суттєво відрізнитись у різних виробників. Необхідні також дослідження безпечності фасованих мінеральних вод у споживчому пакуванні протягом визначеного терміну зберігання.

Згідно з європейською директивою 2009/54 [3] кожна країна-член ЄС дозволяє продаж мінеральної води на своїй території, якщо вона відповідає загальним правилам ЄС, встановленим до такої води. Природною мінеральною водою вважається вода, яка є мікробіологічно корисною, бере свій початок в підземних ґрунтових водах чи родовищах або

витає з джерела, відібрана на одному або кількох природних чи свердловинних виходах і має певні якості та постійні показники. Транспортування такої води в контейнерах, що відрізняються від дозволених для продажів, заборонено.

В Україні спостерігається досить непроста ситуація з тим, яку воду слід вважати мінеральною. Дотепер не існує нормативного акта, який би вирішив питання призначення мінеральної води, адже за таким поділом незрозуміло, чи може вважатися лікувальна мінеральна вода питною. Крім того, стандарти якості на мінеральну воду, які діють в Україні, не відповідають європейським стандартам.

Незважаючи на дослідження, які присвячені оцінюванню фасованої питної води [4], комплексні дослідження якості та безпечності фасованої мінеральної питної води різних виробників України та Європи відсутні, що обумовило актуальність наших досліджень.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій [5-8] показує, що не завжди виробники дотримуються вимог вітчизняного законодавства стосовно виробництва бутільованої мінеральної питної води. Зокрема, в проведених дослідженнях виявлено, що серед 129 проб питних вод з пунктів розливу та фасованих якості 57 % не відповідає гігієнічним вимогам, у тому числі за санітарно-хімічними показниками, що мають санітарно-токсикологічну ознаку шкідливості. Виявлено, що практично не здійснюється виробництво питних вод «з оптимальним вмістом мінеральних речовин» за рекомендованими показниками у ДСанПіН 2.2.4-171-10. Виробники свідомо виготовляють знесолену питну воду через попит на ринку та/або економічну вигоду [5].

Під час проведення аналізу відповідності маркування та пакування негазованих фасованих мінеральних вод виявляється, що на етикетках імпортованої мінеральної води може бути відсутня інформація про хімічний склад, що підтверджує необхідність гармонізації вітчизняного та європейського законодавства щодо правил маркування. Вітчизняні виробники часто порушують Технічний регламент щодо правил маркування харчових продуктів, вказуючи на етикетках позначення стандарту ДСТУ 878-93, який вже не діє.

Рекомендації щодо лікувального застосування та протипоказання властиві для лікувальних вод, а відповідні позначення можуть бути відсутні на маркуванні фасованих міне-

ральних вод. Отже, показники маркування та пакування у деяких виробників негазованої фасованої мінеральної води не відповідають вимогам Технічного регламенту щодо правил маркування харчових продуктів та п.п. 8, 9 ДСТУ 878-2006 «Води мінеральні питні. Технічні умови» [9, 10].

Результати органолептичних та фізико-хімічних досліджень зразків негазованої фасованої мінеральної води вітчизняних виробників показують, що досліджувані зразки мінеральної води мають добрий рівень органолептичних властивостей, хоча деякі з них мають порушення відповідно до чинного законодавства. Наприклад, мінеральна вода ТМ «Моршинська» не відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» щодо водневого показника (рН 6,4), що пояснюється ймовірним порушенням технології виробництва внаслідок надмірного контакту води із повітрям; досліджувані зразки можуть мати дуже низький рівень вмісту заліза (ІІІ) [5]. При доочищенні питної води достовірно знижуються вміст фторидів, загальна жорсткість та сухий залишок [4].

Обсяги імпорту питної мінеральної води з кожним роком зростають: у 2010 р. обсяги імпорту збільшилися майже на 40 %, а в 2015 р. – на 21 %. Основним постачальником мінеральної води в Україні є Грузія. Іншими постачальниками є Росія, Франція, Італія, Польща, Канада, Швейцарія [11]. Моніторинг ринку питної води вказує на збільшення частки сегмента фасованої питної води, упакованої в тару місткістю 0,33-0,75 л, та зростання споживання слабогазованої води в сегменті газованої [12].

Таким чином, незважаючи на чинне вітчизняне законодавство щодо приготування фасованої питної мінеральної води, дуже часто українські виробники випускають продукцію, яка не відповідає санітарно-гігієнічним нормативам, про що кінцевим споживачам дуже важко дізнатися.

Метою статті є дослідження якості питної мінеральної води найбільш поширених вітчизняних торгових марок та імпортованих зразків фасованої питної води, що є в продажу супермаркетів в регіональному центрі України (м. Черкаси), та аналіз відповідності хімічного складу досліджуваних зразків питної мінеральної води маркуванню на етикетках продукції, визначення органолептичних показників цієї води та їх медико-екологічне оцінювання.

Матеріал та методи. У роботі було розглянуто 14 зразків мінеральних вод, серед них 9 зразків столової води, 2 зразки дитячої води, 3 зразки лікувально-столової води (таблиця 1).

Таблиця 1 – Зразки питної води різних торгових марок, обрані для дослідження

№	Торгова марка	Характеристика споживання	Виробник	Відповідність нормативним документам
1	2	3	4	5
1	Моршинська	вода мінеральна природна столова різного аніонного та різного катіонного складу	ПрАТ «Моршинський завод мінеральних вод «Оскар», м. Моршин	ДСТУ 878-93
2	Promo marka	вода питна джерельна	ТЗВО СП «Галпласт», Івано-Франківська обл., Роганський р-н, с. Лучинці	ТУ У 15.9-22197210-002:2006
3	Воп aqua	вода природна питна	ІП «Кока-кола Беверіджиз Україна лімітед», Київська обл., Броварський р-н, с.м.т. Велика Димерка	ТУ У 15.9-14342901-019:2008
4	Миргородська лагідна	вода мінеральна природна столова гідрокарбонатна складного катіонного складу	ПАТ «Миргородський завод мінеральних вод», Полтавська обл., м. Миргород	ДСТУ 878-93
5	Природне джерело	вода питна з артезіанської свердловини	ТОВ «Напої Плюс», м. Київ	ТУ У 15.9-3234957-004:2007 та ДСанПіН 2.2.4-171-10
6	Трускавецька	вода мінеральна природна столова різного аніонного та різного катіонного складу	ПІІ ТОВ «Аква-Еко», м. Трускавець	ДСТУ 878-93.
7	Тальнівська	мінеральна природно-столова вода, гідрокарбонатна, складного катіонового складу	ТМ «Тальнівська», Черкаська обл, м. Тальне	ДСТУ 878-93
8	Малятко	вода для малюків від перших днів	ТОВ ПІІ «Еконія», м. Золотоноша	ТУ У 15.9-33233190-004:2009
9	Vytautas	вода мінеральна питна лікувально-столова хлоридна кальцієво-натрієва сильногазована	ТОВ «Бірштоно мінераліній вандяніс», м. Бірштонас, країна-імпортер: ТОВ «Бест імпортс», м. Київ	не вказано
10	Боржомі	вода мінеральна природна лікувально-столова гідрокарбонатна натрієва сильногазована із збереженням природного CO ₂ , донасичена природним CO ₂	Компанія «IDS BORJOMI BEVERAGES Co.N.V.», м. Боржомі, імпортер: ПрАТ «ІДС», м. Київ	виробництво сертифіковане за ISO 9001, ISO22000
11	Поляна квасова	гідрокарбонатна натрієва борна вода мінеральна природна лікувально столова, штучно насичена CO ₂	ТДВ «Свалявські мінеральні води», м. Свалява	ДСТУ 878-93

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
12	San Benedetto	природна мінеральна вода з низьким вмістом мінеральних солей	Acqua Minerale San Benedetto S.p.A Sede e Stabilimento Scorzè (VE) Italia Sorgente in comune di Scorzè	D.M. Salute n.3832 del 26/03/2008, D.G.R. Veneto n. 98 del 24/07/2012
13	Alta valle	природна мінеральна вода з низьким вмістом мінеральних солей, призначена для годування немовлят	Campagna 9, Loc. Iseraia, ss45	не вказано
14	Evian	природна натуральна мінеральна столова вода, гідрокарбонатна магнієво-кальцієва	Societe Anonim dez O Minerale d'Evian, м. Евіан-Ле-Бен, Італія, імпортер: ТОВ «Арда-Трейдінг», м. Київ	не вказано

При дослідженні органолептичних показників досліджуваних зразків бутельованої води було використано стандартні методики відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [13]. Характер смаку чи присмаку визначали відчутністю смаку чи присмаку, що сприймається (солоний, кислий, лужний, металевий, хлорний та ін.). Запах води характеризували після визначення смаку, при 20-25 °С і 60 °С. Інтенсивність запаху визначали за п'ятибальною шкалою. Для визначення кольоровості води використовували колориметричний метод. Для визначення хімічних властивостей води, а саме рН води, використовували рН-метр, що мав скляні електроди, винятково чутливі до іонів H^+ , але нечутливі до інших катіонів. Визначення ступеня мінералізації обраних для дослідження зразків здійснювали поетапно гравіметричним методом.

Результати досліджень. Відповідно до ДСТУ 878-2006 за рівнем мінералізації мінеральні води поділяються на три групи:

- природні столові (питні підземні) води з мінералізацією, меншою $1,0 \text{ г/дм}^3$, що застосовуються як столовий освіжаючий напій;

- лікувально-столові (питні підземні) води з мінералізацією від $1,0$ до $8,0 \text{ г/дм}^3$ усіх хімічних груп і від $1,0$ до $15,0 \text{ г/дм}^3$ таких груп: гідрокарбонатно-натрієві, гідрокарбонатно-хлоридні, хлоридно-гідрокарбонатні натрієві чи, при меншій мінералізації, які містять біологічно активні мікроелементи і спо-

луки в кількості, не нижчій від бальнеологічних норм, прийнятих для питних мінеральних вод, що застосовуються для лікування відповідно до призначення лікаря і несистематично як столові напої (у розлитому чи не розлитому в пляшки вигляді);

- лікувально-столові (змішаного складу) мінеральні води, одержані шляхом змішування у визначеному співвідношенні природних вод різної мінералізації, що застосовуються як лікувальні відповідно до призначення лікаря і несистематично як столові напої (у розлитому чи не розлитому в пляшки вигляді).

Діюча в Україні класифікація мінеральних вод не відповідає європейським стандартам на природні мінеральні води. Столові мінеральні води за своїм призначенням близькі до звичайної питної води і відрізняються лише особливостями хімічного складу, певними лікувальними властивостями, що позитивно впливають на організм людини, тому вони можуть використовуватися без застережень як столовий напій. Завдяки підвищеному вмісту хімічних елементів мінеральна вода має кориснішу дію порівняно зі звичайною водою [9].

Аналіз мінералізації відібраних зразків мінеральних вод за хімічним складом води, вказаним на етикетках, у попередніх дослідженнях [14] показав, що:

- столові води відносяться до прісних, а лікувально-столові – до солонуватих;

- у столових водах більше звертається увага на сухий залишок, загальну жорсткість та лужність;

- деякі зразки містять фториди, та перевищення при гранично допустимій концентрації не більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$ не спостерігається;

- лікувально-столові води мають значно більші значення таких показників, як: HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ мг/дм^3 . Це пов'язано з тим, що ці мінеральні води повинні збільшувати кількість хімічного елемента, якого в організмі недостатньо. Щоб вживати такі мінеральні води, потрібно проконсультуватися з лікарем;

- у закордонних зразках вказується SiO_2 , NO_3^- , мг/дм^3 та pH, що для інших зразків не є типовим. Значення NO_3^- не перевищує норму 45 мг/л ;

- деякі зразки містять спеціальні компоненти: «Трускавецька» в своєму складі містить метакремнієву кислоту, «Боржомі» містить фтор, «Поляна квасова» – H_3BO_3 , «San Benedetto» додатково доокиснюється, «Alta valle» – NO_2^- , також закордонні зразки містять у своєму складі SiO_2 ; він необхідний для надходження в організм Si, який у чистому вигляді вживати не можна.

Аналіз відповідності бутильованої води відібраних торгових марок державним нормативним документам показав, що у п'яти виробників на етикетці вказано відповідність продукції ДСТУ 878-93 (Моршинська, Миргородська, Трускавецька, Тальнівська, Поляна

квасова), що є порушенням Технічного регламенту щодо правил маркування харчових продуктів, оскільки у передмові ДСТУ 878-2006 «Води мінеральні питні. Технічні умови» зазначено, що ДСТУ 878-2006 прийнято на заміну ДСТУ 878-93. Інші вітчизняні виробники випускають фасовану воду відповідно до розроблених ними ТУ: ТУ У 15.9-22197210-002:2006 (Promo marka); ТУ У 15.9-14342901-019:2008 (Bon aqua); ТУ У 15.9-33234957-004:2007 та ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Природне джерело); ТУ У 15.9-33233190-004:2009 (Маятко). Імпортована в Україну питна вода торгової марки «Боржомі» пройшла сертифікацію міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 22000.

На етикетці питної фасованої води згідно з ДСТУ 878-2006 зазначаються, крім її назви, також хімічний склад, фактичні значення показників фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води, умови зберігання, дата виготовлення і дата кінцевого терміну вживання. Особливе значення для здоров'я людини мають хімічний склад та ступінь мінералізації питної води. Порівняльний аналіз хімічного складу досліджуваних зразків питної води на етикетках показав повну відповідність державним вимогам (таблиця 2).

Таблиця 2 – Хімічний склад мінеральної бутильованої води за інформацією на етикетках

Назва Хімічний склад	Моршинська	Promo marka	Bon aqua	Миргородська	Природне джерело	Трускавецька	Маятко	Тальнівська	Vytautas	Боржомі	Поляна квасова	San Benedetto	Alta valle	Evian
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Загальна мінералізація, г/дм^3	0,1-0,4			0,4-0,7		0,25-0,90	0,15-0,4	0,5-0,8	7,3	5,0-7,5	6,5-12,0	0,265	0,154	0,309
Загальна жорсткість, ммоль/дм^3		2,5	>7,0		1,5-3,2		1,5-3,5							
Загальна лужність, ммоль/дм^3		1,7	>6,5		2,5-6,0		0,5-3,5							
Сухий залишок, мг/дм^3		114	350-650		190-360									

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Фториди, мг/дм ³		0,07	>1,5		0,1-0,8		0,05-0,5					<0,1		
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	30-200			350		150-650		325-475	300	3500-5000	4500-8000	313	144	360
CO ₃ ²⁻ , мг/дм ³				500								8,0	3,5	
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	<100			<50		<150		<75	989	<10	<25	3,7	4,1	12,6
Cl ⁻ , мг/дм ³	<60			<50		<120		<75	3480	250-500	300-600	2,2	7,1	6,8
Ca ²⁺ , мг/дм ³	5-80	40	10-60	50-100	25,0-45,0	<10-180	25-50	40-100	552	20-150	70-150	50,3	41,6	80
Na ⁺ , мг/дм ³	<70	2,3	110-200	25-80	18,5-75,1	<200	2-20	25-100	1727	1000-2000	1500-3000	6,0	3,8	6,5
K ⁺ , мг/дм ³		0,4	1-15		1,3-8,0		2-20		32	15-45		0,9	0,7	1
Г, мг/дм ³		7,5	>0,05		7,0-35,0		0,005-0,02							
Mg ²⁺ , мг/дм ³	<50	60	1-15	<30	6,0-20,0	<100	10-50	20-75	240	20-150	<50	30,8	4,2	26
SiO ₂ , мг/дм ³												12,0	8,7	15
NO ₃ , мг/дм ³												9,0	1,4	3,7
pH												7,2	8,0	7,2
Спеціальні компоненти						мета-кремнієва кислота				містить фтор	H ₃ BO ₃ 100-250	кисень 6,4	NO ₂ <0,002	

Аналіз смаку досліджуваних зразків фасованої питної води дав можливість зробити висновок, що мінеральні бутильовані води мають різні смакові якості при температурі 20 °С і при температурі води 60 °С (таблиця 3).

Таблиця 3 – Характеристика смаку досліджуваних зразків бутильованої мінеральної питної води

Назва	Смак при 20 °С, бали	Смак при 60 °С, бали
1	2	3
Моршинська	без смаку	кислий, 1 бал
Promo marka	без смаку	солоний, 1 бал
Bon aqua	гіркий, 1 бал, йодований	гіркий, 2 бали
Миргородська	солоний, 1 бал	солоний, 2 бали
Природне джерело	гіркий, 1 бал	гіркий, 2 бали
Трускавецька	гіркий, 1 бал, має металевий присмак	гіркий, 2 бали
Тальнівська	без смаку	солоний, 1 бал
Малятко	має йодований присмак	кислий, 1 бал
Vytautas	гіркий, 1 бал; солоний, 4 бали	гіркий, 2 бали; солоний 5 балів
Боржомі	солоний, 2 бали, з присмаком соди	солоний, 3 бали, з присмаком соди

Продовження таблиці 3

1	2	3
Поляна квасова	солоний, 2 бали, з присмаком соди	солоний, 3 бали, з присмаком соди
San Benedetto	без смаку	солоний, 1 бал
Altavalle	без смаку	кислий, 1 бал
Evian	кислий, 1 бал	кислий, 2 бали; гіркий, 1 бал

У ході досліджень запаху різних зразків фасованої води було визначено, що мінеральні бутильовані води не мають запаху при температурі 20 °С, крім вод, що мають лікувально-столове призначення. При температурі води 60 °С в усієї води з'являється хімічний за-

пах, а у вод, що мають лікувально-столове призначення, запах став виразнішим та «лікарським» (таблиця 4). Кольоровість дослідних зразків не перевищувала норми. Лікувально-столові води мають найбільше значення кольоровості.

Таблиця 4 – Характеристика запаху досліджуваних зразків бутильованої мінеральної питної води

Назва	Запах при 20 °С, бали	Запах при 60 °С, бали
Моршинська	без запаху	хімічний, 1 бал
Promo marka	без запаху	хімічний, 1 бал
Bon aqua	без запаху	хімічний, 1 бал
Миргородська	без запаху	хімічний, 1 бал
Природне джерело	без запаху	хімічний, 1 бал
Трускавецька	без запаху	хімічний, 1 бал
Тальнівська	без запаху	хімічний, 1 бал
Малятко	без запаху	хімічний, 1 бал
Vytautas	йодистий, хімічний, 1 бал	хімічний, 3 бали (лікарський)
Боржомі	хімічний, 1 бал	хімічний, 2 бали (лікарський)
Поляна квасова	хімічний, 1 бал	хімічний, 2 бали (лікарський)
San Benedetto	без запаху	хімічний, 1 бал
Altavalle	без запаху	хімічний, 1 бал
Evian	без запаху	хімічний, 1 бал

За результатами досліджень рН найменший показник має лікувально-столова вода торгових марок «Vytautas», «Боржомі», «Поляна квасова». Бутильовані мінеральні води торгових марок «Моршинська», «Promo marka» та «Природне джерело» мають кисле рН. Найближче до нейтрального рН знаходиться вода торгових марок «Тальнівська» та «Evian». Зразки інших торгових марок – «Bon aqua», «Миргородська», «Трускавецька», «Малятко», «San Benedetto» – мають лужне рН. Найбільше значення рН має закордонний зразок Altavalle (8,1). Значення рН, вказані на етикетках зразків закордонної мінеральної води, відрізнялися від визначеного експериментально, але несуттєво.

Експериментальне визначення мінералізації досліджуваних мінеральних питних вод показало найбільший ступінь мінералізації у

зразках торгових марок «Тальнівська», «Миргородська» та «Altavalle»; найменший – у воді торгових марок «San Benedetto», «Evian» та «Малятко» (таблиця 5).

Таблиця 5 – Результати дослідження визначення мінералізації

Назва	без Na ₂ CO ₃ , мг/дм ³	Загальна, мг/дм ³
1	2	3
Моршинська	1,8	5,6
Promo marka	1,2	6,4
Bon aqua	4,4	6,4
Миргородська	4,8	9,2
Природне джерело	2,4	5,2
Трускавецька	2,0	3,6
Тальнівська	3,4	9,6

Продовження таблиці 5

1	2	3
Малютко	1,2	3,2
Vytautas	1,2	5,2
Боржомі	1,2	4,8
Поляна квасова	2,2	4,4
San Benedetto	0,8	2,8
Altavalle	6,2	16,0
Evian	0,8	3,2

Відповідно до вітчизняної класифікації мінеральна вода за ступенем мінералізації поділяється на столову, лікувально-столову та лікувальну. Дослідження показало невідповідність інформації на етикетках вибраних для аналізу зразків бутильованої води від вітчизняних виробників призначенню мінеральної питної води за ступенем її мінералізації згідно з державною класифікацією.

Маркування фасованої мінеральної води від торгових марок «Моршинська», «Миргородська», «Природне джерело», «Трускавецька», «Тальнівська», «Воп aqua», «Promo marka» відповідає українським вимогам. Іноземні зразки мінеральної води (Vytautas, Боржомі, Altavalle, San Benedetto, Evian) чітко визначають призначення води: лікувально-столова чи природна мінеральна вода з низьким вмістом мінеральних речовин. Серед вітчизняних виробників бутильованої мінеральної питної води лише виробники ТМ «Поляна квасова» інформують кінцевого споживача про те, що вода є лікувально-столовою і потребує певного обмеження в тривалості споживання (не більше двох тижнів).

Висновки. Провівши дослідження мінеральних вод, можна зробити наступні висновки: не всі зразки мінеральних вод мають на етикетці маркування відповідно до нормативних документів. За існуючою вітчизняною класифікацією мінеральної питної води за ступенем мінералізації всі досліджувані зразки питної води, що мають показники мінералізації в межах від 1 до 8 г/дл³, слід віднести до лікувально-столових. Разом з тим, маркування бутильованої мінеральної води від торгових марок «Моршинська», «Миргородська», «Природне джерело», «Трускавецька», «Тальнівська», «Воп aqua», «Promo marka» позиціонує цю воду як природну столову, хоча й може вказувати хімічний склад солей, що містяться у воді. Закордонні зразки мінеральної води (Vytautas, Боржомі, Altavalle, San

Benedetto, Evian) більш чітко вказують на призначення води: лікувально-столова чи природна мінеральна вода з низьким вмістом мінеральних речовин. Ці показники є дуже важливими для споживача, оскільки підвищений ступінь мінералізації питної води обмежує тривалість її споживання.

За органолептичними властивостями зразки фасованої питної води відповідали нормативним показникам.

При дослідженні рН було визначено, що цей показник води несуттєво відрізняється від задекларованого на етикетці.

Таким чином, задекларований на етикетках хімічний склад питних вод не завжди відповідає чинному вітчизняному законодавству, що може негативно вплинути на кінцевих споживачів такої продукції.

Імпортовані зразки фасованої мінеральної води більш чітко вказують на етикетках призначення питної води для споживача.

Необхідно розробити більш доступну інформацію стосовно безпеки споживання для здоров'я споживачів фасованої питної мінеральної води та механізми спонукання виробників до ретельного дотримання законодавчих вимог до виробництва такої води.

Список літератури

- [1] К. О. Шіковець, та Є. Л. Чепіль, "Бізнес-аналіз розвитку ринку питної води", *Вісник КНУТД*, № 6 (93), с. 42-47, 2015.
- [2] Ринок мінеральної води в Україні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/napoim-vseh-obzor-gynka-ukrainskoj-mineralnoj-vody>
- [3] Directive 2009/54–EUR-Lex. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0054>
- [4] В. В. Коваль, Н. І. Рублевська, Т. І. Гергель, О. В. Фарафонова, та В. Д. Рублевський, "Гігієнічна оцінка доочищеної фасованої питної води", *Збірник наукових праць НМАПО імені П. Л. Шупика*, 23 (3), с. 49-53, 2014.
- [5] О. В. Зоріна, "Наукові аспекти удосконалення законодавства у сфері питних вод фасованих і доочищених із пунктів розливу", *Наукові доповіді НУБіП України* № 3 (73), 2018. [Електронний ресурс].

- Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi.2018.03.00>
- [6] В. О. Прокопов, *Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти*. Київ: Медицина, 2016.
- [7] В. О. Прокопов, та О. Б. Липовецька, "Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури)", *Гігієна населених місць*, № 59, с. 63-74, 2012.
- [8] О. Б. Липовецька, "Вплив довготривалого споживання некондиційної за мінеральним складом питної води на формування неінфекційної захворюваності населення та розробка профілактичних заходів", дис. канд. мед. наук, Київ, 2016.
- [9] Технічний регламент щодо правил маркування харчових продуктів, 2011, ст. 5 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0183-11>
- [10] ДСТУ 878-2006 "Води мінеральні питні. Технічні умови" [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/33922/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_878_2006
- [11] Виробництво мінеральної води в Україні. Прогноз на 2016–2017 рр. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoj-vody-v-ukraine-prognoz-na-2015-2017-gg.html>
- [12] О. Сидоренко, Ю. Якобчук, та М. Победаш, "Ринок фасованої мінеральної води в Україні: проблеми якості та безпечності", *Технічні науки та технології*, № 1 (3), 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tst.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id=119>
- [13] ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.
- [14] Н. В. Загоруйко, та О. В. Остапенко, "Оцінка перспектив розвитку виробництва бутильованих питних мінеральних вод в Україні", на *I Міжнар. наук.-практ. конф. Інтеграційні та інноваційні напрямки розвитку харчової індустрії*, 19-20 жовтня 2017 р.
- velopment", *Visnyk KNUTD*, no. 6 (93), pp. 42-47, 2015 [in Ukrainian].
- [2] The market of mineral water in Ukraine. [Online]. Available: <https://proconsulting.ua/ua/pressroom/napoim-vseh-obzor-rynka-ukrainskoj-mineralnoj-vody>
- [3] Directive 2009/54–EUR-Lex. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0054>
- [4] V. V. Koval, N. I. Rublevskaya, T. I. Gergel, O. V. Farahfonova, and V. D. Rublevsky "Hygienic evaluation of pre-treated packaged drinking water", *Zbirnyk naukovykh prats spivrobitnykiv NMAPO imeni P. L. Shupyka*, 23 (3), pp. 49-53, 2014 [in Ukrainian].
- [5] O. V. Zorina, "Scientific aspects of the improvement of legislation in the sphere of drinking water packed and refined from bottling points", *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny*, no. 3 (73), 2018. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/dopovidi.2018.03.00>
- [6] V. O. Prokopov, *Drinking water of Ukraine: medical-ecological and sanitary-hygienic aspects*. Kyiv: Medicina, 2016 [in Ukrainian].
- [7] V. O. Prokopov, and O. B. Lipovetska, "Influence of mineral composition of drinking water on the health of the population (review of literature)", *Hihiyena naselenykh mist*, no. 59, pp. 63-74, 2012 [in Ukrainian].
- [8] O. B. Lipovetskaya, "Influence of long-term consumption of non-standard mineral water on the formation of non-infectious diseases of the population and development of preventive measures", Ph. D. thesis in Medicine, Kyiv, 2016 [in Ukrainian].
- [9] Technical regulations concerning the rules of labeling of food products [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0183-11>
- [10] DSTU 878-2006 "Waters mineral drinking. Specifications". [Online]. Available: https://dnaop.com/html/33922/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_878_2006
- [11] Mineral water production in Ukraine. Forecast for 2016–2017. [Online]. Available: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoj-vody-v-ukraine-prognoz-na-2015-2017-gg.html>
- [12] E. Sidorenko, Ju. Yakobchuk, and N. Pobedash, "The market of packaged min-

References

- [1] K. O. Shikovets, and Ye. L. Chapil, "Business analysis of drinking water market de-

- eral water in Ukraine: quality and safety problems", *Tekhnichni nauky ta tehnolohiyi*, no. 1 (3), 2016. [Online]. Available: <https://tst.stu.cn.ua>
- [13] DSANPIN 2.2.4-171-10: Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption.
- [14] N. V. Zagoruiko, and O. V. Ostapenko, "Estimation of prospects for the development of bottled drinking mineral water production in Ukraine", in *Internat. Sci. and Pract. Conf. Integration and Innovations in the Development of the Food Industry*, October 19-20, 2017 [in Ukrainian].

N. V. Zagoruiko, Ph. D., associate professor,
e-mail: nelli.zagorujko@ukr.net

L. B. Yashchuk, Ph. D., associate professor,
e-mail: l_yashchuk@ukr.net

N. I. Svojak, Ph.D., associate professor,
e-mail: SvojakNata@ukr.net

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

MEDICAL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF QUALITY OF BOTHYLENE MINERAL DRINKING WATER

The consumption and production of mineral waters in Ukraine is increasing. The only normative document that is intended to regulate the quality of packaged mineral waters is DSTU 878: 2006 "Waters mineral packed. Specifications". The quality of used water can vary significantly from the various manufacturers. The quality of bottled drinking water of the most common trademarks of Ukraine from the shops of Cherkassy city research was conducted and provides medical and ecological assessment of the safety of its consumption. The correspondence of the information on the labels when marking the packaged drinking water from different manufacturers to their chemical composition, organoleptic parameters is analyzed. It was determined that not all samples of mineral waters are on the labeling label in accordance with the normative documents. According to the existing national classification of mineral drinking water by the degree of mineralization, all the samples of drinking water with mineral salts in the range from 1 to 8 g / dc³ should be attributed to the waters intended for the treatment of health. However, the marking of bottled mineral water from the brands Morshynska, Mirgorodskaya, Natural spring, Truskavets, Talnevska, Bon aqua, Promo marka places this water as a natural dining water, although it may indicate the chemical composition of the salts contained in the water. Foreign samples of mineral water (Vytautas, Borjomi, Altavalle, San Benedetto, Evian) more clearly indicate the purpose of water: waters intended for the treatment of health or natural mineral water with a low content of minerals. These indicators are very important for the consumer, since the increased degree of mineralization of drinking water limits the duration of its consumption. According to the organoleptic properties, samples of packaged drinking water had matched to the normative indicators. Thus, the chemical composition of drinking water declared on the labels does not always comply with national norms and requirements for drinking mineral waters, which may negatively affect on the safety of consumption of such products for the final consumers.

Keywords: packed (bottled) drinking water, quality, standard, trade mark, hygienic norms.