

ISSN 2524-0056(Print)
ISSN 2519-481X(Online)

**ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ВІЙСЬКОВОГО ІНСТИТУТУ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Виходить 4 рази на рік

№ 76

Згідно Наказу МОН №1188 від 24.09.2020, п. №156 Додатку 5 «Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка» включено до категорії «Б» за спеціальностями:

- 124 – «Системний аналіз»;
- 126 – «Інформаційні системи та технології»
- 254 – «Забезпечення військ (сил)»
- 255 – «Озброєння та військова техніка»

КИЇВ – 2022

УДК621.43

ББК 32-26.8-68.49

Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2022. № 76. 144 с.

Голова редакційної колегії:

Ленков С.В. доктор технічних наук, професор, ВІКНУ.

Члени редакційної колегії:

Анісімов А.В. доктор фізико-математичних наук, професор, член-кор. НАНУ, КНУ;
Барабаш О.В. доктор технічних наук, професор, НТУУ «КПІ»;
Гунченко Ю.О. доктор технічних наук, професор, ОНУ;
Жиров Г.Б. кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, КНУ;
Заславський В.А. доктор технічних наук, професор, КНУ;
Карпінський М.П. доктор технічних наук, професор, Університет у Бельсько-Бялій (Польща)
Лепіх Я.І. доктор фізико-математичних наук, професор, ОНУ;
Петров О.С. доктор технічних наук, професор, УНТ, Краків (Польща);
Погорілий С.Д. доктор технічних наук, професор, КНУ;
Толок І.В. кандидат педагогічних наук, доцент, ВІКНУ;
Хайрова Н.Ф. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП»;
Хлапонін Ю.І. доктор технічних наук, професор, КНУБіА;
Шаронова Н.В. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП».

Редакційна колегія прагне до покращення змісту та якості оформлення видання і буде вдячна авторам та читачам за висловлювання зауважень і побажань.

Зареєстровано Міністерством юстиції України, свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації - серія КВ № 11541 – 413Р від 21.07.2006 р.

Відповідно до Наказу МОН України від 24.09.2020 № 1188 «Збірник наукових праць ВІКНУ імені Тараса Шевченка» внесено до категорії «Б» (технічні науки).

Затверджено на засіданні вченої ради ВІКНУ від 21.07.22 р., протокол №17.

Відповідальна за макет:
Литвиненко Н.І.

Відповідальність за новизну і достовірність наведених результатів, тактико-технічних та економічних показників і коректність висловлювань несуть автори. Точка зору редколегії незавжди збігається з позицією авторів. Усі матеріали надруковані в авторській редакції.

Всі статті, що публікуються в збірнику, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів.

Видання безкоштовне.

Примірники збірників знаходяться в Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського, в науковій бібліотеці ім. М. Максимовича, в бібліотеці Військового інституту та в наукових бібліотеках України згідно списку МОН. Електронна версія збірника розміщена на відповідних сайтах.

Видання індексується Google Scholar.

Адреса редакції: 03189, м. Київ, вул. Ломоносова, 81, тел./факс +38 (044) 521 – 33 – 82

Наклад 300 прим.

Ел. адреса редактора: lenkov_s@ukr.net

Офіційний сайт журналу: <http://miljournals.knu.ua/>

ЗМІСТ

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Гахович С.В., Охрамович М.М., Кравченко О.І., Шевченко В.В. Частотний аналіз сигналів при діагностуванні цифрових тез енергодинамічним методом.....	5
Коцюруб В.І., Кривцун В.І., Мірошніченко О.В., Солодєєва Л.В. Формулювання проблеми створення перспективних дистанційно-керованих комплексів розмінування на основі аналізу результатів ведення бойових дій в Україні.....	16
Нанівський Р.А. Нелінійні поперечно-кутові коливання підресореної та невідресореної частин колісних транспортних засобів та їх вплив на стійкість руху.....	28

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Литвиненко Н.І., Коренець О.В. Розробка рекомендацій щодо впровадження геоінформаційних підсистем Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України.....	45
Лукова-Чуйко Н.В., Лаптев О.А., Барабаш О.В., Мусієнко А.П., Ахрамовіч В.М. Метод розрахунку захисту персональних даних від комплексу специфічних параметрів соціальних мереж.....	54
Трофимчук В.М., Степанов М.М., Жиров Г.Б. Математичні функціонально-статистичні моделі об'єктів контролю і управління.....	69

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

(оформлені за вимогою Web of Science та Scopus)

Banzak O.V., Lienkov S.V., Sieliukov O.V., Gaber A.A., Dobrovolskaya S.V. Detector modeling using Ca-Zn-Te solid solution for radiation monitoring systems.....	76
Gunchenko Y. O., Shugailo Y. B., Bercov Y. M., Martynovych L. Y. Analysis of the current state of the elements of ternary logic.....	88
Lenkov E.S., Banzak H.V., Tolok I.V., Bratchenko H.D., Olenov A.M. Optimization parameters of the maintenance strategy "on condition" with a constant frequency of control.....	102
Sharif S.M. The effect of intelligent design system strategy on the service management system development: a case study in iraqi telecom companies.....	115

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

Георгадзе О.А., Пампуха І.В., Шевчук В.В., Пехота С.Г., Чайковська О.Є. Методичний підхід до оцінювання ефективності індивідуальної підготовки офіцерського складу науково-педагогічних працівників у вищих військових навчальних закладах.....	130
Дані про авторів.....	139
Алфавітний покажчик.....	141

CONTENTS

MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

Gakhovych S.V., Okhramovych M.M., Kravchenko O.I., Shevchenko V.V. Frequency Analysis of the Signals in Diagnostic Tests by the Energy-Dynamic Methodology.....	5
Kotsiuruba V.I., Krivtsun V.I., Miroschnichenko O.V., Solodeeva L.V. Problem Formulation of the Creation of Prospective Remote-Controlled Demining Complexes on the Base of The Results Analysis of Combat Operations in Ukraine.....	16
Nanivskyi R. Non-Linear Transverse-Angular Oscillations of Sprung and Unsprung Parts of Wheeled Vehicles and Their Influence on Traffic Stability.....	28

INFORMATION TECHNOLOGIES

Lytvynenko N.I., Korenets O.V. Development of Recommendations for the Implementation of Geoinformation Subsystems of Unified Automated Control System of the Armed Forces of Ukraine.....	45
Lukova-Chuiko N.V., Laptev O.A., Barabash O.V., Musienko A.P., Akhramovich V.M. The Method of Calculation of Personal Data Protection on the Basis of a Set of Specific Parameters of Social Networks.....	54
Trofymchuk V.M., Stepanov M.M., Ghirova G.B. Mathematical Functional-Statistical Models of Objects of Control and Management.....	69

TECHNICAL SCIENCES

(required by Web of Science and Scopus)

Banzak O.V., Lienkov S.V., Sieliukov O.V., Gaber A.A., Dobrovolskaya S.V. Detector Modeling Using Ca-Zn-Te Solid Solution for Radiation Monitoring Systems.....	76
Gunchenko Y.O., Shugailo Y.B., Bercov Y.M., Martynovych L.Y. Analysis of the Current State of the Elements of Ternary Logic.....	88
Lenkov E.S., Banzak H.V., Tolok I.V., Bratchenko H.D., Olenev A.M. Optimization Parameters of the Maintenance Strategy "On Condition" with a Constant Frequency of Control.....	102
Sharif S.M. The Effect of Intelligent Design System Strategy on the Service Management System Development: a Case Study in Iraqi Telecom Companies.....	115

GENERAL QUESTIONS

Heorhadze O.A., Pampukha I.V., Shevchuk V.V., Piekhota S.H., Chaikovska O.E. Methodological Approach to Evaluating the Efficiency of the Individual Training of Faculty Members Commissioned Officers in Higher Military Educational Institutions.....	130
Data on Authors	139
Alphabetical Index	141

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

УДК 621.396.6

к.т.н., с.н.с. Гахович С.В. (ВІКНУ)
к.т.н., с.н.с. Охрамович М.М. (ВІКНУ)
к.пед.н. Кравченко О.І. (ВІКНУ)
Шевченко В.В. (ВІКНУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/76-01>

ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЦИФРОВИХ ТЕЗ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

В статті проводиться аналіз виду енергодинамічних імпульсів в просторо-часовій та частотно-спектральній областях для удосконалення процесу діагностування цифрових типових елементів заміни, які мають у своїй конструкції великі інтегральні схеми і мікропроцесорні великі інтегральні схеми. Створення нових та удосконалення існуючих систем, що використовуються для визначення технічного стану цифрових пристроїв у складних умовах сьогодення, вимагає розробки нових методів діагностування. Це обумовлено високою складністю радіоелектронної техніки та дефіцитом часу на прийняття рішення при проведенні контролю технічного стану. У науково-технічній літературі по розробці й експлуатації радіоелектронної техніки основна увага приділяється питанням дослідження можливості мінімізації середнього часу відновлення та вартості засобів діагностування об'єкта радіоелектронної техніки. Основним фактором, що стримує розвиток сучасних систем технічного діагностування, є відсутність методичного апарату, який здатний значно ефективніше використати розроблені діагностичні моделі для виявлення несправних логічних елементів.

Застосування запропонованих наукових підходів до обробки діагностичної інформації, дозволить: заздалегідь визначати елементи, характеристики яких наближуються до критичних; визначити технічний стан радіоелектронної техніки у режимі реального часу; провести моніторинг працездатності елементів радіоелектронної техніки. Також це дасть можливість точніше обробляти значення діагностичних параметрів, прогнозувати із заданою достовірністю час відмови радіоелектронних компонентів. Це в свою чергу приведе до зменшення часу виявлення раптових відмов об'єктів радіоелектронної техніки та значно скоротить витрачений час на відновлення цифрових типових елементів заміни радіоелектронної техніки, вимоги до яких постійно зростають в умовах відбиття Збройними Силами України російської агресії.

Ключові слова: енергодинамічний метод діагностування, радіоелектронна техніка, просторо-часова область, частотно-спектральна область, типовий елемент заміни.

Вступ. Процес розвитку радіоелектронної техніки (РЕТ) озброєння характеризується широким застосуванням у зразках складних дискретних пристроїв (ДП), перш за все мікропроцесорних великих інтегральних схем (МП ВІС).

Застосування цифрових типових елементів заміни (ТЕЗ), які мають у своїй конструкції МП ВІС, у зразках радіоелектронної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України викликало необхідність розробки принципово нових рішень питань її експлуатації і ремонту [1,2].

Не зважаючи на значні переваги від впровадження сучасних методів діагностування РЕТ, результати досліджень існуючої системи технічної діагностики показують важливість і необхідність застосування нових підходів для контролю технічного стану РЕТ. Функціональне діагностування радіоелектронних компонентів як елементів ТЕЗ, в якому використовуються перевіірочні тести, що входять до вбудованої системи діагностування об'єкта РЕТ, визначають їх технічний стан як справний навіть у випадках, коли значення їх діагностичних параметрів наближуються до критичних. [3-5].

Це призводить до раптових відмов об'єктів РЕТ та знижує показники надійності, вимоги до яких постійно зростають в умовах відбиття Збройними Силами України російської агресії.

Аналіз досліджень і публікацій. Побудова високоефективних систем визначення технічного стану цифрових пристроїв (ЦП) і компонентів у складних умовах сьогодення, вимагає розробки нових методів діагностування, а також синтезу сучасних систем технічного діагностування. Це обумовлено високою складністю РЕТ, дефіцитом часу на прийняття рішення при проведенні контролю технічного стану (ТС).

У науково-технічній літературі по розробці й експлуатації радіоелектронної техніки основна увага приділяється питанням дослідження можливості мінімізації середнього часу відновлення та вартості засобів діагностування об'єкта РЕТ.

Раніш розроблені методи і засоби контролю таких дискретних пристроїв мають ряд недоліків [1-3]. Одним з підходів до розробки нових рішень щодо діагностування цифрових ТЕЗ, що містять МП ВІС, є використання протікання енергодинамічного процесу (ЕДП) у логічних елементах (ЛЕ) для визначення технічного стану зразка озброєння [3].

Буде доцільно більш детально розглянути ЕДП, що виникає у ланцюзі живлення складних цифрових об'єктах та визначити можливість технічної реалізації пристрою для діагностування цифрових ТЕЗ що входять до складу радіоелектронної техніки [3-7].

Основна частина роботи. Аналіз проведемо в п'ять етапів, розглянувши ситуації можливого взаємного розташування імпульсів енергодинамічного процесу ЕДП у часовій області і спектра імпульсів у частотній області.

1. Одиночний енергодинамічний імпульс і його спектр

Якісний аналіз імпульсів струму квазікороткого замикання для різних технологій виготовлення логічних елементів дозволив зробити висновок про те, що спостережені практично енергодинамічні імпульси (ЕДІ) можуть бути представлені функцією колоколообразного (гауссівського) імпульсу

$$S(t) = U_0 e^{-(\alpha t)^2} \quad (1)$$

де U – амплітуда імпульсу;

α – коефіцієнт форми.

Використовуючи перетворення Фур'є, одержимо аналітичну модель ЕДІ в частотній області

$$S(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} \quad (2)$$

Для одиночного ЕДІ часова і частотна нормовані моделі показані на рисунках 1а, 1б відповідно.

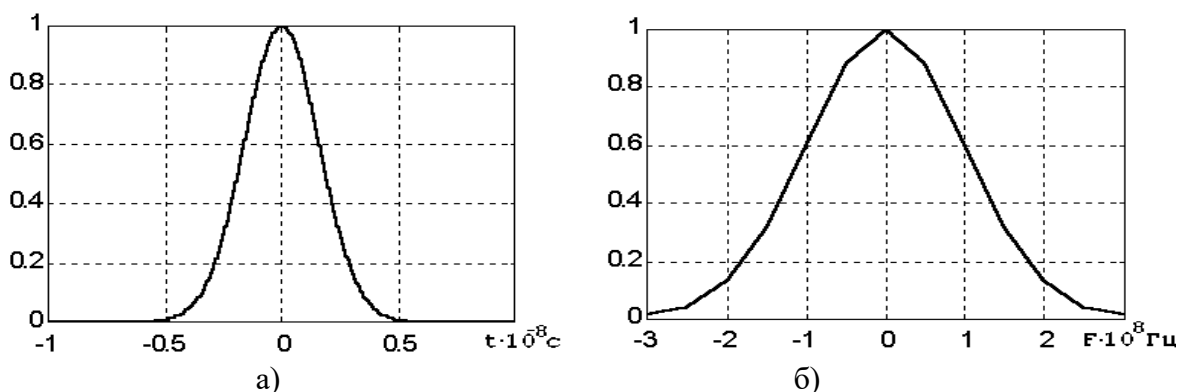


Рисунок 1 – Часова (а) і частотна (б) нормовані моделі енергодинамічних імпульсів

2. Визначення практичної ширини спектра

Енергодинамічні імпульси мають кінцеву тривалість і, отже, мають нескінченний спектр [4]. Практично всі пристрої виділення діагностичної інформації мають обмежену смугу пропускання. Тому при виділенні сигналу може бути отримана лише частина його частотного спектра. При цьому необхідно забезпечити виділення найбільш істотної, з погляду наявності діагностичної інформації, частини спектра.

Вибір практичної ширини спектра сигналу можна здійснити по двох критеріях – енергетичним критерієм і критерієм припустимих перекручувань сигналу [4-6]. У більшості випадків за практичну ширину спектра сигналу приймають діапазон частот, у межах якого міститься 90% енергії сигналу [5,6]. Тому скористаємося енергетичним критерієм вибору практичної ширини спектра.

Згідно [5] енергія сигналу, зосереджена в смузі частот від 0 до ω_1 , може бути обчислена через спектральну щільність наступним чином:

$$W = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_1} [S(j\omega)]^2 d\omega. \quad (3)$$

Підставивши вираз (2) в виріз (3), одержимо

$$W = \left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega.$$

Повна енергія одиночного гауссівського імпульсу, відповідно до рівності Парсеваля буде:

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_{-\infty}^{\infty} [U(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} [U_0(e^{-\alpha t})]^2 dt = U_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\sqrt{2}\alpha t)^2} dt = \\ &= \frac{U_0^2}{\sqrt{2}\alpha} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\sqrt{2}\alpha t)^2} d(\sqrt{2}\alpha t) = \frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}. \end{aligned}$$

Тоді функція $\Psi(\omega_1) = W/W_0$ характеризує частину енергії гауссівського імпульсу, зосереджену в смузі частот від 0 до ω_1 . Одержимо $\Psi(\omega_1)$

$$\Psi(\omega_1) = \frac{\left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega}{\frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega.$$

Зробимо заміну перемінних: $\frac{\omega}{\alpha} = z$, $d\omega = \alpha \cdot dz$. Тоді

$$\Psi(\omega_1) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 2\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right),$$

де $\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ – функція Лапласа.

Відомо [4,5], що, якщо визначити тривалість гауссівського імпульсу на рівні, що відповідає 90% енергії імпульсу, то коефіцієнт форми визначається через тривалість імпульсу таким чином:

$$\alpha = 1,65 / \tau_u.$$

Виходячи з того, що тривалість імпульсу енергодинамічного процесу в середньому складає 3,5 наносекунд, то $\alpha = 4,714 \cdot 10^8$. З цього випливає, що в смузі частот від 0 до $\omega_1 = 775.5 \cdot 10^6$ рад/с зосереджено 90% енергії одиночного ЕДІ. Подальше збільшення практичної ширини спектра з енергетичної точки зору недоцільно, тому що при $\omega_1 \geq \omega_{гр}$ крива $\psi(\omega_1)$ (рис. 2) дуже полого.

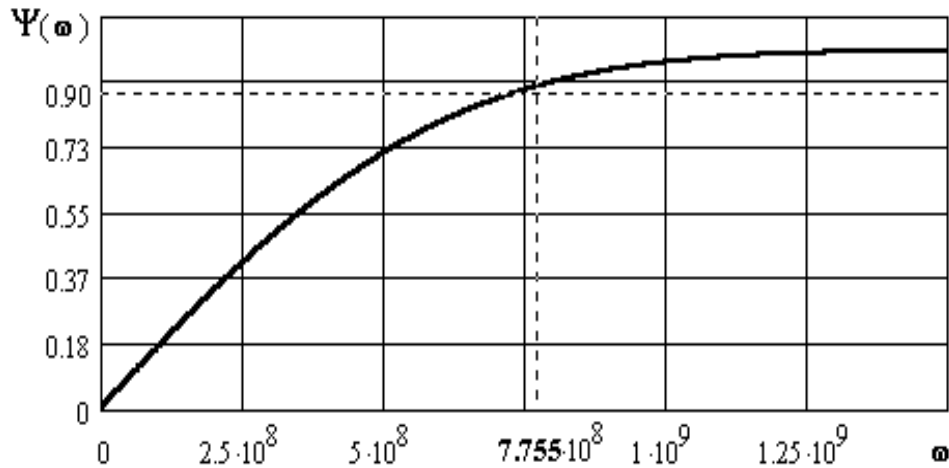


Рисунок 2 - Ширина спектру з енергетичної точки зору

Таким чином, практична ширина енергодинамічних імпульсів визначається шириною спектра одного імпульсу і складає величину порядку 120 МГц.

3. Вплив зміни тривалості ЕДІ на амплітудно-частотному спектрі (АЧС)

Якісний аналіз АЧС енергодинамічних імпульсів показав, що при зменшенні τ_u спектральна щільність при $\omega=0$ зменшується і ширина спектра збільшується (рис. 3). Однак в околиці точки ω' існує діапазон частот $\omega'' - \omega'''$, у межах якого зміна спектральної щільності в залежності від зміни τ_u незначна і не перевищує якогось наперед заданого значення. Визначимо, як виражається ширина зони квазістаціонарності спектра в залежності від відносної зміни модуля спектральної щільності [7, 8].

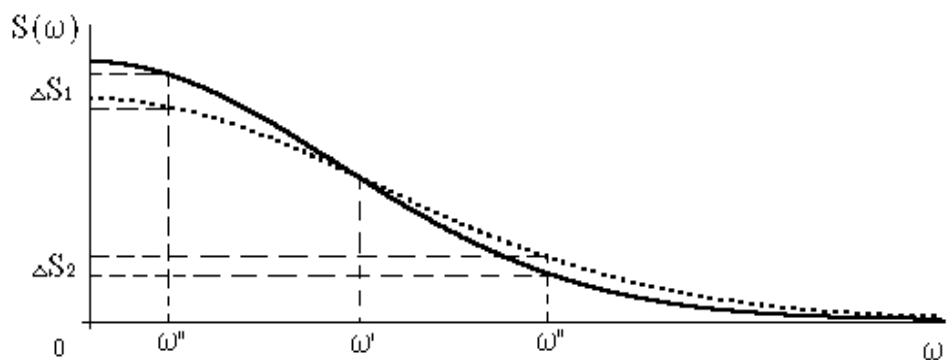


Рисунок 3 - Зовнішній вигляд ширини спектру

Знайдемо частоту ω' , на якій перетинаються огинаючі спектрів імпульсів із тривалістю τ_{u1} і τ_{u2} ($\tau_{u1} < \tau_{u2}$). Для цього у виразі (2) введемо тривалість імпульсу за умови, що вимір

відбувається на рівні $\frac{U_0}{e}$. При цьому масштабний коефіцієнт α і тривалість імпульсу зв'язані співвідношенням $\alpha = \frac{2}{\tau_u}$. Вираз (2) прийме вид:

$$S_1(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_u}{2} e^{-\frac{\omega^2 \tau_u^2}{16}}.$$

Для частоти ω' виконується умова

$$\frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_{u1}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}} = \frac{U_0 \sqrt{\pi} \tau_{u2}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}}.$$

Перетворимо цей вираз

$$\ln \tau_{u1} - \frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16} = \ln \tau_{u2} - \frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}.$$

Звідки

$$\omega' = 4 \sqrt{\frac{\ln \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}}}{\tau_{u2} - \tau_{u1}}}.$$

Абсолютне значення модулів спектральних щільностей

$$\Delta S(j\omega) = S_2(j\omega) - S_1(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{2} \left[\tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} - \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}} \right].$$

Обчислимо відношення $\Delta S(j\omega)$ до середнього арифметичного тих самих величин:

$$\frac{\Delta S(j\omega)}{S_2(j\omega) + S_1(j\omega)} = 2 \cdot \frac{\tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} - \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}}}{\tau_{u2} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u2})^2}{16}} + \tau_{u1} e^{-\frac{(\omega' \tau_{u1})^2}{16}}} = \xi.$$

Перетворимо отриману рівність:

$$\frac{1 - \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}}}{1 + \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}}} = \frac{\xi}{2}.$$

Перепишемо його у вигляді:

$$\frac{1-x}{1+x} = \frac{\xi}{2},$$

звідки

$$x = \frac{\tau_{u1}}{\tau_{u2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{u1}^2 - \tau_{u2}^2)}{16}} = \frac{2-\xi}{2+\xi}.$$

Вирішивши цей вираз відносно ω , одержимо:

$$\omega'', \omega''' = \sqrt{\omega'^2 + 16 \cdot \frac{\ln \left(\frac{2+\xi}{2-\xi} \right)^{\pm 1}}{\tau_{u2}^2 - \tau_{u1}^2}}. \quad (4)$$

Для знаходження ω'' показник ступеня в другому додатку підкореневого виразу дорівнює +1, для знаходження ω''' показник дорівнює -1.

Вираз (4) дозволяє оцінити діапазон частот $\omega'' - \omega'''$ у межах якого зміна тривалості імпульсу від τ_{u1} до τ_{u2} приведе до відносної зміни модуля спектральної щільності на задане число відсотків [9].

4. Вплив взаєморозташування ЕДІ в часовій області на АЧС

При проведенні моделювання можливого взаємного розташування ЕДІ на часовій осі за допомогою математичного пакету Matlab версії 5.2.1 отримані наступні результати для АЧС.

Розглянемо випадок двох ЕДІ. Спектральна щільність такого сигналу дорівнює

$$S_{\Sigma}(j\omega) = S_1(j\omega) + S_2(j\omega) = \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} + \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} e^{-j\omega t_3}$$

$$S_{\Sigma}(j\omega) = \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} \cdot (1 + e^{-j\omega t_3}),$$

де t_3 – час затримки одного імпульсу щодо іншого [10-12].

Для двох енергодинамічних імпульсів зміщених один відносно іншого на 1 нс (рис. 4а) АЧС показаний на рис. 4б. Через те, що тривалість сумарного імпульсу в часовій області збільшується, в частотній області спостерігається звуження спектра.

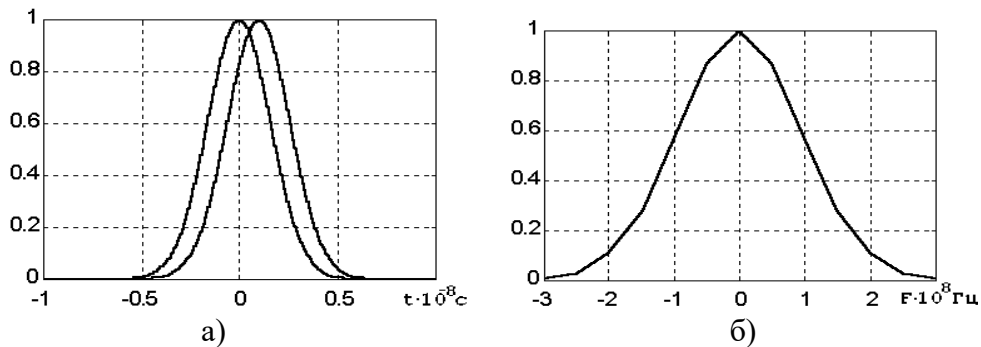


Рисунок 4 – Вигляд АЧС для двох енергодинамічних імпульсів

При збільшенні часу затримки t_3 (рис. 5а) АЧС звужується, що дозволяє розрізняти положення і кількість ЕДІ.

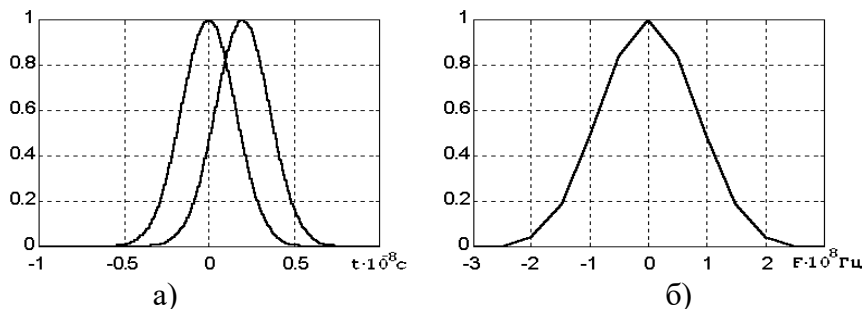


Рисунок 5 – Вигляд АЧС для розрізнення положення і кількості ЕДІ

При $t_3 = \tau_u$ (рис. 6а) спостерігається характерний пелюстковий вид АЧС (рис. 6б), “нульові частоти” розташовані на осі частот у точках $\omega = (2n-1)\pi/\tau_u$, де n – число імпульсів, T_u – період їхнього проходження.

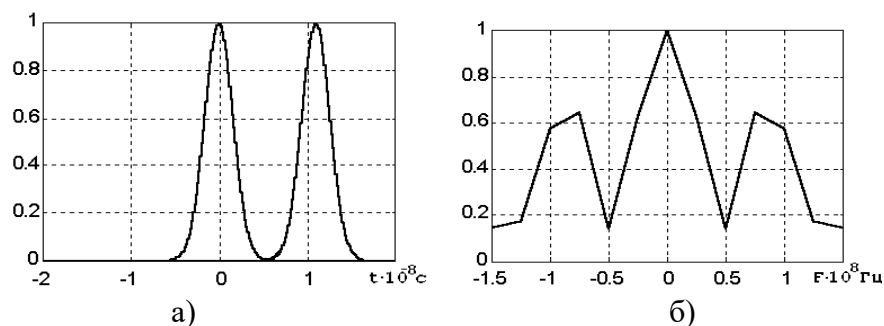


Рисунок 6 – Вигляд АЧС (а) пелюстковий, (б) “нульові частоти” розташовані на осі частот

На рис. 7–9 показано вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ. У кожному випадку вид і структура АЧС точно характеризують кількість і взаєморозташування імпульсів.

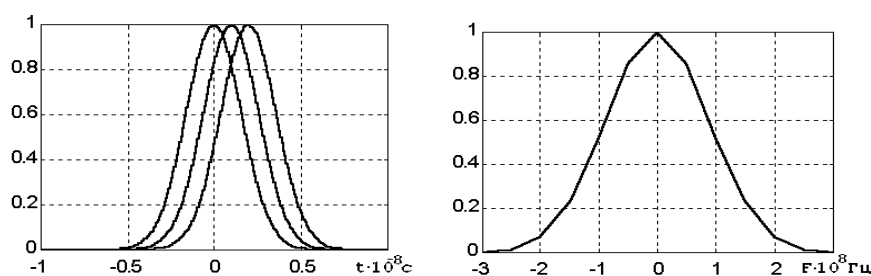


Рисунок 7 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

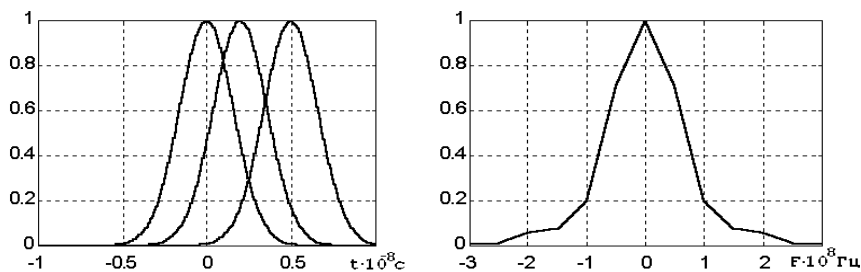


Рисунок 8 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

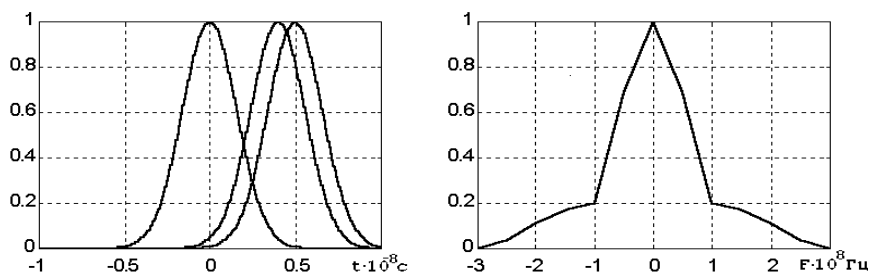


Рисунок 9 – Вигляд АЧС при різному взаєморозташуванні трьох ЕДІ

При зміні часу затримки між сусідніми ЕДІ змінюється вид і структура АЧС. Знаючи послідовність переключення ЛЕ в часі, можна по аналізу АЧС точно вказати, який саме елемент змінив свій логічний стан. Використання такої діагностичної інформації дозволяє виявляти непрацездатні ЛЕ з точною вказівкою дефектного елемента.

5. Обґрунтування можливості переходу від просторово-часової k -рівневої обробки до частотно-спектральної

Реалізація багаторівневої обробки дозволяє знайти одночасне спрацьовування декількох ЛЕ, але введення додаткових каналів виділення і кодування діагностичної інформації ускладнює пристрій, підвищуючи ймовірність помилкової тривоги.

Проаналізуємо зміну спектрів сигналів у ланцюзі живлення при одночасному переключенні одного, двох і k логічних елементів, включених паралельно. Спектральна щільність ЕДІ описується формулою (2). Теоретично ширина спектра нескінченна, але спектральна щільність максимальна тільки в обмеженому діапазоні частот $\omega \dots \omega_{\text{гp}}$, а за його межами швидко зменшується. Тому за ширину спектра приймають діапазон частот, у межах якого зосереджено 90% енергії сигналу [11-14].

З аналізу практичної ширини спектра, проведеного в пункті 2, гранична частота може бути визначена як:

$$\omega_{\text{гp}} = 0,52 \cdot \pi \cdot \alpha .$$

Модуль спектральної щільності, що відповідає границі спектра $\omega_{\text{гp}}$, визначається

$$S(\omega_{\text{гp1}}) = \frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{\text{гp1}}}{2\alpha}\right)^2} = \frac{U}{\alpha} e^{-(0,26\pi)^2} . \quad (5)$$

При одночасному спрацьовуванні двох елементів у ланцюзі живлення виникає імпульс, який дорівнює сумі імпульсів від кожного елемента

$$U_2(t) = 2U e^{-(\alpha t)^2} .$$

При цьому спектральна щільність сумарного імпульсу прийме вигляд:

$$S_2(j\omega) = 2 \frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} .$$

Гранична частота, що відповідає рівню спектральної щільності (5), визначиться з умови

$$\frac{U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-(0,26\pi)^2} = \frac{2U\sqrt{\pi}}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{\text{гp2}}}{2\alpha}\right)^2} .$$

Звідки

$$\omega_{\text{гp2}} = \sqrt{4\alpha^2 \ln 2 + (0,26 \cdot \pi)^2 4\alpha^2} . \quad (6)$$

При одночасному спрацьовуванні k елементів вираз (6) буде мати вигляд:

$$\omega_{\text{гpk}} = A\sqrt{\ln k + B^2} , \quad (7)$$

де $A = 2\alpha$, $B = 0,26 \cdot \pi$.

Для $\tau_u = 3,5$ нс значення $\omega_{\text{гpk}}$ зведені в табл. 1

Таблиця 1 – Значення $\omega_{\text{гpk}}$ при $\tau_u = 3,5$ нс

k	1	2	3	4	5	6	7
$\omega_{\text{гp}} \cdot 10^8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	7,7	11,0	12,53	13,51	14,23	14,8	15,25

З табл. 1 випливає, що з ростом k зростає граничне значення $\omega_{\text{гpk}}$ [15]. Ця обставина дозволяє проводити стійке розходження спектрів, що відповідають різним рівням

спрацьовування ЛЕ. Отже, з'являється діагностична інформація, що дозволяє перейти від k -рівневої амплітудної обробки до частотно-спектральної обробки сигналів у ланцюзі живлення.

Висновки. Проведений аналіз спектрів сигналів протікання енергодинамічного процесу, що виникають у ланцюзі живлення складних цифрових об'єктах, показав, що спектри сигналів є достовірним джерелом діагностичної інформації. Використовуючи принципи одночасного аналізу вихідної реакції і параметрів енергодинамічного імпульсу, технічно можливо реалізувати пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ на основі спектрального аналізу параметрів енергодинамічного процесу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Монографія / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, С.В. Ленков, В.А. Проценко; під ред. М.К. Жердєва, С.В. Ленкова. – К.: ТОВ «Компанія ЛК», 2009. – 224 с.
2. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування / Г.Б. Жиров // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. – Сер. Військово-спеціальні науки. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Вип. 11. – С. 55-60.
3. Гахович С.В. Метод діагностування цифрових ТЕЗ // Зб. наук. пр. ВІТІ НТУУ “КПІ”. – Вип. № 4. – К.: ВІТІНТУУ “КПІ”, 2004. – С. 24-30.
4. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2009. – № 21. – С. 42-45.
5. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні // Збірник науко-вих праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2016. – № 51. – С. 12-19.
6. Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – Київ, 2015. – № 1 (22). – С. 136-139.
7. Жердев М.К. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2015. – № 49. – С. 40-48.
8. Вишнівський В.В. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК / В. В. Вишнівський, В.В. Василенко, В.В. Кузавков // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 18-21.
9. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови діагностичної моделі транзистора в режимі відсічки для енергодинамічного методу діагностування / П.А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2013. – № 39. – С. 229-233.
10. Шкуліпа П.А. Загальний підхід до розробки алгоритму побудови тестів діагностування для енергодинамічного електромагнітного методів / П.А. Шкуліпа // Десята всеукраїнська конференція студентів і молодих науковців «Інфор-матика, інформаційні системи та технології». – Одеса, 2013. – С. 51-52.
11. Вишнівський В.В. Проблема побудови та впровадження автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного озброєння / В.В. Вишнівський, В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур // Науковий журнал Інформаційна безпека Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2014. – Вип. № 4(16). – С. 151-157.
12. Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.А. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. – М.: Сов. радио, 2009. – 224 с.
13. Жердев М.К. Концептуальні засади методу діагностування сучасних цифрових типових елементів заміни по форматним частотам перехідного процесу в шині живлення / М.К. Жердев, В.О. Савран // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2016.- Вип.52. – С.20-32.
14. Ленков С.С., Толоч І.В. Прогнозування складу і ресурсу угруповань технічних об'єктів // Науковий журнал «Системи озброєння і військова техніка», Харків, 2018. – №3(55). – С. 78 –84.

15. Lienkov S.V., Zhirov H.B., Tolok I.V., Lienkov Ye.S. // Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7

REFERENCES:

1. Vyshnivskiy V.V., Zherdiev M.K., Lienkov S.V., Protsenko V.A.; pid red. Zherdieva M.K., Lienkova S.V. (2009), "Diahnostuvannia analogovykh i tsyfrovyykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki" [Diagnostics of analog and digital devices of radio electronic equipment], K., TOV Kompaniia LIK, 224 p.
2. Zhyrov H.B. (2005), "Uzahalnena diahnostychna model tsyfrovoy VIS dlia enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia" [Generalized diagnostic model of digital VIS for the energy-static method of diagnosis], Bulletin of KNU named after Taras Shevchenko. Ser Military special sciences. K.: Kyiv. University, No.11 pp 55-60.
3. Hakhovych S.V (2004), "Metod diahnostuvannia tsyfrovyykh TEZ" [The method of diagnosing digital TES], Collection. of science Ave. VITINTUU "KPI", No.4 pp. 24-30.
4. Hlukhov S.I. (2009), "Diahnostuvannia tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv typovykh elementiv zaminy radioelektronnoi tekhniki z vykorystanniam elektromahnitnoho metodu u viiskovykh remontnykh orhanakh" [Diagnostics of digital radio-electronic components of typical replacement elements of radio-electronic equipment using the electromagnetic method in military repair bodies], Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenka. K. No.21, pp. 42-45.
5. Hlukhov S.I. (2016), "Analiz isnuuychyykh metodiv diahnostuvannia typovykh elementiv zaminy radioelektronnykh zasobiv ozbroieniata obhruntuvannia neobkhdnosti vykorystannia informatsiynykh tekhnolohii pry yikh zastosuvanni" [Analysis of existing methods of diagnosis of typical replacement elements of radio-electronic means of armament, justification of the need to use information technologies in their application], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No. 51, pp. 12-19.
6. Shevchenko V.V. (2015), "Vyznachennia tekhnichnoho stanu tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy za do-pomohoiu elektromahnitnoho metodu diahnostuvannia" [Determining the technical condition of digital typical replacement elements using the electromagnetic method of diagnosis], Modern information technologies in the sphere of security and defense. Kyiv, No. 1 (22), pp 136-139.
7. Zherdiev M.K., Kuzavkov V.V., Hlukhov S.I. (2015), "Uzahalnennia rezultatyv forsovanykh vyprobuvan radioelektronnykh komponentiv", [Generalization of the results of forced tests of radio-electronic components], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No. 49, pp. 40-48.
8. Vyshnivskiy V.V., Vasylenko, V.V., Kuzavkov V.V. "Analiz metodiv forsovanykh vyprobuvan dlia otrymannia zalezhnosti zminy diahnostychnoho parametra vid chasu napratsiuвання napivprovodnykovykh REK" [Analysis of forced test methods to obtain the dependence of the diagnostic parameter change on the operating time of semiconductor RECs], Management, navigation and communication systems. PNTU. Issue 1(33). pp. 18-21.
9. Shkulipa P.A. (2013) "Alhorytm pobudovy diahnostychnoi modeli tranzystora v rezhymy vidsichky dlia enerhodynamichnoho metodu diahnostuvannia" [Algorithm for constructing a diagnostic model of a transistor in cut-off mode for an energy-dynamic method of diagnosis], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No, 39, pp. 229-233.
10. Shkulipa P.A. (2013) "Zahalnyi pidkhid do rozrobky alhorytmu pobudovy testiv diahnostuvannia dlia enerhodynamichnoho ielektromahnitnoho metodiv" [A general approach to the development of an algorithm for constructing diagnostic tests for energy-dynamic and electromagnetic methods], Tenth All-Ukrainian Conference of Students and Young Scientists "Informatics, Information Systems and Technologies". Odesa, pp. 51-52.
11. Vyshnivskiy V.V., Kuzavkov V.V., Haidur H.I. (2014), Problema pobudovy ta vprovadzhennia avtonomnykh avtomatyzovanykh system diahnostuvanniaradioelektronnoho ozbroieniata [The problem of building and implementing autonomous automated systems for diagnosing radio-electronic weapons], Scientific Journal Information Security East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. Luhansk, Vol. No. 4 (16). pp. 151-157.
12. Vyshnivskiy V.V., Zherdiev M.K., Lienkov S.V., Protsenko V.A. (2009), Diahnostuvannia analogovykh i tsyfrovyykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki [Diagnostics of analog and digital devices of radio electronic equipment], M. Sov. radio, 224 p.

13. Zhierdev M.K., Savran V.O. (2016) Kontseptualni zasady metodu diahnostuvannia suchasnykh tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy po formatnym chastotam perekhidnoho protsesu v shyni zhyvlennia [Conceptual foundations of the method of diagnosing modern digital typical replacement elements by the format frequencies of the transition process in the power bus], Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. K. VIKNU, Issue 52, pp. 20-32.

14. Lienkov Ye.S., Tolok I.V. (2018), Prohnozuvannia skladu i resursu uhrupuvan tekhnichnykh obiektiv [Forecasting the composition and resources of groups of technical objects], Scientific journal "Weapons systems and military equipment", Harkiv, No. 3(55), pp.78-84.

15. Lienkov S. V., Zhiron H.B., Tolok I. V. Lienkov Ye. S. Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7.

PhD Gakhovych S.V., PhD Okhramovych M.M.,
PhD Kravchenko O.I., Shevchenko V.V.

FREQUENCY ANALYSIS OF THE SIGNALS IN DIAGNOSTIC TESTS BY THE ENERGY-DYNAMIC METHODOLOGY

The article analyzes the type of energy-dynamic pulses in the space-time and frequency-spectral domains to improve the diagnostic process of digital standard replacement elements with large integrated circuits and microprocessor-based large integrated circuits in their design. Creation of new and improvement of existing systems used to determine the technical condition of digital devices in complex conditions requires the development of new methods of diagnosis. This is due to the high complexity of radio-electronic equipment and the shortage of decision time when carrying out technical state control. In the scientific and technical literature on the development and operation of radio electronic equipment, the main attention is paid to the study of the possibility of minimizing the average recovery time and cost of means of diagnostics of the radio electronic equipment object. The main factor holding back the development of modern technical diagnosis systems is the lack of a methodological apparatus capable of significantly more effective use of developed diagnostic models to identify faulty logical elements.

Application of the proposed scientific approaches to the processing of diagnostic information will allow: to determine in advance the elements whose characteristics are approaching critical; to determine the technical condition of radio electronic equipment in real time; to monitor the serviceability of elements of radio electronic equipment. It will also allow for more accurate processing of diagnostic parameter values, forecasting failure times of radio electronic components with a given reliability. This, in its turn, will lead to decrease of detection time of sudden failures of radio-electronic facilities and considerably reduce time spent on restoration of digital standard replacement elements of radio-electronic equipment, requirements to which are constantly growing in conditions of repulsion of the Russian aggression by the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: energy dynamic method of diagnostics, radio electronic technology, space-hour sphere, frequency-spectral sphere, typical replacement element.

ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДИСТАНЦІЙНО-КЕРОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ РОЗМІНУВАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Досвід ведення бойових дій у сучасних воєнних конфліктах показав, що одним із небезпечних їх наслідків є забруднення територій вибухонебезпечними предметами, які становлять загрозу як військовим, так і цивільному населенню. При цьому одним із основних проблемних питань є значне перевищення темпів розвитку мінної зброї в порівнянні з темпами розвитку протимінних засобів. Не є винятком і Україна, яка через повномасштабну агресію РФ опинилася в числі найбільш забруднених вибухонебезпечними предметами країн світу, що в свою чергу потребує великої кількості часу, сил та засобів для розвідки та розмінування територій.

Аналіз застосування вибухонебезпечних предметів у війні РФ проти України показує використання противником всього наявного в нього спектру мінної зброї, включаючи ту, що заборонена міжнародними конвенціями. Характерною особливістю мінування противником місцевості є широке використання дистанційних систем мінування, мінування безсистемно, застосування нових способів мінування, встановлення вибухонебезпечних предметів у стан невилучаємості. Аналіз наявних засобів розмінування в інженерних підрозділах ЗС України показує їх застарілість та низьку ефективність, а також відсутність дистанційно керованих комплексів розмінування. При цьому основним способом виконання завдань з розмінування як в умовах ведення бойових дій, так і при відсутності їх є ручний, що становить велику небезпеку саперам. Тому створення дистанційно-керованих комплексів розмінування є актуальним завданням. Вирішення зазначеної проблеми пропонується за рахунок розробки нових принципів дії перспективних дистанційно-керованих комплексу розмінування, обґрунтування можливих варіантів застосування штатних переносних засобів пошуку вибухонебезпечних предметів на дистанційно-керованих рухомих платформах за концепцією «Сапер переднього краю», обґрунтування вимог до структури та параметрів вказаних комплексів та реалізація ідеї щодо створення бази даних технічних образів відомих вибухонебезпечних предметів на підґрунті отриманих експериментальних даних щодо обраних показників (амплітуда, період та частота сигналу).

В статті на основі формалізації поставленої наукової проблеми з використанням теоретико-множинного підходу наведено модель функціонування перспективного дистанційно-керованого комплексу розмінування з урахуванням досвіду застосування противником вибухонебезпечних предметів під час війни РФ проти України, характеристик засобів їх пошуку та знищення

Ключові слова: бойові дії; вибухонебезпечні предмети; розмінування; дистанційно-керований комплекс розмінування.

Вступ. Інтенсивне ведення бойових дій у південно-східному регіоні України призвело до того, що значна територія України виявилася забрудненою вибухонебезпечними предметами (ВНП) [1-4]. За інформацією асоціації саперів України станом на березень 2022 року орієнтовне забруднення території України ВНП складає більше 82,5 тисяч квадратних кілометрів, і щодня ця цифра збільшується (рис. 1) [4]. На ній проживає більш ніж 15 млн. громадян. Це потребуватиме значних витрат державних коштів та ресурсу для проведення гуманітарного розмінування. До того ж, постійні обстріли РФ території України, у тому числі дистанційними системами мінування, призводять до нових руйнувань і збільшення території, яка забруднена ВНП.

Аналіз результатів ведення широкомасштабної збройної агресії РФ проти України показав, що отримані від підриву на мінах втрати в особовому складі, а також бойової та спеціальної техніки є значними. Найбільш критичним до широкомасштабного вторгнення армії виявився 2015 рік. А загалом, станом на 31.12.2020 у зоні проведення АТО/ООС отримали мінно-вибухові травми різної важкості 882 військовослужбовець, загинуло 248.

Щодо загибелі цивільного населення, то за даними Стокгольмського інституту Миру за кількістю втрат цивільного населення Україна у 2017 році займала 3 місце, а у 2018 році 5 місце, випереджаючи Афганістан, Камбоджу, Малі та Пакистан [1-4]. За даними Управління екологічної безпеки та протимінної діяльності з початком бойових дій лише на території Донецької та Луганської областей у наслідок підриву на мінах постраждало більш ніж 1900 цивільних осіб. На сьогодні відомості щодо втрат від підриву на ВВП особового складу сил оборони, цивільного населення та техніки з початку повномасштабної агресії РФ уточнюються. При цьому, аналіз інформації з відкритих джерел показує, що втрати з кожним днем збільшуються, включаючи саперів, які виконують завдання як під час бойових дій, так за відсутності їх.



Рисунок 1 – Обсяги забрудненої місцевості, що потребує розмінування станом на червень 2022 року

Постановка проблеми. Досвід виконання завдань з розмінування у воєнних конфліктах сучасності та миротворчих операціях [5-6] показав, що одним із основних проблемних питань є значне перевищення темпів розвитку мінної зброї в порівнянні з темпами розвитку протимінних засобів [7-9]. Цей факт, враховуючи зростаючу інтенсивність застосування мін та саморобних вибухових пристроїв (СВП), у провідних країнах світу давно вже сприймається як загальносвітова проблема, вирішення якої потребує комплексного підходу [10,11]. При цьому, особлива увага в операціях по розмінуванню приділяється якості очищення місцевості від ВВП, що визначається міжнародними стандартами з розмінування [12]. Взагалі, на даний час не існує жодного технічного засобу, який би забезпечував виконання вимог [12], що і обумовлює подальше поширене застосування ручного способу розмінування, який є вкрай витратним та небезпечним.

Отже, враховуючі все вище зазначене, у практиці розмінування значно загострюється потреба підвищення якості, оперативності та безпеки процесів, пошуку, виявлення, знищення або знешкодження ВВП. Особливо гостро таке питання постає по відношенню до перспективних засобів розвідки мінно-вибухових загороджень (МВЗ), зокрема, засобів пошуку та виявлення ВВП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що в них піднято та розглянуто часткові наукові задачі. Так відомі праці [13-24] присвячені висвітленню результатів наукових

досліджень, спрямованих на моделювання процесів та обґрунтування вимог до засобів пошуку та виявлення ВВП різними методами, розглядаються аспекти дистанційного знищення ВВП. В матеріалах [25,26] наведені результати теоретичних досліджень способів повітряної розвідки замінованих ділянок місцевості.

Проведений аналіз відомих доступних досліджень і публікацій дозволив дійти висновку, що задача проведення комплексних досліджень можливості використання перспективних засобів пошуку та виявлення ВВП за допомогою дистанційно-керованих платформ із врахуванням характеру мінування та типу ВВП, що застосовуються під час ведення бойових дій, на сьогодні вирішена не у повному обсязі. Разом з цим, питання системного аналізу технічних аспектів виявлення мін та інших ВВП в умовах ситуації, що склалася в зоні бойових дій, залишається актуальним і вимагає проведення подальших досліджень.

Мета статті викласти результати аналізу застосування ВВП на території України в наслідок війни з РФ, на основі яких здійснити математичне формулювання проблеми створення перспективних дистанційно-керованих комплексів розмінування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час ведення ООС, а на сьогодні у ході широкомасштабної збройної агресії РФ проти України противник використовує ВВП як у вигляді мінних полів, так і поодинокі для руйнування об'єктів інфраструктури регіону та СВП [27-29]. Найбільш поширеною є практика, коли диверсійно-розвідувальні групи армії агресора попередньо вивчають місця розташування та тип встановлених мінних полів для захисту позицій наших військ або маршрути висування резервних груп, а потім встановлюють на маршрутах висування міни-пастки для саперів і СВП, які у більшості випадків виявити надзвичайно складно.

В останній час найбільш широко противник став застосовувати дистанційний спосіб мінування місцевості як протитанковими, так і протипіхотними мінами. Особливістю такого мінування є безсистемність встановлення мін та особлива небезпека мін, які в своєму складі мають різні принципи спрацювання датчиків цілі(сейсмічні, натяжні, натискні, оптичні). Зазначені міни можуть встановлюватися як в режим самоліквідації через різні періоди часу, так і без самоліквідації, що несе додаткову небезпеку для військовослужбовців та цивільного населення.

Характер та обсяги забруднення місцевості ВВП у зоні проведення бойових дій та на звільнених територіях є досить різним, тобто значно відрізняється від класичного пострадянського підходу до мінування. У цьому сенсі слід звернути особливу увагу на зміщення пріоритетів у бік застосування СВП у порівнянні з інженерними мінами промислового виробництва.

Вказаний факт був підтверджений результатами статистичних досліджень, проведених у Національному університеті оборони України ім. Івана Черняховського [30]. До статистичного опитування залучалися 100 офіцерів ЗС України, які мають значний бойовий досвід виконання бойових (спеціальних) завдань у зоні проведення ООС. Крім пріоритетності застосування різних типів ВВП була підтверджена залежність рівня небезпеки від типу ВВП, що зустрічалися у Донецькій та Луганській областях (рис. 2).

Найбільш вибухонебезпечні боєприпаси та предмети



Рисунок 2 – Гістограма рівня небезпеки різних типів ВВП за результатами опитування

Також встановлено, що міни та вибухові пристрої (ВП) противником встановлюються з елементами невилучення або незнешкодження. Для цього разом зі звичайним підривником використовують ручні гранати, важелі запалів яких фіксуються корпусами мін. Противник застосовує всі наявні в нього на озброєнні інженерні боєприпаси, зокрема «міни-сюрпризи» та «міни-пастки», обсяги застосування яких визначити досить складно. Міни встановлюються як на лінії бойового зіткнення, так і в населених пунктах у місцях скупчення людей [27-29].

Характерним стає відмова від транзитного мінування місцевості та перехід до об'ємної моделі безсистемного мінування (рис. 3) із застосування ВВП по цілям (об'єктам).

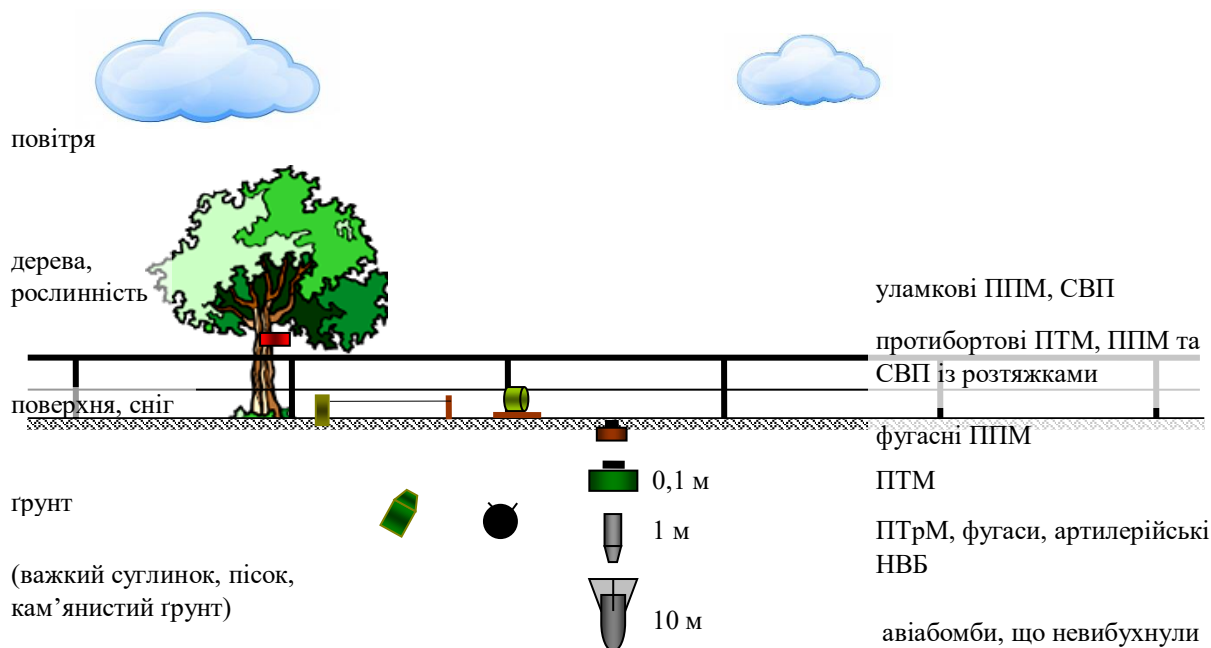


Рисунок 3 – Об'ємний характер ведення мінної війни та забруднення ВВП місцевості

Небезпека полягає в тому, що їх застосування не обмежується ні масштабами, ні часом, ні місцевістю. Противник в основному використовують інженерні боєприпаси радянського та російського виробництва: протипіхотні міни (вибухові пристрої) – ПМН всіх модифікацій (ПМН, ПМН-2, ПМН-3 ПМН-4), МОН-50 (90, 100, 200), ОЗМ-72 (3, 4, 160), ПОМЗ-2М, вибухові пристрої НВУ-П „Охота” (НВУ-П2); «міни-пастки» – МС-3, МС-4, МЛ-7, МЛ-8; протитанкові міни – ТМ-57, ТМ-62 різних модифікацій, ТМ-72, ТМ-83, ТМ-89, а також ВВП, такі як: артилерійські снаряди, мінометні міни, реактивні снаряди систем залпового вогню, постріли осколочних гранат, різноманітні СВП [27-29]. Проте, останні бойові дії показують, що противник став широко застосовувати нові міни, які встановлюються дистанційно. Це насамперед міна протипіхотна міна ПОМ-3, яка встановлюється як за допомогою системи мінування «Земледелие», так і авіаційними, артилерійськими та переносними системами мінування на відстань від кількох метрів до сотень кілометрів [28]. Окрім ПОМ-3 противник широко застосовує і інші міни, які встановлюються дистанційними засобами мінування – протипіхотні ПФМ-1, ПФМ-1С, ПОМ-1, ПОМ-2 та протитанкові ПТМ-1, ПТМ-3, ПТМ-4. Особливістю застосування цих мін є те, що вони можуть встановлюватися глибоко в тилу наших військ, в населених пунктах, на об'єктах господарської діяльності тощо [27].

Противник використовує і нові способи приведення в дію протипіхотних мін і СВП. На додачу до «розтяжок» вони розвішують по кущах рибальські гачки, що чіпляються за одяг. У такому разі сапери попереджають про те, що треба бути надто обережним, своєчасно помітити й пройти «розтяжку», але можна при цьому не помітити кілька таких гачків, розвішаних по кущах, які можуть впитися в одяг, що призведе до вибуху [27].

На автошляхах противником установлюються, як правило, фугаси та міни. Вони віддають перевагу керованим саморобним фугасам трьох типів: для ураження бойової техніки, для ураження живої сили та комбіновані. У населених пунктах і лісовій місцевості можуть встановлюватися СВП з різними видами «розтяжок», для яких використовується так зване «павутиння» (горизонтальне, вертикальне, змішане). Воно може виготовлятися з дротів системи управління протитанковою керованою ракетою, волосінь, гілок дерев, кущів. Висота та довжина «розтяжок» може бути різною. Застосовуються також хибні «розтяжки», міни та фугаси можуть встановлюватися на невилучаємість. У такому випадку разом зі звичайним підривною противник використовує ручні гранати, важелі запалів яких фіксуються корпусами мін.

За наявності достатнього часу та можливостей противник завжди намагається мінувати будь-які об'єкти, аби завдати втрат українським військам. Це можуть бути підступи до опорних пунктів і блокпостів наших військ, шляхи, якими здійснюється постачання матеріально-технічних засобів українським підрозділам (зазвичай це загальнодержавні дороги, де повно цивільного транспорту), включаючи кювети та лісосмуги, склади, місцевість на нейтральній смузі, будівлі, джерела водопостачання, об'єкти інфраструктури, тощо.

У цьому сенсі противник виявляє спритність і винахідливість. Досить часто з його боку застосовується різноманітний типаж спеціальних інженерних боєприпасів як штатного призначення – міни, так і СВП, що виготовлені з підручних матеріалів, наприклад, з артилерійських снарядів і боєприпасів, що не спрацювали. До того ж противник є вкрай підступним – у хід ідуть різноманітні «міни-сюрпризи», СВП, що замасковані під мирні речі, різні форми так званих «розтяжок», у яких використовуються міни та гранати, і навіть так звані «інтелектуальні» міни із сейсмічними датчиками, широко використовується дистанційне управління підривом, що свідчить про достатньо високий рівень професіоналізму противника та його безлімітне забезпечення необхідним обладнанням [29].

Звичайно, мінний арсенал противника досить різноманітний і він не обмежується лише приведеними типами зразків мін. Застосування боєприпасів різної номенклатури в «мінній війні» передбачає необмежене їх використання за масштабами, місцем і часом бойових дій. У районі проведення бойових дій воно має низку особливостей: замість традиційних мінних полів, що становлять основу класичної системи загороджень, найбільшого поширення набули керовані та некеровані фугаси, окремі міни і групи мін, а також ручні гранати, встановлені на

розтяжках; переважна кількість МВЗ встановлюються на дорогах і узбіччях; головний засіб ведення мінної війни – не тільки інженерні боєприпаси, але й артилерійські та авіаційні боєприпаси, ручні гранати, пристосовані за допомогою підручних засобів до застосування як фугаси (пастки) [27,29].

Крім того, значну частку втрат становлять випадки потрапляння військовослужбовців або техніки на власні або не обліковані відповідним чином МВЗ під час виконання завдань інженерної розвідки, переміщення між позиціями, проведення інженерних робіт (інженерного обладнання позицій), гасіння пожеж, евакуації поранених тощо. Тому з метою встановлення порядку та правил поведіння військовослужбовців на місцевості, яка забруднена ВНП, дотримання заходів мінної безпеки у [31] визначено порядок організації та ведення інженерної розвідки в умовах застосування противником різних вибухонебезпечних предметів.

В цих умовах гостро постало питання виконання завдань щодо розмінування в районах ведення бойових дій та на звільнених територіях. Так, за даними МО України з початку бойових дій в період з 2014 року по кінець 2021 р. сапери виявили та знешкодили більше 25 тис. од. ВНП. Групами розмінування очищено більше 4 тис. га території та 1,3 тис. км шляхів, а також майже 750 км залізничних колій. У районі ведення бойових дій діяло близько 60 груп розмінування. Зрозуміло, що станом на червень 2022 року цих груп значно більше.

Для ведення розвідки МВЗ призначаються інженерні розвідувальні дозори, інженерні розвідувальні групи. Для ведення розвідки і подолання загороджень на майданчиках приземлення тактичного повітряного десанту до складу передових груп захоплення майданчиків виділяються інженерно-саперні підрозділи. При цьому підрозділами ЗС України застосовуються щупи, міношукачі та бомбошукачі, комплекти розвідки і розмінування, інженерно-розвідувальні машини, оптичні засоби спостереження, прилади нічного бачення.

Недоліками існуючих на озброєнні ЗС України наземних технічних засобів інженерної розвідки МВЗ (ИМП-2, РВМ-2, ИМБ, ИНМ) слід вважати їх моральну та фізичну застарілість (прийняті на озброєння, ще за часів СРСР) (рис. 4). В умовах світової тенденції створення та застосування роботизованих комплексів і систем у військовій сфері більш сучасними є закордонні металошукачі (спонсорська допомога волонтерів або іноземних військових спеціалістів).

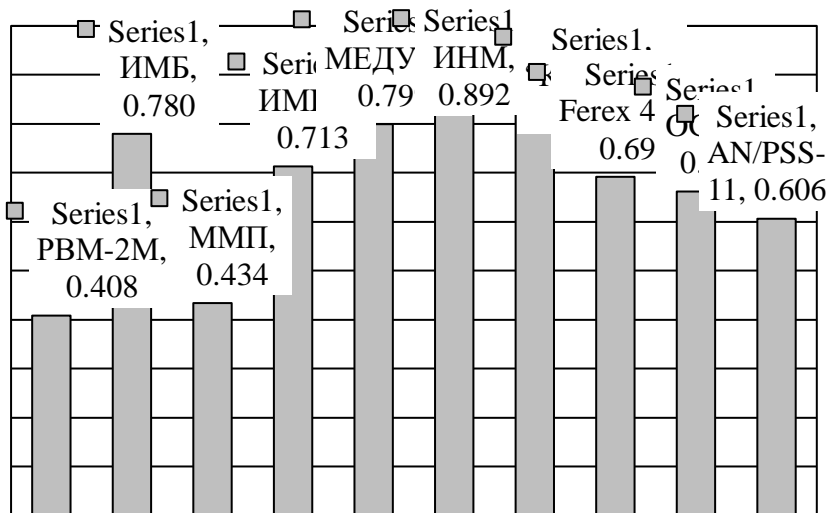


Рисунок 4 – Порівняльний аналіз рівня технічної досконалості засобів інженерної розвідки МВЗ

При цьому слід відмітити, що на сьогодні в Україні найбільш часто застосовується ручний спосіб розмінування. Навіть при механічному способі ведення інженерної розвідки інженерно-розвідувальною машиною також безпосередньо керує людина. Дистанційні засоби

виявлення мін відсутні. Це призводить до втрат особового складу інженерно-саперних підрозділів ЗС України.

Отже, на озброєнні ЗС України відсутні сучасні роботизовані комплекси і засоби дистанційної розвідки МВЗ, що сповільнює процес розмінування в Україні і вимагає зміни підходів до забезпечення підрозділів інженерної розвідки і оперативної розробки (закупівлі) сучасних засобів, комплексів і роботизованих систем інженерної розвідки для ЗС України.

Необхідно зауважити, що досвід виконання завдань з розмінування у воєнних конфліктах сучасності та миротворчих операціях показав, що одним із основних проблемних питань, яке було зазначено вище є значне перевищення темпів розвитку мінної зброї в порівнянні з темпами розвитку протимінних засобів. Цей факт, враховуючи зростаючу інтенсивність застосування мін та СВП, у провідних країнах світу давно вже сприймається як загальносвітова проблема, вирішення якої потребує комплексного підходу [33-42]. В цих країнах давно вже створені дистанційно-керовані технічні засоби для проведення розвідки місцевості на ВВП та розмінування. При цьому, особлива увага в операціях по розмінуванню приділяється якості очищення місцевості від ВВП, що визначається міжнародними стандартами, та забезпечення безпеки операторів з розмінування. Проте, на даний час не існує жодного технічного засобу, який би забезпечував виконання вказаних вимог, що і обумовлює подальше поширене застосування ручного способу розмінування, який є вкрай витратним і небезпечним. Тому створення вітчизняних дистанційно-керованих комплексів розмінування (ДККР) на сьогодні є надзвичайно актуальним завданням, яке потребує детального дослідження та створення відповідних методологічних основ

Основною ідеєю, що покладена в основу проведення досліджень, є розробка нових принципів дії перспективних ДККР, обґрунтування можливих варіантів застосування штатних переносних засобів пошуку ВВП на дистанційно-керованих рухомих платформах (ДКРП) за концепцією «Сапер переднього краю», обґрунтування вимог до структури та параметрів вказаних комплексів та реалізація ідеї щодо створення бази даних технічних образів відомих ВВП на підґрунті отриманих експериментальних даних щодо обраних показників (амплітуда, період та частота сигналу).

Для формалізації поставленої наукової проблеми на основі теоретико-множинного підходу [32] визначено модель перспективного ДККР таким чином:

$$KR = \langle V, D, F, Z, Pr, Sp, Ck, Q(Z), C(Z), t(Z) \rangle, \quad (1)$$

де KR – перспективний ДККР;

V – множина елементів ДККР;

D – множина зв'язків між елементами;

F – функції, які призначені елементам ДККР;

Z – множина завдань ДККР;

Pr – множина процесів у ДККР;

Sp – площа території місцевості, що підлягає розмінуванню;

Ck – складність процесів розмінування;

$Q(Z)$ – показники якості виконання завдання;

$C(Z)$ – показники вартості розмінування;

$t(Z)$ – час, що витрачається на виконання завдань з розмінування.

Функціонування ДККР (1) може бути подано у вигляді відображення

$$V \times D \times F \times Pr \times Sp \times Ck \rightarrow Z. \quad (2)$$

Однією з основних вимог, які висуваються до ДККР є вимога щодо її працездатності. Тобто обсяги виконаних завдань Z , які реалізуються відповідними процесами Pr , повинні бути максимальними при дотриманні вимог щодо збереження їх необхідної кількості та якості їх виконання $Q(Z)$, в умовах ресурсного та часових обмежень.

Тобто, у формалізованому вигляді проблема може бути подана, як

$$W(Sp; Ck) \rightarrow \max, \quad (3)$$

при $Z \in Z^*, Q(Z) \geq Q^*(Z), C(Z) \leq C^*(Z), t(Z) \leq t^*, Ck_{ij} \leq Ck_j^*, Ck_i = \langle k, h, g \rangle$,

де $Q^*(Z), C^*(Z), t^*, Ck_j^*$ – деякі граничні показники, встановлені оперативно-тактичними вимогами;

$\langle k, h, g \rangle$ – параметри складності процесів розмінування;

k – щільність ВВП, га⁻¹;

h – глибина встановлення або знаходження ВВП відносно поверхні середовища, що приховує, м;

g – тип ВВП, які встановлені або знаходяться на місцевості.

Висновки. Таким чином, Україна на сьогоднішній день є однією з найбруднішою вибухонебезпечними предметами країною у світі, а основним способом розмінування є ручний, який є не досить ефективним та становить велику небезпеку особовому складу груп розмінування. Одним з напрямків підвищення ефективності процесів розмінування та забезпечення безпеки саперів є створення та застосування ДККР. Підвищити ефективність процесів розмінування за допомогою ДККР можливе за рахунок адаптації його елементів обсягам завдань різної складності із врахуванням ресурсних обмежень. Зокрема, побудову зазначеного комплексу пропонується здійснити на основі адаптації умовам ведення бойових дій під час мінної війни модернізованих існуючих та створених нових засобів розмінування, а також за рахунок впровадження обґрунтування раціональних параметрів та структури перспективного ДККР. Як напрямок подальших досліджень є розвиток методологічних основ структурно-параметричного синтезу системи дистанційно-керованих засобів (комплексів) розмінування та висвітлення результатів експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ООН закликає активізувати зусилля з розмінування на сході України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/10502961-oon-zaklikaye-aktivizuvati-zusillya-z-rozminuvannya-na-shodi-ukrajini.html>.
2. Майже половину території України потрібно розмінувати внаслідок війни – ДСНС [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/viyuna-v-ukrajini-rozminuvati-trebaty-mayzhe-pоловину-teritoriji-ukrajini-dsns-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11781951.html>.
3. Україна – одна з найбільш замінованих країн світу. Що з цим робити? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-61080365>.
4. Скільки території України потребує розмінування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2022/03/22/novyna/bezpeka/skilky-terytoriyi-ukrayiny-potrebuye-rozminuvannya-oczinka-asociaziviyi-saperiv>
5. Экзаменует «горячая точка» // Арм. сб. № 1, 2000. С. 34-38.
6. Польских Н.Л. Некоторые выводы по итогам инженерного обеспечения миротворческих сил в ходе грузино-абхазского конфликта // Арм. сб. 1997. № 1. С. 37-39.
7. Нижаловський А.М. Минная война в Абхазии // Арм. сб. № 1, 1999. С. 26-29.
8. Жуков С.А. Опыт разминирования местности в условиях локальных военных конфликтов // Зарубежное военное обозрение. № 6, 1998. С. 14-19.

9. Жуков С.А. Опыт разминирования местности в Боснии и Герцеговине // Зарубежное военное обозрение. № 8, 1998. С. 18-22.
10. Особливості гуманітарного розмінування [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/29685254.html> (дата звернення: 27.02.2020).
11. Перспективна схема організації протимінної діяльності в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://audm.org.ua/wpcontent/uploads/Shema-PMDU-perspektiva-1.pdf> (дата звернення: 04.03.2020).
12. Міжнародні стандарти протимінної діяльності: організація національної програми. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>.
13. Звержинский С.С., Парфенов И.В. Метод магнитометрического обнаружения взрывоопасных предметов // Научные технологии. № 5, 2001. С. 29-34.
14. Щербаков Г.Н. Обнаружение скрытых объектов: монография. М.: Арбат-Информ, 2004. 144 с.
15. Щербаков Г. Н. Новые методы обнаружения скрытых объектов: монография. М.: ООО Эльф ИПР, 2011. 503 с.
16. Ясько В.А. Сучасний стан та перспективи розвитку засобів інженерного озброєння // Збірник наукових праць / Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. Хмельницький: НАДПСУ, 2010. № 52. 98-100.
17. Карев А., Раевский В., Коняев Ю., Румянцев А., Аверченко А. Мобильный комплекс обнаружения взрывчатых веществ. Технология разминирования XXI века // Электроника: Наука. Технологии. Бизнес, 2000. № 1. С. 54-58.
18. Гусяков О.М. Аналіз світового досвіду застосування та тенденції розвитку військових робототехнічних комплексів // Військово-технічний збірник / Академія сухопутних військ. Львів: АСВ, 2012. № 1 (6). С. 120-126.
19. Щербаков Г.Н. Методы обнаружения мин – применительно к проблеме гуманитарного разминирования. Актуальность, проблемы // Специальная техника, 2003. № 3. С. 24-31.
20. Ментус І.Е. Ефективність інженерних боєприпасів: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ФВП ПДАТУ, 2008. 80 с.
21. Саламахин Т.М. Боевая эффективность инженерных боеприпасов и элементов системы заграждений: учебное пособие. М.: ВИА им. Куйбышева, 1983. 424 с.
22. Підсумковий звіт про виконання бойових завдань саперними підрозділами ЗС України в Ісламській Республіці Афганістан у складі Литовської групи з реконструкції провінції Гор (ГРП) за період з листопада 2010 р. по листопад 2011 р. К.: ГШ ЗСУ, 2012. 47 с.
23. Жуков С.А. Современные средства противоминной борьбы // Зарубежное военное обозрение. № 5, 1997. С. 26-32.
24. Жуков С.А. Современные средства противоминной борьбы // Зарубежное военное обозрение. № 6, 1997. С. 25-31.
25. Мосов С.П., Гурак С. П. Роботи та БПЛА проти мін. Оборонний вісник. № 11, 2019.
26. Вороч Б.О. Шляхи вирішення проблемних питань розмінування території України. Збірник наукових статей ЦВСДІ НУОУ. Воєнно-прикладні питання системного аналізу та математичного моделювання. 24.03.2020.
27. Збірник матеріалів вивчення бойового досвіду російсько-української війни 2022 року, збірник №4, 2022. С 70-71, 217-232.
28. Науково-технічна експертиза трофейного зразка протипіхотної осколкової міни ПОМ- 3 та інженерної системи дистанційного мінування шифр “Земледелие-И”. Проміжний звіт: Кам'янець-Подільський, 2022. 228 с.
29. Досвід застосування військ (сил) у ході операції оперативного-стратегічного угруповання військ «Хортиця» в період з 10 червня по 01 липня 2022 року.: Київ, 2022. С 38.
30. Статистичне опитування за результатами занять 7.4.1-7.4.2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://adl.mil.gov.ua/mod/feedback/view.php?id=4452> (дата звернення: 03.06.2020).
31. Інструкція з правил поведіння військовослужбовців на місцевості, на якій є вибухонебезпечні предмети, та дотримання заходів мінної безпеки, затверджена Наказом ГШ ЗС України від 19.04.2018. № 161.
32. Коцюрuba В.І. Формулювання проблеми та обґрунтування сукупності принципів побудови адаптивної системи розмінування в умовах ресурсних обмежень // Social development & Security / Національний університет оборони України імені Івана Черняховського. К.: НУОУ, 2017. № 3. С. 3-11.
33. “To Walk the Earth in Safety”. URL: <https://www.state.gov/t/ pm/rls/rpt/walkearth/2017/index.htm>.

34. Mine Action Strategy of the Swiss Confederation 2016 – 2019. URL: https://www.eda.admin.ch/dam/eda/en/documents/aussenpolitik/sicherheitspolitik/HMR-Strategie-2016-2019_EN.pdf.

35. Landmine and Cluster Munition Monitor. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/our-research/country-profiles.aspx>. Моніторинг касетних боєприпасів

36. Humanitarian demining assistance and stockpiled conventional munitions assistance: authority; limitations. URL: <http://uscode.house.gov/browse/prelim@title10/subtitleA/part1/chapter20&edition=prelim>.

37. Netherlands, Support for Mine Action. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2018/netherlands/support-formine-action.aspx#ftnref2>.

38. United Kingdom, Support for Mine Action. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2018/unitedkingdom/support-for-mine-action.aspx>.

39. Clearing a path to development: The UK government's approach to landmines and explosive remnants of war in developing countries. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/260365/mine-action-policy.pdf

40. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>.

41. Demining robots – home. <http://www.natospdeminingrobots.com/>.

42. Demining Robots: Finding the right machine - Armtrac Ltd. <https://armtrac.net/demining-robots/demining-robots-finding-right-machine/>.

REFERENCES:

1. The UN calls for intensified demining efforts in eastern Ukraine, <https://www.unian.ua/war/10502961-oon-zaklikaye-aktivizuvati-zusillya-z-rozminuvannya-na-shodi-ukrajini.html>.

2. Almost half of the territory of Ukraine needs to be demined as a result of the war - DSNS. <https://www.unian.ua/war/viy-na-v-ukrajini-rozminuvati-treba-mayzhe-polovinu-teritoriji-ukrajini-dsns-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11781951.html>.

3. Ukraine is one of the most mined countries in the world. What to do with it? <https://www.bbc.com/ukrainian/features-61080365>.

4. More than 82,000 square kilometers of territory have been mined in Ukraine. <https://armyinform.com.ua/2022/03/24/v-ukrayini-zaminovano-ponad-82-tysyachi-kilometriv/>

5. Examination "hot spot" // Arm. Sat. No. 1, 2000. P. 34-38.

6. Polskikh N.L. Some conclusions on the results of the engineering support of peacekeeping forces during the Georgian-Abkhaz conflict // Arm. Sat. 1997. No. 1. P. 37-39.

7. Nyzhalovsky A.M. Mine war in Abkhazia // Arm. Sat. No. 1, 1999. P. 26-29.

8. Zhukov S.A. The experience of demining the area in the conditions of local military conflicts // Zarubezhnoe voonene obozrenie. No. 6, 1998. P. 14-19.

9. Zhukov S.A. The experience of demining the area in Bosnia and Herzegovina // Zarubezhnoe voonee obozrenie. No. 8, 1998. P. 18-22.

10. Features of humanitarian demining. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/29685254.html> (access date: 02/27/2020).

11. Prospective scheme of the organization of mine countermeasures in Ukraine. URL: <http://audm.org.ua/wpcontent/uploads/Shema-PMDU-perspektiva-1.pdf> (date of application: 03/04/2020).

12. International mine action standards: organization of the national program. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>.

13. Zverzhinsky S.S., Parfenov I.V. The method of magnetometric detection of explosive objects // Naukoemkie tehnologii. No. 5, 2001. P. 29-34.

14. Shcherbakov G.N. Detection of hidden objects: monograph. M.: Arbat-Inform, 2004. 144 p.

15. Shcherbakov G.N. New methods of detecting hidden objects: monograph. M.: OOO Elf IPR, 2011. 503 p.

16. Yasko V.A. The current state and prospects for the development of engineering weapons // Collection of scientific works / National Academy of the State Border Service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi. Khmelnytskyi: NADPSU, 2010. No. 52. 98-100.

17. Karev A., Raevsky V., Konyaev Yu., Rumyantsev A., Averchenko A. Mobile complex of detection of explosive substances. Technology of demining of XXI century // Electronics: Science. Technologies. Business, 2000. No. 1. P. 54-58.

18. Guslyakov O.M. Analysis of world experience in the use and development trends of military robotic complexes // Military technical collection / Academy of Ground Forces. Lviv: ASV, 2012. No. 1 (6). P. 120-126.
19. Shcherbakov G.N. Mine detection methods - applied to the problem of humanitarian demining. Relevance, problems // Special technology, 2003. No. 3. P. 24-31.
20. Mentus I. E. Effectiveness of engineering munitions: a study guide. Kamianets-Podilskyi: FVP PDATU, 2008. 80 p.
21. Salamakhin T. M. Combat effectiveness of engineering munitions and elements of the obstructed system: textbook. M.: VIA named after Kuibysheva, 1983. 424 p.
22. Final report on the execution of combat missions by sapper units of the Armed Forces of Ukraine in the Islamic Republic of Afghanistan as part of the Lithuanian Group for the Reconstruction of the Gore Province (HRP) for the period from November 2010 to November 2011. K.: General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2012. 47 p.
23. Zhukov S.A. Modern means of mine warfare // Zarubezhnoe voonee obozrenie. No. 5, 1997. P. 26-32.
24. Zhukov S.A. Modern means of mine warfare // Zarubezhnoe voonee obozrenie. No. 6, 1997. P. 25-31.
25. Mosov S.P., Gurak S.P. Robots and UAVs against mines. Defense Herald. No. 11, 2019.
26. Vorovich B.O. Ways to solve problematic issues of demining the territory of Ukraine. Collection of scientific articles of TsVSDI NUOU. Military-applied issues of system analysis and mathematical modeling. 24.03.2020.
27. Collection of materials for the study of combat experience of the Russian-Ukrainian war of 2022, Collection No. 4, 2022. P 70-71, 217-232.
28. Scientific and technical examination of the trophy sample of the POM-3 anti-personnel fragmentation mine and the engineering system of remote demining code "Zemledelie-I". Interim report: Kamianets-Podilskyi, 2022. 228 p.
29. Experience of the use of troops (forces) during the operation of the operational-strategic group of troops "Khortytsia" in the period from June 10 to July 1, 2022.: Kyiv, 2022. P 38.
30. Statistical survey based on the results of classes 7.4.1-7.4.2. URL: <https://adl.mil.gov.ua/mod/feedback/view.php?id=4452> (date of application: 06/03/2020).
31. The instruction on the rules for the behavior of servicemen in the area where there are explosive objects and compliance with mine safety measures, approved by the Order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine dated 04/19/2018. No. 161.
32. Kotsyruba V.I. Formulation of the problem and substantiation of the set of principles for building an adaptive demining system in conditions of resource limitations // Social development & Security / National University
33. "To Walk the Earth in Safety". URL: <https://www.state.gov/t/pm/rls/rpt/walkearth/2017/index.htm>.
34. Mine Action Strategy of the Swiss Confederation 2016 – 2019. URL: https://www.eda.admin.ch/dam/eda/en/documents/aussenpolitik/sicherheitspolitik/HMR-Strategie-2016-2019_EN.pdf.
35. Landmine and Cluster Munition Monitor. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/our-research/country-profiles.aspx>. Моніторинг касетних боєприпасів.
36. Humanitarian demining assistance and stockpiled conventional munitions assistance: authority; limitations. URL: <http://uscode.house.gov/browse/prelim@title10/subtitleA/part1/chapter20&edition=prelim>.
37. Netherlands, Support for Mine Action. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2018/netherlands/support-formine-action.aspx#ftnref2>.
38. United Kingdom, Support for Mine Action. URL: <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2018/unitedkingdom/support-for-mine-action.aspx>.
39. Clearing a path to development: The UK government's approach to landmines and explosive remnants of war in developing countries. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/260365/mine-action-policy.pdf
40. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>.
41. Demining robots – home. <http://www.natospdeminingrobots.com/>.
42. Demining Robots: Finding the right machine - Armtrac Ltd. <https://armtrac.net/demining-robots/demining-robots-finding-right-machine/>.

Doctor of Technical Sciences Kotsiuruba V.I., PhD Krivtsun V.I.,
PhD Miroshnichenko O.V., Solodeeva L.V.

**PROBLEM FORMULATION OF THE CREATION OF PROSPECTIVE REMOTE-
CONTROLLED DEMINING COMPLEXES ON THE BASE OF THE RESULTS ANALYSIS OF
COMBAT OPERATIONS IN UKRAINE**

The experience of conducting combat operations in modern military conflicts has shown that one of their dangerous consequences is the territory contamination with explosive objects, which pose a threat to both the military and the civilian population. At the same time, one of the main problems is the significant development rate excess of mine weapons compared to the development rate of mine countermeasures. Ukraine is not exception, which, due to the full-scale aggression of the Russian Federation, found itself among the most contaminated countries by explosive objects in the world, which in turn requires a large amount of time, forces and means for reconnaissance and demining of territories.

The analysis of the explosive objects use in the Russian Federation war against Ukraine shows the enemy use of all available mine weapons, including prohibited by international conventions. A characteristic feature of the enemy mining of terrain is the wide use of remote mining systems, random mining, new mining methods and the installation of explosive objects in an uncooperative state. The analysis of the available demining means in the Ukrainian Armed Forces engineering units shows their obsolescence and low efficiency, as well as the absence of remote-controlled demining complexes. At the same time, the main method of performing demining tasks both in the combat operations conditions and in their absence is manual, which poses a great danger to sappers. Therefore, the creation of remote-controlled demining complexes is an urgent task. The specified problem is proposed to solve through the development of new operation principles of promising remote-controlled demining complexes, the justification of possible options for use the standard portable means of explosive objects search on remote-controlled mobile platforms according to the concept "Front-line Sapper", the requirements justification for the structure and parameters of the specified complexes and the idea implementation of creating a database of technical images of known explosive objects on the basis of obtained experimental data on selected indicators (amplitude, period and signal frequency).

The article, based on the posed scientific problem formalization using a theoretical-multiple approach, provides a functioning model of a promising remote-controlled demining complex, taking into account the experience of the enemy explosive objects use during the Russian Federation war against Ukraine, the means characteristics of their search and destruction.

Keywords: combat operations; explosive objects; demining; remote-controlled demining complex.

НЕЛІНІЙНІ ПОПЕРЕЧНО-КУТОВІ КОЛИВАННЯ ПІДРЕСОРЕНОЇ ТА НЕПІДРЕСОРЕНОЇ ЧАСТИН КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ

Розроблено методикау аналітичного дослідження впливу нелінійних поперечно-кутових коливань системи підресорена-непідресорена частини на стійкість руху колісних транспортних засобів вздовж криволінійних ділянок шляху. Отримано систему нелінійних диференціальних рівнянь, які описують динаміку відносного руху вказаної системи та побудовано перше наближення її аналітичного розв'язку. Особливістю коливань вказаних частин є те, що їх власні частоти залежать від амплітуд. Тому динамічна взаємодія між підресореною та непідресореною частинами, а також дорожнім покриттям та шинами визначаються амплітудно-частотними характеристиками коливань вказаних частин які зумовлені нерівностями шляху. Використовуючи рівняння кінестатики системи непідресорена-підресорена частини, визначено сили динамічної взаємодії пружних коліс із дорожнім покриттям – базові співвідношення для оцінки стійкості руху. Встановлено: відносні коливання підресореної та непідресореної частин транспортного засобу значною мірою зменшують критичні значення швидкості стійкого руху на перекидання; критичне значення швидкості стійкого руху на перекидання є більшим для більших величин статичної деформації пружних елементів та шин, а також прогресивної характеристики пружних елементів.

Отримані основні результати можуть служити базою для створення програмного продукту адаптивних підвісок, а їх достовірність підтверджується отриманням у граничному випадку результатів, які стосуються більш простих – лінійних розрахункових моделей динаміки транспортних засобів.

Ключові слова: колісний транспортний засіб, системи підресорювання, адаптивні підвіски, нелінійні поперечно-кутові коливання, амплітудно-частотні характеристики коливань, рівняння кінестатики.

Вступ. Плавність ходу, стійкість руху, керованість, прохідність є основними експлуатаційними характеристиками колісних транспортних засобів (КТЗ) [1-7]. Вони визначаються силами взаємодії шин та дорожнього покриття, а також підресореної та непідресореної частин (ПЧ та НПЧ). Оцінка стійкості руху на базі “статичних” значень сил тиску шин на дорожнє покриття призводить до неточностей визначення критичних значень швидкості стійкого руху, керованості вздовж криволінійних ділянок шляху. Динамічна ж взаємодія коліс із дорожнім покриттям визначається коливаннями ПЧ та НПЧ, розподілом маси у транспортному засобі, станом шин та ін. Коливання вказаних частин КТЗ визначаються крім зовнішніх чинників (нерівностей шляху, які є однією із основних причин їх виникнення), силовими характеристиками системи підресорювання (СП) (пружними елементами та демпферними пристроями) та шин. У більшості КТЗ використовують СП у яких зв'язок між відновлювальними силами та деформаціями чи деформаціями та їх швидкостями описується нелінійними залежностями. Не дивлячись на це, базові аналітичні дослідження впливу на експлуатаційні характеристики закону зміни відновлювальних сил СП та пружних шин проведені для лінійних математичних моделей [8-14]. Що стосується аналітичних досліджень впливу нелінійної відновлювальної сили пружних елементів на плавність ходу, стійкість руху, керованість, прохідність, то проблема залишається відкритою через відсутність математичного апарату побудови аналітичних розв'язків нелінійних диференціальних рівнянь, які описують механічну систему ПЧ та НПЧ КТЗ. Чисельна симуляція ж вказаних нелінійних диференціальних рівнянь не дає можливості зробити узагальнених висновків через низку їх властивостей. Тому існує проблема вибору мінімально можливих розрахункових моделей, які з одного боку максимально відображали б вплив основних властивостей СП КТЗ та шин на динаміку ПЧ та НПЧ, а з іншого – мали баналітичний розв'язок. Саме часткове

розв'язання вказаної загальної проблеми стосовно стійкості руху КТЗ вздовж криволінійних ділянок шляху розкривається у роботі.

Аналіз останніх досліджень. Більшість КТЗ спроектовані так, щоб вони були симетричними відносно вертикальної площини, яка проходить через центр мас ПЧ та НПЧ, а отже поперечно-кутові коливання для них не залежать від поздовжньо-кутових і навпаки [15]. Вказане, певною мірою, служить для спрощення розрахункових, а від так математичних моделей динаміки КТЗ у залежності від проблеми яка розглядається. Так для дослідження керованості руху у достатньо розглядати відносні поздовжньо-кутові коливання системи ПЧ та НПЧ, плавності ходу та прохідності – поздовжньо-кутові та вертикальні, стійкості руху – поперечно кутові [16-22].

Одним з ефективних шляхів розв'язання вказаної вище проблеми є метод математичного моделювання динамічного процесу із отриманням аналітичного розв'язку математичної моделі. Проте аналітичні дослідження пов'язані із урахуванням динаміки ПЧ та НПЧ, пов'язані із побудовою розв'язків системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь. Отримати в загальному випадку для них аналітичні співвідношення, які були б базою для оцінки впливу амплітудно-частотної характеристики коливань ПЧ та НПЧ на основні експлуатаційні характеристики є проблемою яку неможливо вирішити математично. Тому у низці праць [17-20], для часткового вирішення існуючих проблем максимально спрощували розрахункові моделі, обмежившись тільки урахуванням коливань ПЧ. В той же час, навіть із аналізу лінійних математичних моделей [23-26] випливає, що коливання НПЧ КТЗ значно впливають на основні експлуатаційні характеристики під час руху вздовж шляху із нерівностями.

Інший підхід побудований на експериментальних дослідженнях [12,13] впливу тих чи інших чинників на динаміку ПЧ із нелінійною силовою характеристикою СП, не може дати відповіді на низку важливих питань, які стосуються, зокрема, резонансних процесів під час руху КТЗ вздовж ж шляху із впорядкованою системою нерівностей; впливу поодиноких нерівностей на частоту коливань адже остання залежить від амплітуди та ін. Крім того, експериментальні дослідження потребують значного матеріального та часового ресурсу. Таким чином, найбільш ефективним способами дослідження впливу динаміки ПЧ та НПЧ на експлуатаційні характеристики є ті, в основу котрих покладено поєднання аналітичних результатів досліджень коливань вказаних частин із базовими положеннями стійкості, керованості та плавності руху. Саме такий підхід розвивається у роботі при дослідженні стійкості руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки шляху із поодинокими нерівностями.

Метою статті є виведення аналітичних співвідношень, які визначають вплив на критичну швидкість стійкого руху основних параметрів, які описують силові характеристики СП, шин та динаміки ПЧ та НПЧ КТЗ для розрахункової схеми КТЗ (рис.1).

Опис умов: двовісний КТЗ із залежною підвіскою з нерозрізним мостом рухається криволінійною ділянкою шляху із низькочастотним дорожнім профілем зі сталими швидкістю V та радіусом кривини ділянки шляху ρ .

Необхідно визначити критичні значення швидкості стійкого руху з огляду на занесення і перекидання із урахуванням коливань ПЧ та НПЧ. За розрахункову схему КТЗ приймається двомасова плоска система (рис.1): підресорена частина (ПЧ) - 1, непідресорена частина (НПЧ) - 2. Відносний рух вказаних частин здійснюється у вертикальній площині, а взаємодіють між собою вказані частини за рахунок пружних елементів (3) та демпферних пристроїв (4). Із дорожнім покриттям КТЗ взаємодіє шиною (5). Вважається, що переміщення центрів мас ПЧ та НПЧ за рахунок наїзду коліс правого чи лівого бортів є значно меншими за переміщення всіх інших точок відповідних частин. Така “мінімальна модель”, як буде показано нижче, дозволяє отримати аналітичну залежність для визначення впливу коливань ПЧ та НПЧ на стійкість руху, а в подальшому може бути узагальнена і досліджена на інших експлуатаційних характеристиках. Щодо пружних властивостей шин (F_{1i}) і пружних елементів (F_{2i}), то вони залежать від їх деформацій, в подальшому приймемо

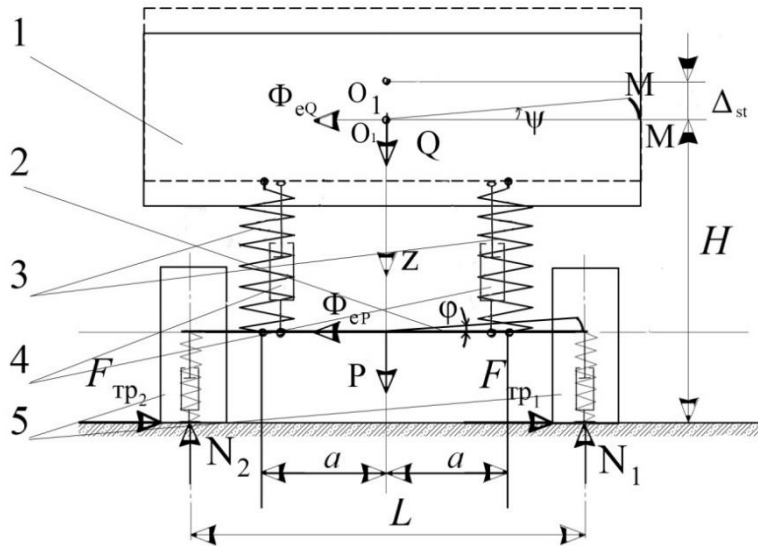


Рисунок 1 - Розрахункова схема КТЗ

ці деформації як $(\Delta_{1i}, \Delta_{2i})$ і описуються вони відповідно залежностями $F_{1i} = c_1(\Delta_{1i})^{v_1+1}$ та $F_{2i} = c_2(\Delta_{2i})^{v_2+1}$, а сили в'язкого тертя шин та демпферних пристроїв пропорційні до швидкості їх деформацій $\dot{\Delta}_{1i}$ чи $\dot{\Delta}_{2i}$ у степені $2s_i + 1$: $R_{1i} = \alpha_1(\dot{\Delta}_{1i})^{2s_1+1}$, $R_{2i} = \alpha_2(\dot{\Delta}_{2i})^{2s_2+1}$ ($i = 1$ для шин, пружних елементів і демпферних пристроїв правого борта і відповідної $= 2$ - лівого борта, c_1 , c_2 , α_1 , α_2 - відомі сталі). Щодо параметрів v_1 та v_2 , які вказують на відхилення пружних властивостей шин і пружних елементів від лінійного закону, то вони додатково повинні задовольняти умовам існування у ПЧ та НПЧ коливального процесу. Це буде справджуватись якщо $v_s + 1 = \frac{2m_s + 1}{2n_s + 2}$, $m_s, n_s = 0, 1, 2, \dots$. За допомогою вказаних функцій вдається описати силові характеристики шин та пружних елементів широкого спектру КТЗ.

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання поставленої задачі перш за все необхідно описати динаміку відносного руху вказаних частини КТЗ. За наведених вище припущень математична модель відносного руху має два ступені вільності (свободи). За узагальнені координати для неї приймаються кути повороту відповідних частин навколо поздовжніх осей які проходять через центри мас відповідних частин у відносному статичному їх положенні: $\varphi(t)$ - непідресореної частини, $\psi(t)$ - підресореної частини. Для того щоб отримати узагальнені сили, які відповідають вказаним узагальненим координатам перш за все

визначимо статичні деформації вказаних частин: $\Delta_{1st.} = \left(\frac{P+Q}{2c_1} \right)^{\frac{1}{v_1+1}}$ - статична деформація шин;

$\Delta_{2st.} = \left(\frac{Q}{2c_2} \right)^{\frac{1}{v_2+1}}$ - статична деформація пружних елементів, P та Q - ваги відповідно НПЧ та ПЧ. Тоді деформації шин правого і лівого бортів у довільний момент часу приймають значення

$$\Delta_{11} = \Delta_{1st.} - \frac{L}{2} \varphi(t), \quad \Delta_{12} = \Delta_{1st.} + \frac{L}{2} \varphi(t).$$

Подібним чином знаходимо деформації пружних елементів правого та лівого бортів у довільний момент часу. Таким чином, узагальнені сили які відповідають прийнятим

узагальненим координатам двомасової системи яка розглядається приймають вигляд системи рівнянь (1)

$$\begin{aligned} Q_{\varphi} &= -c_2 a (\Delta_{st.} - \psi a - \Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} - c_2 a (\Delta_{st.} + \psi a - \Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} - c_1 \frac{L}{2} \left(\Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} + c_1 \frac{L}{2} \left(\Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} \\ Q_{\psi} &= c_2 (\Delta_{st.} - \psi(t)a - \Delta_{1st.} + \varphi(t) \frac{L}{2})^{v_2+1} - c_2 (\Delta_{st.} + \psi(t)a - \Delta_{1st.} - \varphi(t) \frac{L}{2})^{v_2+1}, \end{aligned} \quad (1)$$

а від так диференційні рівняння відносного руху прийнятої розрахункової моделі набувають наступного вигляду:

$$\begin{aligned} I_{c1} \ddot{\varphi} &= -c_2 a \left\{ (\Delta_{st.} - \psi a - \Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} + (\Delta_{st.} + \psi a - \Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} \right\} - c_1 \frac{L}{2} \left\{ \left(\Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} - \left(\Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} \right\} \\ I_c \ddot{\psi} &= c_2 a (\Delta_{st.} - \psi a - \Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} - c_2 a (\Delta_{st.} + \psi a - \Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} + R_{\psi}(\dot{\psi}, \varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

I_c , I_{c1} моменти інерції ПЧ та НПЧ КТЗ відносно поздовжніх осей, які проходять через їх центри мас, $R_{\psi}(\dot{\psi}, \varphi)$ та $R_{\varphi}(\dot{\varphi}, \psi)$ - відповідно моменти сил опору демпферних пристроїв та в'язких сил шин відносно вказаних вище осей.

Для знаходження динамічного тиску шин на опорну поверхню перш за все необхідно знайти амплітудно-частотну характеристику двомасової системи що розглядається, а це пов'язано із побудовою аналітичного розв'язку системи диференціальних рівнянь (2).

Методика побудови аналітичного розв'язку математичної моделі системи ПЧ та НПЧ КТЗ. Базою для побудови наближеного аналітичного розв'язку системи диференціальних рівнянь є наступні фізично обґрунтовані положення, які мають місце для руху КТЗ вздовж довільних ділянок шляху: а) максимальні значення сил опору демпферних пристроїв СП є значно меншими від максимальних значень сил пружних елементів; б) коефіцієнти "жорсткості" шин є значно більшими ніж відповідні коефіцієнти пружних елементів, тобто $c_1 \gg c_2$. Це впливає із того, що для всіх КТЗ статичні деформації шин є значно меншими від статичних деформацій СП. Наведене дозволяє представити систему диференціальних рівнянь (2) не змінюючи її точності у вигляді:

$$\begin{aligned} I_{c1} \ddot{\varphi} + c_1 L \left(\varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} &= c_2 a \left\{ (\Delta_{st.} - \psi a - \Delta_{1st.} + \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} + (\Delta_{st.} + \psi a - \Delta_{1st.} - \varphi \frac{L}{2})^{v_2+1} \right\} + R_{\varphi}(\dot{\varphi}, \psi) \\ I_c \ddot{\psi} + 2c_2 a (\psi a)^{v_2+1} &= 2c_2 a (v_2 + 1) (\psi a)^{v_2} \varphi L + R_{\psi}(\dot{\psi}, \varphi, z). \end{aligned} \quad (3)$$

Виходячи із наведеної порівняльної оцінки основних характеристик СП та пружних шин впливає, що максимальні значення правих частин системи диференціальних рівнянь (3) є значно меншими від максимальних значень відповідних других доданків лівих частин. Останнє є обґрунтуванням застосування загальних ідей методів збурень [27, 28] під час побудови розв'язку системи нелінійних рівнянь (3).

Власні коливання незбуреного руху ПЧ та НПЧ КТЗ. Ефективність застосування методів збурень нелінійних диференціальних рівнянь залежить від можливості побудови і розв'язку відповідної системи незбурених рівнянь. Для випадку, що розглядається це нелінійні диференціальні рівняння (4):

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi} + \frac{c_1 L}{I_{c1}} \left(\varphi \frac{L}{2} \right)^{v_1+1} &= 0, \\ \ddot{\psi} + \frac{2c_2 a}{I_c} (\psi a)^{v_2+1} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Їх розв'язки виражаються [17, 18] через періодичні Атеб-функції [29-31] у вигляді системи (5):

$$\varphi = a_\varphi \left\{ \begin{array}{l} sa \left(v_1 + 1,1, \omega_\varphi(a_\varphi) t + \gamma_0 \right) \\ ca \left(v_1 + 1,1, \omega_\varphi(a_\varphi) t + \bar{\gamma}_0 \right) \end{array} \right\}, \vartheta_\varphi = \omega_\varphi(a_\varphi) t + \gamma,$$

$$\psi = a_\psi \left\{ \begin{array}{l} sa \left(v_2 + 1,1, \omega_\psi(a_\psi) t + \phi_0 \right) \\ ca \left(v_2 + 1,1, \omega_\psi(a_\psi) t + \bar{\phi}_0 \right) \end{array} \right\}, \vartheta_\psi = \omega_\psi(a_\psi) t + \phi, \quad (5)$$

у яких a_ψ , a_φ , ϑ_ψ , ϑ_φ відповідно амплітуди та фази коливань незбуреного руху ПЧ та НПЧ, ϕ , γ - початкові фази незбуреного руху. Що стосується власних частот $\omega_\psi(a_\psi)$, $\omega_\varphi(a_\varphi)$, то вони як і для більшості нелінійних коливних систем залежать від амплітуд відповідних частин і приймають значення:

$$\omega_\psi(a_\psi) = \sqrt{\frac{(v_2 + 2)c_2 a^{v_2 + 2}}{I_C}} a_\psi^{\frac{v_2}{2}}, \quad \omega_\varphi(a_\varphi) = \sqrt{\frac{2(v_1 + 2)c_1 \left(\frac{L}{2}\right)^{v_2 + 2}}{I_{C1}}} a_\varphi^{\frac{v_1}{2}}.$$

Для інженерного використання більш зручними є залежності для частот від амплітуд відповідних частин, які враховують статичні деформації пружних елементів. Тому якщо, використати вказані параметри, які характеризують пружні елементи СП та шини, отримуємо наступне співвідношення:

$$\omega_\psi(a_\psi) = \sqrt{\frac{(v_2 + 2)Qa \left(\frac{a}{\Delta_{st}}\right)^{v_2 + 1}}{2I_C}} a_\psi^{\frac{v_2}{2}}, \quad \omega_\varphi(a_\varphi) = \sqrt{\frac{(v_1 + 2)L(P + Q) \left(\frac{L}{2\Delta_{1st}}\right)^{v_1 + 1}}{2I_{C1}}} a_\varphi^{\frac{v_1}{2}} \quad (6)$$

На рис.2, рис.3 представлено залежності власних частот коливань у герцах ($f_\psi = \frac{1}{2\pi_2} \omega_\psi(a_\psi)$, $f_\varphi = \frac{1}{2\pi_1} \omega_\varphi(a_\varphi)$, $\pi_1 = \sqrt{\pi} \Gamma\left(\frac{1}{v_1 + 2}\right) \Gamma^{-1}\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{v_1 + 2}\right)$) від амплітуд відповідних частин за різних значень статичних деформацій ПЧ та НПЧ при наступних параметрах КТЗ $Q = 40000$ Н, $P = 5000$ Н, $L = 2.5$ м. $I_{C1} = 2000$ кг · м², $I_C = 10000$ кг · м².

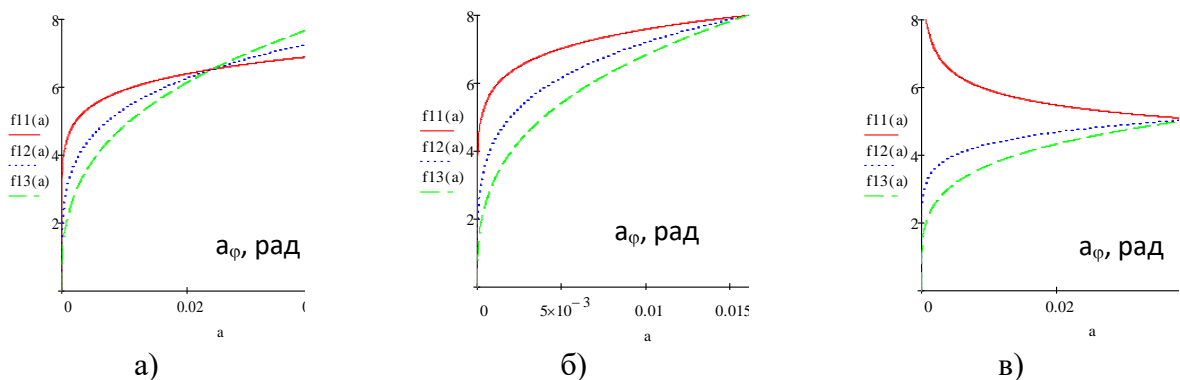


Рисунок 2 - Залежність частоти поперечно-кутових коливань НПЧ від її амплітуди коливань при

$$\begin{aligned} \text{а) } \nu_1 &= \frac{2}{9} \text{ черв, } \nu_1 = \frac{4}{9} \text{ синє, } \nu_1 = \frac{2}{3} \text{ зелен, } \Delta_{1st} = 0.03\text{м;} \\ \text{б) } \nu_1 &= \frac{2}{9} \text{ черв, } \nu_1 = \frac{4}{9} \text{ синє, } \nu_1 = \frac{2}{3} \text{ зелен, } \Delta_{1st} = 0.02\text{м;} \\ \text{в) } \nu_1 &= \frac{-2}{9} \text{ черв, } \nu_1 = \frac{2}{9} \text{ синє, } \nu_1 = \frac{4}{3} \text{ зелен, } \Delta_{1st} = 0.05\text{м.} \end{aligned}$$

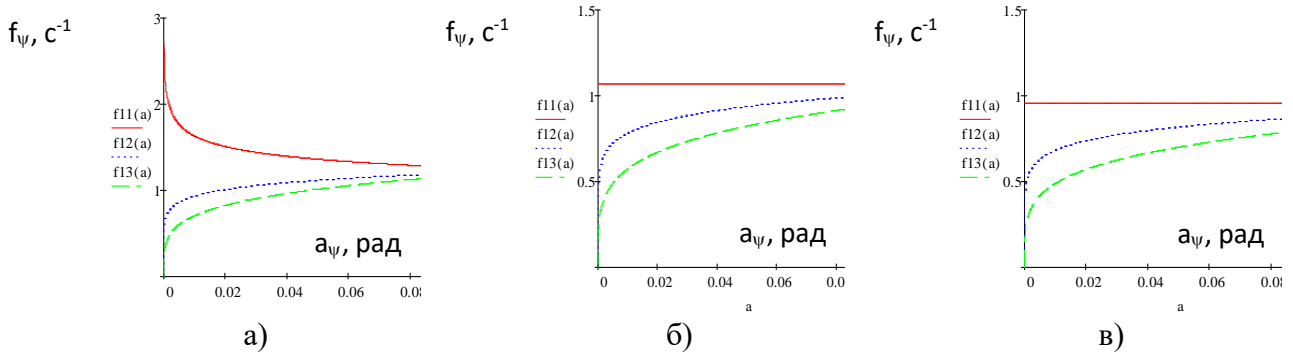


Рисунок 3 - Залежність частоти поперечно-кутових коливань ПЧ від її амплітуди коливань

$$\begin{aligned} \text{а) } \nu_2 &= \frac{-2}{9} \text{ черв } \nu_2 = \frac{2}{9} \text{ синє } \nu_2 = \frac{4}{3} \text{ зелен } \Delta_{st} = 0.15\text{м;} \\ \text{б) } \nu_2 &= \frac{0}{9} \text{ черв } \nu_2 = \frac{2}{9} \text{ синє } \nu_2 = \frac{4}{9} \text{ зелен } \Delta_{st} = 0.2\text{м;} \\ \text{в) } \nu_2 &= \frac{0}{9} \text{ черв } \nu_2 = \frac{2}{9} \text{ синє } \nu_2 = \frac{4}{9} \text{ зелен } \Delta_{st} = 0.25\text{м.} \end{aligned}$$

Представлені результати показують, що для регресивних характеристик СП та пружних шин для більших величин амплітуд коливань власні частоти відповідних частин є меншим і одночасно для прогресивних – більшими, одночасно для більших величин статичних деформацій власні частоти є меншими.

Співвідношення (5), (6) є одночасно базою для визначення впливу демпферних пристроїв та сил в'язкого тертя на амплітудно-частотну характеристику коливань ПЧ та НПЧ КТЗ, а також величин початкових значень амплітуд коливань підресореної та невідресореної частин.

Методика визначення впливу сил демпферних пристроїв СП та в'язко-пружних сил шин на амплітудно-частотну характеристику коливань КТЗ. Отриманий у зв'язок між частотами власних коливань ПЧ та НПЧ та їх амплітудами не враховує впливу сил опору демпферних пристроїв СП та в'язко-пружних сил шин. Як показано у [29], за малого максимального значення вказаних та іншої природи нелінійних сил у порівнянні із максимальним значенням відновлювальної сили амплітуда та частота коливального процесу є повільно-змінною функцією часу. Для знаходження законів зміни в часі цих функцій узагальнимо основні ідеї методу Ван-дер-Поля на систему диференціальних рівнянь (3). Це дозволяє розв'язок розглядуваної системи нелінійних диференціальних рівнянь шукати у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi &= a_\varphi(t) \text{sa}(\nu_1 + 1, 1, \vartheta_\varphi(t)), \dots \vartheta_\varphi(t) = \omega_\varphi(a_\varphi) t + \gamma(t), \\ \psi &= a_\psi(t) \text{sa}(\nu_2 + 1, 1, \vartheta_\psi(t)), \quad \vartheta_\psi(t) = \omega_\psi(a_\psi) t + \phi(t), \end{aligned} \quad (7)$$

де невідомі функції часу $a_\varphi(t)$, $a_\psi(t)$, $\vartheta_\varphi(t)$, $\vartheta_\psi(t)$ знаходяться так, щоб співвідношення (7) задовольняло вихідній системі диференціальних рівнянь (3).

Примітка. У залежностях (7) та нижче за розв'язок незбурених рівнянь (4) приймаються перші (верхні) залежності співвідношень (5). Це не накладає якісь обмеження на методику знаходження невідомих функцій $a_\varphi(t)$, $a_\psi(t)$, $\vartheta_\varphi(t)$, $\vartheta_\psi(t)$.

Щоб знайти закони зміни вказаних невідомих функцій шляхом диференціювання співвідношень (6) за часом перш за все, знайдемо із урахуванням наведеного, похідні за часом функцій, які будуть описувати збурений рух обох частин КТЗ – система рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{da_\varphi}{dt} sa(v_1+1,1, \vartheta_\varphi(t)) + \frac{2a_\varphi}{v_1+2} \frac{d\vartheta_\varphi(t)}{dt} ca(1, v_1+1, \vartheta_\varphi(t)), \\ \frac{d\psi}{dt} &= \frac{da_\psi}{dt} sa(v_2+1,1, \vartheta_\psi(t)) + \frac{2a_\psi}{v_2+2} \frac{d\vartheta_\psi(t)}{dt} ca(1, v_2+1, \vartheta_\psi(t)). \end{aligned} \quad (8)$$

Наступним диференціюванням за часом наведених залежностей знаходимо $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ та

$\frac{d^2\psi}{dt^2}$ таке співвідношення:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} &= -\frac{2\omega_\varphi^2(a_\varphi)}{v_1+2} a_\varphi sa^{v_1+1}(v_1+1,1, \vartheta_\varphi(t)) - \frac{2}{v_1+2} \frac{da_\varphi}{dt} \left[\omega_\varphi(a_\varphi) + a \frac{d\omega_\varphi(a_\varphi)}{da_\varphi} \right] ca(1, v_1+1, \vartheta_\varphi) \\ &\quad - \frac{2\omega_\varphi(a_\varphi)}{v_1+2} \frac{d\gamma}{dt} a_\varphi sa(v_1+1,1, \vartheta_\varphi(t)) \\ \frac{d^2\psi(t)}{dt^2} &= -\frac{2\omega_\psi^2(a_\psi)}{v_2+2} a_\psi sa^{v_2+1}(v_2+1,1, \vartheta_\psi(t)) - \frac{2}{v_2+2} \frac{da_\psi}{dt} \left[\omega_\psi(a_\psi) + a \frac{d\omega_\psi(a_\psi)}{da_\psi} \right] ca(1, v_2+1 \\ &\quad - \frac{2\omega_\psi(a_\psi)}{v_2+2} \frac{d\phi}{dt} a_\psi sa(v_2+1,1, \vartheta_\psi(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

У співвідношеннях (8) враховано, що відповідно до методу Ван-дер-Поля мають справджуватись співвідношення: $\frac{da_\psi}{dt} ca(v_2+1,1, \vartheta_\psi(t)) - \frac{2}{v_2+2} \frac{d\phi}{dt} sa(1, v_2+1, \vartheta_\psi(t)) = 0$ та

$\frac{da_\varphi}{dt} ca(v_1+1,1, \vartheta_\varphi(t)) - \frac{2}{v_1+2} \frac{d\gamma}{dt} sa(1, v_1+1, \vartheta_\varphi(t)) = 0$. Крім цього, безпосередньою перевіркою

переконуємось, що для коливань ПЧ та НПЧ КТЗ власні частоти у випадку, коли пружні властивості елементів системи підвіски описуються розглядуваним типом нелінійностей,

задовольняють тотожностям $\omega_\psi(a_\psi) + a_\psi \frac{d\omega_\psi(a_\psi)}{da_\psi} \equiv \frac{v_2+2}{2} \omega_\psi(a_\psi)$ та

$\omega_\varphi(a_\varphi) + a_\varphi \frac{d\omega_\varphi(a_\varphi)}{da_\varphi} \equiv \frac{v_1+2}{2} \omega_\varphi(a_\varphi)$. Наведене у сукупності дозволяє отримати звичайні

диференціальні рівняння для визначення закону зміни амплітуд затухаючих коливань ПЧ та НПЧ

$$\begin{aligned}
\frac{da_\varphi}{dt} &= \frac{ca(1, v_1 + 1, \vartheta_\varphi)}{I_{c_1} \omega_\varphi(a_\varphi)} f_\varphi(a_\psi, a_\varphi, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi), \\
\frac{d\vartheta_\varphi}{dt} &= \omega_\varphi(a_\varphi) + \frac{2sa^{v_1+1}(v_1 + 1, 1, \vartheta_\varphi)}{a_\varphi(v_1 + 2)\omega_\varphi(a_\varphi)I_{c_1}} f_\varphi(a_\psi, a_\varphi, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi) \\
\frac{da_\psi}{dt} &= \frac{ca(1, v_2 + 1, \vartheta_\psi)}{I_c \omega_\psi(a_\psi)} f_\psi(a_\psi, a_\varphi, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi), \\
\frac{d\vartheta_\psi}{dt} &= \omega_\psi(a_\psi) + \frac{2sa^{v_2+1}(v_2 + 1, 1, \vartheta_\psi)}{a_\psi(v_2 + 2)\omega_\psi(a_\psi)I_c} f_\psi(a_\psi, a_\varphi, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi),
\end{aligned} \tag{10}$$

де функції $f_\varphi(a_\psi, a_\varphi, a_z, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi, \vartheta_z)$ та $f_\psi(a_\psi, a_\varphi, a_z, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi, \vartheta_z)$ відповідають значенням правих частин диференціальних (3) за умови, що в них $\varphi(t)$ та $\psi(t)$ і їх похідні визначаються відповідно до залежностей (6), (7).

Отримані залежності показують що: а) за деяких кінематичних параметрів системи ПЧ-НПЧ та силових характеристик підвіски та шин у розглядуваній моделі динаміки КТЗ можливий внутрішній резонанс [32]. Це питання може бути предметом окремих досліджень; б) амплітуди коливань ПЧ та НПЧ за період коливань підресорених чи не підресорених частин змінюються на малу величину. Вказане є підставою для усереднення за фазами коливань $\vartheta_\psi, \vartheta_\varphi$ правих частин рівнянь (10), отримуємо

$$\begin{aligned}
\frac{da_\psi}{dt} &= -\frac{(\alpha_2)a_\psi \left(\frac{2a_\psi \omega_\psi(a)}{(v_2 + 2)} \right)^{2s_2}}{\Pi_2 I_c} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{v_2 + 2}\right) \Gamma\left(\frac{2s_2 + 2}{2}\right)}{2\Gamma\left(\frac{1}{v_2 + 2} + \frac{2s_2 + 2}{2}\right)}, \\
\frac{d\vartheta_\psi}{dt} &= \sqrt{\frac{(v_2 + 2)c_2 a^{v_2+2}}{I_c}} a_\psi^{\frac{v_2}{2}}, \\
\frac{da_\varphi}{dt} &= -\frac{(\alpha_2)a_\varphi \left(\frac{2a_\varphi \omega_\varphi(a_\varphi)}{(v_1 + 2)} \right)^{2s_1}}{\Pi_1 I_{c_1}} \frac{\Gamma\left(\frac{1}{v_1 + 2}\right) \Gamma\left(\frac{2s_1 + 2}{2}\right)}{2\Gamma\left(\frac{1}{v_1 + 2} + \frac{2s_1 + 2}{2}\right)}, \\
\frac{d\vartheta_\varphi}{dt} &= \sqrt{\frac{(v_1 + 2)c_1 a^{v_1+2}}{I_{c_1}}} a_\varphi^{\frac{v_1}{2}}.
\end{aligned} \tag{11}$$

Таким чином, для першого наближення коливальний процес системи ПЧ та НПЧ описується залежностями (6) у яких параметри $a_\psi, a_\varphi, \vartheta_\psi, \vartheta_\varphi$ зв'язані системою диференціальних рівнянь першого порядку (11). Для однозначного описання його необхідно додатково вказати для диференціальних рівнянь (11) початкові умови.

Відомо, що причиною коливань ПЧ та НПЧ є нерівності шляху. Вважається, що відстань між ними є такою, що після подолання транспортним засобом однієї із них завдяки наявним демпферним пристроям та силам в'язкого тертя шин у момент контакту шини із наступною нерівністю коливання обох частин припиняються. Це дозволяє за початкові умови для системи диференціальних рівнянь вибирати ті, які узгоджуються із "реакцією" шини у момент контакту її із нерівністю. Приймаючи до уваги, що під час руху КТЗ:

- шина безвідривно контактує із нерівністю шляху;
- нерівність шляху незначної довжини;

- транспортний засіб рухається зі сталою за величиною швидкістю V (швидкість переносного руху КТЗ)

- із достатнім ступенем точності можна вважати, що відносна складова швидкості НПЧ КТЗ у момент наїзду колеса на нерівність рівна проекції швидкості руху КТЗ на вертикаль.

Таким чином, базою для визначення початкової амплітуди поперечно-кутових коливань є співвідношення: $V \sin \beta = \frac{L}{2} \frac{d\varphi}{dt} \Big|_{t=0}$, β - кут нахилу до горизонтально ділянки шляху

дотичної до нерівності у точці контакту шини і нерівності. Приймаючи до уваги залежності (6) - (8) та наведене вище отримуємо

$$\frac{L}{2} \left\{ \frac{da_\varphi}{dt} sa(v_1 + 1, \omega_\varphi(a_\varphi)t) + \frac{2a_\varphi}{v_1 + 2} \omega_\varphi(a_\varphi) ca(1, v_1 + 1, \omega_\varphi(a_\varphi)t) \right\} \Big|_{t=0} = V \sin \beta. \quad (12)$$

Алгебраїчне рівняння (12) дозволяє визначити початкове значення амплітуди коливань НПЧ КТЗ зумовлене нерівністю шляху

$$a_{\varphi|t=0} = \left\{ \frac{1}{L} V \sin \beta \sqrt{\frac{2(v_1 + 2)I_{C1}}{L(P+Q)} \left(\frac{2\Delta_{1st}}{L} \right)^{v_1+1}} \right\}^{\frac{2}{v_1+2}} \quad (13)$$

Подібним чином і знаходиться початкове значення амплітуди поперечно-кутових коливань підресореної частини. Умовою для її знаходження є рівність швидкостей точок приєднання пружних елементів до НПЧ та ПЧ у початковий момент часу. Отримуємо:

$$a_{\psi|t=0} = \left\{ \frac{V \sin \beta}{L} \sqrt{\frac{2(v_2 + 2)I_C}{Q} \left(\frac{\Delta_{st}}{a} \right)^{v_2+1}} \right\}^{\frac{2}{v_2+2}} \quad (14)$$

Таким чином, АЧХ коливань ПЧ та НПЧ описується звичайними диференціальними рівняннями (11) за початкових умов (13) та (14).

Методика визначення впливу коливань ПЧ та НПЧ на критичне значення швидкості стійкого руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки шляху

Критичні значення швидкості стійкого руху з огляду на перекидання визначаються величиною динамічної взаємодії шин із дорожнім покриттям. Базою для аналітичної оцінки вказаної взаємодії можуть служити рівняння кінетостатики системи ПЧ та НПЧ та отримані вище аналітичні співвідношення, які описують кінематику відносного руху вказаних частин. Щодо рівнянь кінетостатики розглядуваної системи, то вони для випадку руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки зі сталою за величиною швидкістю приймають вигляд

$$\begin{aligned} N_1 + N_2 - P - Q &= 0, \\ F_1 + F_2 - \Phi_P - \Phi_Q &= 0, \\ N_1 L - (P + Q) \frac{L}{2} + M_{KQ}^\Phi + M_{KP}^\Phi + \Phi_P H_{C1} + \Phi_Q H_C &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

де Φ_Q, Φ_P - головні вектори сил інерції переносного руху ПЧ та НПЧ; M_{KQ}^Φ, M_{KP}^Φ - головні моменти сил інерції вказаних частин відносно точки контакту шини лівого борта та дорожнього покриття; N_i та F_i - відповідно вертикальні та горизонтальні складові дії дорожнього покриття на колесо правого ($i = 1$) чи лівого ($i = 2$) бортів; H_{C1}, H_C віддалі до дорожнього покриття центрів мас не підресореної та підресореної частин.

Відповідно до визначення головні вектори сил інерції переносного руху ПЧ та НПЧ рівні $\Phi_Q = \frac{Q}{g} \frac{V^2}{\rho}$, $\Phi_P = \frac{P}{g} \frac{V^2}{\rho}$ - головні ж моменти сил інерції ПЧ та НПЧ визначаються залежностями

$$\begin{aligned} M_{K,Q}^{\Phi} &= I_{K,Q} \frac{d^2\psi}{dt^2} = I_{K,Q} \frac{2\omega_{\psi}^2(a_{\varphi})}{v_2+2} a_{\psi} s a^{v_2+1} (v_2+1, 1, \vartheta_{\psi}), \\ M_{K,P}^{\Phi} &= I_{K,P} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = I_{K,P} \frac{2\omega_{\varphi}^2(a_{\varphi})}{v_1+2} a_{\varphi} s a^{v_1+1} (v_1+1, 1, \vartheta_{\varphi}), \end{aligned} \quad (16)$$

де $I_{K,Q}$, $I_{K,P}$ - моменти інерції ПЧ та НПЧ відносно точки контакту шини лівого борту і дорожнього покриття: $I_{K,Q} = I_C + \frac{Q}{g} \left(H_C^2 + \frac{L^2}{4} \right)$, $I_{K,P} = I_{C_1} + \frac{P}{g} \left(H_{C_1}^2 + \frac{L^2}{4} \right)$. Якщо підставити вказані значення сил інерції та їх моментів у рівняння кінетостатики обмежившись у них максимальними значеннями, отримуємо

$$\begin{aligned} N_1 + N_2 - P - Q &= 0, \\ F_1 + F_2 - \frac{V^2}{\rho} \left(\frac{P}{g} + \frac{Q}{g} \right) &= 0, \\ N_1 L - (P+Q) \frac{L}{2} + I_{K,Q} \frac{2\omega_{\psi}^2(a_{\varphi})}{v_2+2} a_{\psi} + I_{K,P} \frac{2\omega_{\varphi}^2(a_{\varphi})}{v_1+2} a_{\varphi} + \frac{V^2}{\rho} \left(\frac{P}{g} H_{C_1} + \frac{Q}{g} H_C \right) &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Отримані вище співвідношення є базовими для визначення критичних значень швидкості стійкого руху з огляду на перекодування та зсув.

Умовою для визначення критичної швидкості з огляду на перекидання трансформованою для розглядуваної розрахункової моделі є $N_1 = 0$. Із урахуванням вказаного отримуємо

$$V = \sqrt{\frac{(P+Q) \frac{L}{2} - I_{K,Q} \frac{2\omega_{\psi}^2(a_{\varphi})}{v_2+2} a_{\psi} - I_{K,P} \frac{2\omega_{\varphi}^2(a_{\varphi})}{v_1+2} a_{\varphi}}{P H_{C_1} + Q H_C}} \rho g \quad (18)$$

Окремим випадком отриманої залежності при $a_{\varphi} = 0$ є критичне значення швидкості стійкого руху з огляду на перекидання без урахування коливань НПЧ. На рис. 4. представлено, відповідно до залежності (18), залежність критичної з огляду на перекидання швидкості стійкого руху.

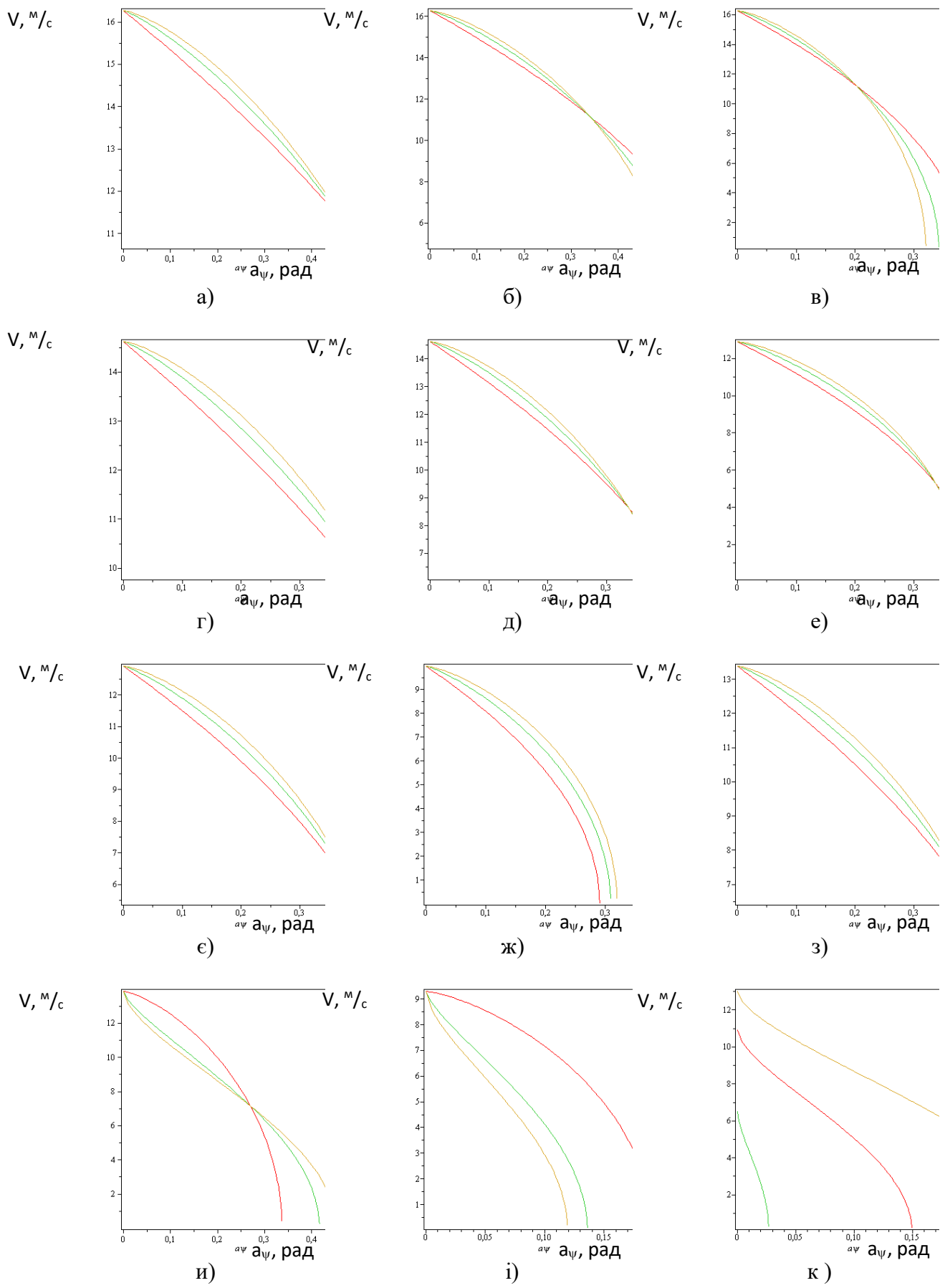


Рисунок 4 - Залежність критичного значення швидкості від амплітуди коливань ПЧ за різних силових характеристик СП та пружних шин

- а) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.35\text{м}$, $a_\varphi = 0$, $\Delta_1 = 0.01\text{м}$;
- б) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зел, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.25\text{м}$, $a_\varphi = 0$, $\Delta_1 = 0.01\text{м}$;
- в) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.15\text{м}$, $a_\varphi = 0$, $\Delta_1 = 0.03\text{м}$;
- г) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.3\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.05\text{м}$;
- д) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.25\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.05\text{м}$;
- е) $v_2 = 0$ черв $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене $v_2 = \frac{2}{3}$ корич $v_1 = \frac{2}{7}$ $\Delta = 0.3\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.03\text{м}$;
- ж) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.3\text{м}$, $a_\varphi = 0,015$, $\Delta_1 = 0.03\text{м}$;
- з) $v_2 = 0$ черв, $v_2 = \frac{2}{9}$ зелене, $v_2 = \frac{2}{3}$ корич, $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.3\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.05\text{м}$;
- и) $v_2 = \frac{2}{3}$ черв, $v_2 = \frac{-2}{7}$ зелене, $v_2 = \frac{-2}{5}$ корич, $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.2\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.04\text{ м}$;
- і) $v_2 = \frac{2}{3}$ черв, $v_2 = \frac{-2}{7}$ зелене, $v_2 = \frac{-2}{5}$ корич, $v_1 = \frac{-2}{7}$, $\Delta = 0.2\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.04\text{ м}$;
- к) $v_2 = \frac{-2}{5}$, $v_1 = 0$ черв, $v_1 = \frac{2}{11}$ зелене, $v_1 = \frac{-2}{11}$ корич, $\Delta = 0.15\text{м}$, $a_\varphi = 0,01$, $\Delta_1 = 0.06\text{ м}$.

Представлені графічні залежності показують, що критичне значення швидкості з огляду на перекидання:

- без урахування коливань НПЧ є більшим для СП із більшою величиною статичної деформації пружних елементів. Збільшення статичної деформації пружних елементів від 0.15 м. до 0.25 м. спричиняє зростання критичної швидкості на 27% при амплітуді коливань $a_\psi = 0.2$ рад і $v_2 = \frac{2}{9}$, а при $a_\psi = 0.3$ рад - на 35%;

- із більшим значенням параметру нелінійності v_2 для малих амплітуд коливань є меншим і більшим для “великих” амплітуд коливань ПЧ;

- для СП із прогресивним законом зміни відновлювальної сили для малих амплітуд коливань є більшим як із лінійним за одних і тих же значень статичної деформації, а для великих навпаки. При амплітуді коливань ПЧ $a_\psi = 0.1$ рад і статичній деформації ПЧ 0.25 м.

критичне значення швидкості стійкого руху при $v_2 = \frac{2}{3}$ є на 5% більшим як для СП із лінійним законом, а при $a_\psi = 0.4$ рад - меншим на 11%.

Що стосується впливу коливань НПЧ та статичної деформації шини то:

- збільшення статичної деформації шини з 0.03 м до 0.05 м спричиняє зростання критичної швидкості руху при $a_\psi = 0.1$ рад $a_\varphi = 0.01$ рад на 9% ($v_2 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.3\text{м}$), а при $a_\psi = 0.2$ рад. і $a_\varphi = 0.01$ рад на 29%;

- зростання амплітуди коливань НПЧ спричиняє зменшення критичної швидкості стійкого руху. Зростання a_{ϕ} від 0.01 рад до 0.015 рад спричиняє зменшення критичної швидкості на 35% при $a_{\psi} = 0.1$ рад, $v_2 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.3$ м, $\Delta_1 = 0.05$ м, а при $a_{\psi} = 0.2$ рад - на 45%.

У випадку:

- регресивної характеристики пружних елементів і прогресивної шин критичне значення швидкості стійкого руху є для більших значень параметру v_1 дещо більшим для малих амплітуд коливань ПЧ і навпаки меншим - для великих амплітуд коливань ПЧ. При амплітуді коливань ПЧ 0.1 рад зростання параметру v_2 від $\frac{-2}{5}$ до $\frac{-2}{5}$ спричиняє зростання критичної швидкості стійкого руху на 3%, а при амплітуді коливань 0.4 рад – критичне значення швидкості стійкого руху зростає на 33% при таких значеннях інших параметрів системи $v_1 = \frac{2}{7}$, $\Delta = 0.2$ м, $a_{\phi} = 0.01$, $\Delta_1 = 0.04$ м ;

- регресивної характеристики пружних елементів та шин критичне значення швидкості стійкого руху є більшим за критичне значення швидкості за регресивного закону зміни пружних властивостей СП і лінійних пружних властивостей шин.

Висновки. Отримані у роботі результати показують, що:

- критичні значення швидкості стійкого руху із урахуванням поперечно кутових коливань НПЧ навіть при малих амплітудах коливань останніх є до 30% меншими порівняно з випадком коли цим чинником знехтувано;

- поперечно кутові коливання ПЧ ТА НПЧ КТЗ значною мірою зменшують критичне значення швидкості стійкого руху з огляду на перекидання. Зростання амплітуди коливань НПЧ a_{ϕ} від 0.01 рад до 0.015 рад спричиняє зменшення критичної швидкості стійкого руху на 35% при $a_{\psi} = 0.1$ рад, $v_2 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.3$ м, $\Delta_1 = 0.05$ м, а при $a_{\psi} = 0.2$ рад - на 45% за всіх інших вказаних значень параметрів СП;

- для КТЗ із прогресивним законом зміни характеристик пружних елементів більшим величинам їх статичної деформації та шин відповідає більше значення критичної швидкості стійкого руху. Збільшення статичної деформації шин з 0.03 м до 0.05 м спричиняє зростання критичної швидкості руху при $a_{\psi} = 0.1$ рад $a_{\phi} = 0.01$ рад на 9% ($v_2 = \frac{2}{9}$, $\Delta = 0.3$ м), а при $a_{\psi} = 0.2$ рад. і $a_{\phi} = 0.01$ рад на 29%.

Таким чином, використання у КТЗ СП із прогресивним законом зміни характеристик пружних елементів збільшує критичне значення швидкості стійкого руху у порівнянні із амортизаторами із пружними елементами з лінійним чи регресивним законом зміни відновлювальної сили. Одночасно нехтування коливаннями НПЧ навіть за малих амплітуд її коливань призводить до завищених результатів критичних значень швидкості стійкого руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артющенко А.Д. Дослідження впливу характеристик підвіски автомобіля малого класу на плавність ходу та її модернізація / Артющенко А.Д., Суярков О.Г. // вісник НТУ “ХП”. - 2013.-№ 32 (1004).- С.21 -27.
2. Misaghi, S.; Tirado, C.; Nazarian, S.; Carrasco, C. Impact of pavement roughness and suspension systems on vehicle dynamic loads on flexible pavements. Transp. Eng. 2021, 3, 100045.
3. Васильев А.Ю. Вплив характеристики підвіски на стійкість броньованих армійських автомобілів багатоцільового призначення // Васильев А.Ю. Грубель М.Г., Шаталов О.Є., Нанівський Р.А., Дудар Є.Є. // Механіка та машинобудування №2; Харків: Технічний збірник НТУ ХП. - 2015 - С. 68-75.

4. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники. / [Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Дущенко В.В., Елифанов В.В., Кохановский Н.В.]; – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2012. – 356 с.
5. Leitner, B.; Decký, M.; Kováč, M. Road pavement longitudinal evenness quantification as stationary stochastic process. *Transport* 2019, 34, 195–203.
6. Подригало М.А. Оцінка динамічної стійкості автомобіля / Подригало М.А., Кorbко М.І., Клец Д.М. //“Автомобіле- та тракторобудування”. Вісник НТУ “ХПІ” 58, 2008.- С.134-137.
7. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля.- М.: Машиностроение, – 1971. – 416 с.
8. Park S., Popov A., Cole D. Influence of soil deformation in off-road heavy vehicle suspension vibration. *Journal of Terramechanics* 41 (2004) P. 41–68. – Режим доступу: www.academia.edu/14061651/Influence_of_soil_deformation_on_off-road_heavy_vehicle_suspension_vibration.
9. Пісарев В.П. Можливості по компоновці нових пружних елементів підвіски, з прогресивною характеристикою, в межах існуючого конструктивного рішення БТР-60 / В.П. Пісарев, А.П. Горбунов // *Механіка та машинобудування*. – 2009. – № 2 – С. 51-56.
10. Ružinskas, A.; Giessler, M.; Gauterin, F.; Wiese, K.; Bogdevičius, M. Experimental investigation of tire performance on slush. *Eksplot. I Niezawodn. Maint. Reliab.* 2021, 23, 103–109.
11. Болдовский В.Н. Исследование процессов взаимодействия ходовых систем автомобилей с деформируемой опорной поверхностью/ В . Н . Болдовский// *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, - № 5/4 (59) 2012. - С.50-52.
12. Мельничук С.В. Визначення параметрів плавності ходу моделі підвіски на основі чотири ланкового важільного механізму/ С.В Мельничук, Ю.О. Подчашівський, І.В. Вітюк, І.А. Бовсунівський // *Вісник ЖДТУ*. – 2010. – № 4 (55). – С. 25-27.
13. Hussan, S.; Kamal, M.A.; Hafeez, I.; Ahmad, N.; Khanzada, S.; Ahmed, S. Modelling asphalt pavement analyzer rut depth using different statistical techniques. *Road Mater. Pavement Des.* 2020, 21, 117–142.
14. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. – К.: Наукова думка, 1990. – 232 с.
15. Васильев А.Ю. Вплив характеристики підвіски на стійкість броньованих армійських автомобілів багатоцільового призначення// Васильев А.Ю. Грубель М.Г., Шаталов О.Є., Нанівський Р.А., Дудар Є.Є. // *Механіка та машинобудування* №2; Харків: Технічний збірник НТУ ХПІ.- 2015-С. 68-75.
16. Podryhalo M.A., Korbko M.I., Klets D.M. 2008. Evaluation of automobile dynamic ability. “Automobile and tractor manufacture”. *Bulletin NTU “KhPI”*. – pp. 134-137.
17. Oleg Lyashuk. Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system/ Oleg Lyashuk, Volodymyr Klendiy Tetyana Pyndus, Mariya Sokil, Olexandr Marunych / *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*.- 2016.№2(83).- 82-89 ISSN 1727-7108.
18. Bogdan Sokil, Oleg Lyashuk, Mariya Sokil, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura, Victor Aulin, Roman Khoroshun Interpreting the main power characteristics choice of the wheel vehicles guided cushioning system *Mechanical Engineering in Transport*.2021,23(2). pp. B139-B149
19. Sapragonas, J.; Dargužis, A. Model of radial deformations of protector of vehicle tire. *Mechanics* 2011, 17, 21–29.
20. Сокіл Б.І. Вплив характеристик підвіски автомобілів спеціального призначення на поперечно-кутові коливання підресореної маси / Сокіл Б.І., Нанівський Р.А., Грубель М. Г., Яльніцький О.Д.// *Автошляховик України*. - № 1-2(243-244). Київ – 2015. – С. 18 – 20.
21. Сокіл Б.І. Вплив силових характеристик системи підресорювання на плавність ходу автомобілів /Б.І. Сокіл, Р.А. Нанівський, Д.Л. Парашук, М.Г. Грубель// *Автошляховик України*. - № 1-2 (249-250). Київ – 2017. – С. 38 – 41.
22. Крайник Л.В. Моделювання взаємодії колеса з опорною поверхнею що деформується / Крайник Л.В., Грубель М.Г., Мазурик Я.С.// *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки" № 55*. Луцьк, 2016. С. 212-216.
23. Грубель М.Г. Методологія оцінки опорної прохідності колісної військової автомобільної техніки / М.Г. Грубель, Л.В. Крайник, О.М. Купріненко // *Науково-технічний журнал озброєння та військова техніка*. — № 4(24). К. — 2019. — С. 22-35.
24. Войтенко В.А. Математичне моделювання пружної підвіски автомобіля / В. А. Войтенко.

Электротехнические и компьютерные системы. Автоматизированные электромеханические системы. – 2016. – №10 (86) – С. 33–40.

25. Богомолов В.О. Моделивання дорожньої поверхні для розрахунку динаміки руху транспортних засобів / В.О. Богомолов, В.І. Клименко, А.І. Шилов, Р.В. Алексеев. Автомобильный транспорт. – 2011. – №29 – С. 37–42.

26. Tyan F. Generation of Random Road Profiles /F.Tyan, Y. Hong, S. Tu // Journal of Advanced Engineering, 2009. – Vol. 4. – № 2. – P. 151–156.

27. Кузьо І. В. Моделивання мікропрофілю дороги у задачах динаміки колісних машин / І. В. Кузьо, Ю. В. Залуцький, О. В. Житенко. Вісник НУЛП, Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2016. – №838 – С. 173–179.

28. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А.Митропольский//– М.: Наука, 1974. – 504 с.

29. Сенік П. М. Обернення неповної Beta-функції / П.М. Сенік // Укр. мат. журн. – К., 1969. – 21, № 3. – С. 325-333.

30. Nazarkevych M. Investigation of Beta- and Ateb-function dependencies. Bulletin of the National University. Lviv Polytechnic”.732: Computer Science and Information Technology, 207–216 (2012) (in Ukrainian).

31. Olshanskiy V.P., Olshanskiy S.V. & Tishchenko L.N. (2015) Kolyvannya dysypatyvnykh ostsyl'yatoriv [Dissipative oscillators oscillations]. Kharkiv, Miskdruk. 116.

32. Хаустов Д.С. Умови внутрішнього резонансу військової гусеничної техніки / Хаустов Д.С. / Системи озброєння і військова техніка.-2016.-№1 (45). - С.73-76.

REFERENCES

1. Artyushchenko A.D., Suyarkov O.H. (2013), “Doslidzhennya vplyvu kharakterystyk pidvisky avtomobilya maloho klasu na plavnist' khodu ta yiyi modernizatsiya” [Study of the influence of the characteristics of the suspension of a small class car on the smoothness of the ride and its modernization], Bulletin of the NTU "KhPI, № 32 (1004), pp.21-27.

2. Misaghi, S., Tirado, C., Nazarian, S., Carrasco, C. (2021), Impact of pavement roughness and suspension systems on vehicle dynamic loads on flexible pavements, Transp. Eng, №3, 100045.

3. Vasyly'yev A.YU., Hrubel' M.H., Shatalov O.YE., Naniys'kyk R.A. and Dudar YE.YE. (2015), “Vplyv kharakterystyky pidvisky na stiykist' bron'ovanykh armiys'kykh avtomobiliv bahatotsil'ovoho pryznachennya” [The influence of the suspension characteristics on the stability of multi-purpose armored army vehicles], Kharkiv: Technical collection of NTU KhPI, Mechanics and mechanical engineering, № 2, pp. 68-75.

4. Aleksandrov Ye.Ye., Volontsevich D.O., Dushchenko V.V., Yepifanov V.V., Kokhanovskiy N.V. (2012), “Matematicheskoye modelirovaniye protsessov vozmushchennogo dvizheniya agregatov i sistem bronetankovoy tekhniki” [Mathematical modeling of the processes of perturbed movement of units and systems of armored vehicles.], Kharko, NTU "KhPI", P. 356.

5. Dushchenko V.V. (2018), “Stemy pidresoryuvannya viys'kovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn: rozrakhunok i syntez” [Suspension springs of military tracked and wheeled vehicles: calculation and synthesis], NTU "KhPI", Kharkiv, 336 p.

6. Leitner, B., Decký, M., Kováč, M. (2019), Road pavement longitudinal evenness quantification as stationary stochastic process. Transport, № 34, 195–203.

7. Podryhalo M.A., Korbko M.I., Klets D.M. (2009), “Otsinka dynamichnoyi stiykosti avtomobilya” [Evaluation of the dynamic stability of the car], Automotive and tractor manufacturing. Bulletin of NTU "Khpi", № 58, pp.134-137.

8. Litvinov A.S. (1971),“Upravlyayemost' i ustoychivost' avtomobilya” [Controllability and stability of the car], М.: Mashinostroenie, P.416.

9. ParkS., Popov A., Cole D. (2004), Influence of soil deformation in off-road heavy vehicle suspension vibration, Journal of Terramechanics, № 41, pp. 41–68.

10. Pisaryev V.P. , Gorbunov A.P. (2009), “Mozhlyvosti po komponovtsi novykh pruzhnykh elementiv pidvisky, z prohresyvnoyu kharakterystykoyu, v mezhakh isnyuchoho konstruktyvnoho rishennya BTR-60” [Possibilities for the layout of new elastic elements of the suspension, with a progressive characteristic, within the existing design solution BTR-60], Mechanics and mechanical engineering, № 2, pp. 51-56.

11. Ružinskas, A.; Giessler, M.; Gauterin, F.; Wiese, K.; Bogdevičius, M. (2021), Experimental investigation of tire performance on slush. Eksploat. I Niezawodn. Maint. Reliab, № 23, pp. 103–109.

12. Boldovskiy V.N. (2012), "Issledovaniye protsessov vzaimodeystviya khodovykh sistem avtomobiley s deformiruyemoy opornoй poverkhnost'yu" [Study of the processes of interaction of running systems of cars with a deformable supporting surface], East European Journal of Advanced Technologies, № 5/4 (59), pp.50-52.

13. Mel'nychuk S.V., Podchashivs'kyy YU.O., Vityuk I.V. and Bovsunivs'kyy I.A. (2010), "Vyznachennya parametriv plavnosti khodu modeli pidvisky na osnovi chotyry lankovoho vazhil'noho mekhanizmu/ S.V Mel'nychuk" [Determining smoothness parameters of a suspension model based on a four-link lever mechanism], Bulletin of ZHTU, № 4 (55), pp. 25-27.

14. Hussan, S., Kamal, M.A., Hafeez, I., Ahmad, N., Khanzada, S. and Ahmed, S. (2020), Modelling asphalt pavement analyzer rut depth using different statistical techniques. Road Mater. Pavement Des., №21, pp.117-142.

15. Lobas L.G., Verbitskiy V.G. (1990), "Kachestvennyye i analiticheskiye metody v dinamike kolesnykh mashin" [Qualitative and analytical methods in the dynamics of wheeled vehicles], K.: Naukova Dumka, P. 232.

16. Vasyly'ev A.YU., Hrubel' M.H., Shatalov O.YE., Nanivs'kyy R.A. and Dudar YE.YE. (2015), "Vplyv kharakterystyky pidvisky na stiykist' bron'ovanykh armiy'skykh avtomobiliv bahatotsil'ovoho pryznachennya" [The influence of the suspension characteristics on the stability of multi-purpose armored army vehicles], Kharkiv: Technical collection of NTU KhPI, Mechanics and mechanical engineering, No. 2, pp. 68-75.

17. Podryhalo M.A., Korbko M.I., Klets D.M. (2008), Evaluation of automobile dynamic ability. Bulletin NTU KhPI, Automobile and tractor manufacture, pp. 134-137.

18. Lyashuk Oleg, Klendiy Volodymyr, Pyndus Tetyana, SokilMariya and Marunych Olexandr (2016), Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, №2(83), pp - 82-89.

19. Sokil Bogdan, Lyashuk Oleg, Sokil Mariya, Vovk Yuriy, Dzyura Volodymyr, AulinVictor and Khoroshun Roman (2021), Interpreting the main power characteristics choice of the wheel vehicles guided cushioning system Mechanical Engineering in Transport, №23(2), pp. B139-B149.

20. Sapragonas, J.; Darguzis, A. (2011), Model of radial deformations of protector of vehicle tire. Mechanics, №17, p.p 21-29.

21. Sokil B.I. Nanivs'kyy R.A., Hrubel' M. H., Yal'nyts'kyy O.D. (2015), "Vplyv kharakterystyk pidvisky avtomobiliv spetsial'noho pryznachennya na poperechno-kutovi kolyvannya pidresorenoyi masy" [The influence of the characteristics of the suspension of special-purpose vehicles on the transverse-angular oscillations of the sprung mass], Kyiv, Avtslyahovyk of Ukraine, №1-2 (243-244), pp. 18 - 20.

22. Sokil B.I., Nanivs'kyy R.A., Parashchuk D.L., Hrubel' M.H. (2017), "Vplyv sylovykh kharakterystyk systemy pidresoryuvannya na plavnist' khodu avtomobiliv" [The influence of the power characteristics of the suspension system on the smoothness of the movement of cars], Kyiv, SUV of Ukraine, № 1-2 (249-250), pp. 38-41.

23. Kraynyk L.V., Hrubel' M.H., Mazuryk YA.S. (2016), "Modelyuvannya vzayemodiyi koleasa z opornoyu poverkhneyu shcho deformuyet'sya" [Modeling the interaction of a wheel with a deformable support surface], Lutsk, Interuniversity collection "Scientific notes", №. 55, pp. 212-216.

24. Hrubel' M.H., Kraynyk L.V., Kuprinenko O.M. (2019), "Metodolohiya otsinky opornoyi prokhdnosti kolisnoyi viys'kovoyi avtomobil'noyi tekhniky" [Methodology of assessment of the support patency of wheeled military vehicles], K., Scientific and technical magazine Armaments and military equipment, № 4(24), pp. 22-35.

25. Voytenko V.A. (2016), "Matematichne modelyuvannya pruzhnoï pidvisky avtomobilya" [Mathematical modeling of spring suspension of a car], Electrical and computer systems. Automated electromechanical systems, No. 10 (86), pp 33-40.

26. Bohomolov V.O., Klymenko V.I., Shylov A.I., Alekseyev R.V. (2011), "Modelyuvannya dorozhn'oyi poverkhni dlya rozrakhunku dynamiky rukhu transportnykh zasobiv" [Modeling of the road surface for the calculation of vehicle traffic dynamics], Automobile transport, № 29, pp. 37-42.

27. Tyan F., Y. Hong, S. Tu (2009), Generation of Random Road Profiles. Journal of Advanced Engineering, Vol. 4, № 2, pp. 151-156.

28. Kuz'o I. V., Zaluts'kyy YU. V., Zhytenko O. V. (2016), "Modelyuvannya mikroprofilyu dorohy u zadachakh dynamiky kolisnykh mashyn" [Modeling of the microprofile of the road in problems of dynamics of wheeled vehicles], NULP Bulletin, Dynamics, strength and design of machines and devices, №838, p.p. 173-179.

29. Bogolyubov N.N., Mitropol'skiy YU.A. (1974), "Asimptoticheskiye metody v teorii nelineynykh

kolebaniy” [Asymptotic Methods in the Theory of Nonlinear Oscillations], M.: Nauka, P. 504.

30.Senyk P. M. (1969), “Obernennya nepovnoyi Beta-funktsiyi” [Inversion of the incomplete Beta function], K., Ukr. mate. Journal, v. 21, № 3, pp. 325-333.

31.Nazarkevych M. (2012), Investigation of Beta- and Ateb-function dependencies. Bulletin of the National University. Lviv Polytechnic. 732: Computer Science and Information Technology, p.p. 207–216 (in Ukrainian).

32.Olshanskiy V.P., Olshanskiy S.V. & Tishchenko L.N. (2015), Kolyvannya dysypatyvnykh ostslyatoriv [Dissipative oscillators oscillations], Kharkiv, Miskdruk, P.116.

33.Khaustov D.YE. (2016), “Umovy vnutrishn’oho rezonansu viys’kovoyi husenychnoyi tekhniky” [Conditions of internal resonance of military tracked vehicles], Weapons systems and military equipment, №1 (45), pp.73-76.

PhD Nanivskiy R.

**NON-LINEAR TRANSVERSE-ANGULAR OSCILLATIONS
OF SPRUNG AND UNSPRUNG PARTS OF WHEELED VEHICLES
AND THEIR INFLUENCE ON TRAFFIC STABILITY**

A method of analytical study of the nonlinear transverse-angular oscillations influence of the sprung-unsprung part system on the traffic stability of a wheeled vehicle along curved road sections has been developed. A system of nonlinear differential equations describing the dynamics of the relative motion of this system has been obtained and a first approximation of its analytical solution has been constructed. The peculiarity of the oscillations of the specified parts is that their natural frequencies depend on the amplitudes. Therefore, the dynamic interaction between the sprung and unsprung parts, as well as the road surface and elastic tires are determined by the vibrations amplitude-frequency characteristics of the specified parts, which are caused by road irregularities. Using the kinetostatics equation of the unsprung-sprung part system, the forces of dynamic interaction of elastic wheels with the road surface were determined – the basic ratios for evaluating traffic stability. It has been established: the relative oscillations of the sprung and unsprung parts of a vehicle significantly reduce the critical speed values of stable motion for overturning; the critical speed value of stable motion for overturning is greater for larger static deformation values of elastic shock absorbers and tires, as well as the progressive characteristic of elastic shock absorbers.

The obtained main results can serve as a basis for the creation of a software product of adaptive suspensions, and their reliability is confirmed by obtaining results in the extreme case, which apply to simpler - linear calculation models of vehicle dynamics.

Keywords: vehicle, suspension systems, adaptive suspensions, nonlinear transverse-angular oscillations, amplitude-frequency characteristics of oscillations, kinetostatics equation.

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ПІДСИСТЕМ ЄДИНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Зростаючі можливості використання перспективних інформаційних технологій у військовій сфері змушують переглянути традиційні підходи до використання засобів та методів сумісного аналізу наявної інформації щодо дій військ (сил). Зростаюча динаміка ведення збройної боротьби та великий обсяг інформації, яка підлягає аналізу, призводить до того, що людина вже не в змозі за дуже короткий час провести аналіз необхідного обсягу інформації та прийняти зважене рішення. За цих обставин, виникає необхідність застосування нових технологій управління силами та засобами збройних сил для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися.

Актуальність та необхідність створення і впровадження геоінформаційних підсистем як складової інформаційного забезпечення Єдиної автоматизованої системи управління обумовлена загальним підвищенням вимог до оперативності, повноти і якості інформаційного забезпечення процесу управління військами (силами). Геоінформаційні технології дозволяють сформувати єдину картину ситуаційної обізнаності, розробити сучасні методи контролю і управління засобами збройної боротьби, включаючи безпілотні і роботизовані комплекси, підвищити прозорість і оперативність роботи тилу і знизити рівень безпосередньої присутності за допомогою формування віртуально віддалених штабів та інших органів управління. Єдиний геоінформаційний простір ЄАСУ Збройних Сил України має утворюватися як середовище (мережа) взаємопов'язаних геопорталів, призначення яких полягає в консолідації інформації щодо наявних у ЄАСУ Збройних Сил України просторових даних, які оформлюються і надаються для використання у вигляді геосервісів, а також створенні єдиної точки входу користувачів у це середовище. Визначено, що у якості програмної складової оптимально застосовувати серверне програмне забезпечення ArcGIS компанії ESRI.

Ключові слова: геоінформаційне забезпечення, геоінформаційні підсистеми, геопросторові дані, геопортал, Єдина автоматизована система управління.

Вступ та постановка проблеми. Визначення завдань геоінформаційного забезпечення щодо реалізації напрямків розвитку Єдиної автоматизованої системи управління (ЄАСУ) Збройних Сил України (ЗСУ) з урахуванням особливостей застосування військ (сил) на сучасному етапі розвитку та реформування ЗС України є однією з актуальних проблем для управління військами ЗСУ.

Зростаючі можливості використання перспективних інформаційних технологій у військовій сфері змушують переглянути традиційні підходи до використання засобів та методів сумісного аналізу наявної інформації щодо дій військ (сил). Зростаюча динаміка ведення збройної боротьби та великий обсяг інформації, яка підлягає аналізу, призводить до того, що людина вже не в змозі за дуже короткий час провести аналіз необхідного обсягу інформації та прийняти зважене рішення. За цих обставин, виникає необхідність застосування нових технологій управління силами та засобами збройних сил для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися. Вони дають можливість прогнозувати можливі варіанти розвитку подій та пропонувати командирам будь-якого рівня різні шляхи досягнення оптимального результату.

Для вирішення таких завдань необхідно використовувати технології, які ефективно поєднують простір та час зі значними за обсягом супутніми даними у вигляді атрибутивної інформації щодо об'єктів оперативної обстановки, довідкової інформації про театр (район)

ведення бойових дій, кліматичні умови, дані розвідки та ін. [1, 2]. Саме для вирішення подібних завдань в арміях багатьох держав світу використовуються геоінформаційні технології. У Збройних Силах України останнім часом сформувався окремий вид інформаційного забезпечення, який ґрунтується на засадах геоінформаційних технологій, а саме – геоінформаційне забезпечення.

Актуальність та необхідність створення і впровадження геоінформаційних підсистем як складової інформаційного забезпечення ЄАСУ обумовлена загальним підвищенням вимог до оперативності, повноти і якості інформаційного забезпечення процесу управління військами (силами). Останні досягнення в галузі інформаційних технологій створили певну невідповідність між вищеназваними вимогами та забезпеченістю військ ГІС-інформацією [3, 4]. Протиріччя, які виникли між величезними об'ємами інформації та можливостями їх обробки і використання, обумовлюють необхідність розробки нових засобів, побудованих на принципах ГІС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У даний час з'явилися нові інструменти, які відображають сучасний рівень геоінформатики та все більше застосовуються на практиці. До них можна віднести засоби складного багатофакторного просторового аналізу і підготовки високоякісних синтезованих зображень на основі цифрових карт, знімків і даних оперативної обстановки [5]. Однак використання різномірних програмних продуктів, форматів представлення даних, технологій, заснованих на різній ідеології формування, обробки і зберігання просторових даних стає головною перешкодою на шляху створення єдиного інформаційного простору держави [6, 7]. Огляд різних напрямів та ефективних прикладів використання геоінформаційних технологій як складової автоматизованих інформаційних систем управління військами [1, 2, 8-10], зумовлюють необхідність розробки рекомендацій щодо впровадження геоінформаційних підсистем ЄАСУ Збройних Сил України.

Метою статті є розробка рекомендацій щодо впровадження геоінформаційних підсистем ЄАСУ Збройних Сил України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні інформаційні та мережеві технології у військовій сфері є основою для інтеграції географічно розосереджених органів управління, засобів розвідки, спостереження і цілевказання, угруповань військ і засобів ураження у високоадаптивну глобальну систему [11-13].

Основне призначення ГІС – надання органам управління усіх рівнів доступу до просторових даних про місцевість і об'єкти на ній у реальному режимі часу або близькому до нього із забезпеченням наочної форми їхнього представлення. ГІС зберігає геопросторову інформацію у вигляді набору тематичних баз даних, що поєднуються з модельними та розрахунковими функціями для маніпулювання і перетворення їх у просторову інформацію.

Будь-яка географічна інформація містить відомості щодо просторового положення, наприклад, про прив'язку до географічних чи інших координат. Для автоматичного визначення місця розташування об'єкта застосовується процес геокодування, який полягає у позиціюванні просторових об'єктів відносно відповідної системи координат.

Для використання в ГІС дані мають бути перетворені у відповідний цифровий формат. Багато даних переведені у формати, які сприймаються ГІС-пакетами. Для багатьох типів просторових операцій кінцевим результатом є представлення даних у вигляді карти чи графіка. Автоматизоване картографування на базі географічних інформаційних систем надає нові інструменти, що розширюють і розвивають наукові основи картографії. З їхньою допомогою візуалізація самих карт може бути легко доповнена звітними документами, тривимірними зображеннями, графіками й таблицями, фотографіями та іншими засобами.

Геоінформаційні технології дозволяють сформувати єдину картину ситуаційної обізнаності, розробити сучасні методи контролю і управління засобами збройної боротьби, включаючи безпілотні і роботизовані комплекси, підвищити прозорість і оперативність роботи тилу і знизити рівень безпосередньої присутності за допомогою формування віртуально віддалених штабів та інших органів управління.

Проблему забезпечення частин і підрозділів геопросторовими даними з використанням новітніх геоінформаційних технологій знайшла своє відображення у розробці та практичному можна вирішити за допомогою геоінформаційних систем. Такі системи широко застосовувалися і застосовуються у локальних конфліктах останніх років та під час проведення миротворчих операцій. Схожі за своєю структурою елементи таких систем в арміях провідних країн світу застосовуються в усіх оперативно-тактичних ланках, до бригади включно. У Збройних Силах України є декілька структурних підрозділів, які займаються обробкою геопросторової інформації. Інформація до цих структур надходить паралельно, хоча вона могла б доповнювати одна одну. Існує необхідність об'єднати всю просторову інформацію, яка може бути отримана від різних джерел. Ця інформація повинна зберігатися в одній базі комп'ютерних даних, яка постійно оновлюється.

Геоінформаційні підсистеми (ГІС) як одна зі складових загального інформаційного забезпечення процесу управління підготовкою та застосуванням Збройних Сил України повинні забезпечувати наступне:

- формування єдиного інформаційного простору в межах театру воєнних дій військ (сил);
- відображення оперативної обстановки на картографічному фоні з використанням умовних знаків, у відповідності з затвердженим військовим класифікатором, прийнятим у Збройних Силах України;
- генералізацію (масштабування) картографічної інформації в залежності від завдань, що вирішуються;
- постачання картографічних даних для забезпечення постановки завдань щодо реалізації рішень командирів всіх рівнів ієрархії підпорядкованості;
- обробку координатної та растрової (космічні знімки, аеро-, фото-) інформації від всіх видів розвідки;
- поєднання просторово розподіленої інформації з інформацією з тематичних баз даних, довідковою та іншою інформацією;
- надання технологій для автоматизованого аналізу оперативної обстановки з метою отримання вихідних даних для виявлення загроз та прогнозування їх розвитку, проведення моделювання і надання рекомендацій командирам відповідних рівнів;
- геоінформаційну підтримку автоматизованого вирішення завдань щодо видів оперативного забезпечення Збройних Сил України (комплекси розрахункових задач);
- забезпечення автоматизованого видання бойових графічних документів;
- забезпечення сумісності автоматизованих систем та засобів автоматизації ЄАСУ ЗСУ в частині просторово розподіленої інформації з іншими подібними системами за умов виконання завдань у складі коаліції військ (сил).

Виходячи з основних завдань, геоінформаційні підсистеми являють собою сучасну просторово-розподілену підсистему загальносистемного інформаційного забезпечення ЄАСУ ЗСУ, яка здатна обробляти просторові дані сумісно з іншою інформацією, що циркулює в ЄАСУ ЗСУ. Крім того, функціонування геоінформаційних підсистем повинне відповідати сучасним вимогам щодо апаратної та програмної уніфікації, надання професійного зручного та зрозумілого інтерфейсу користувача, відповідати вимогам щодо роботи окремих елементів в режимі реального часу, ґрунтуватися на архітектурі та технологіях, що дозволяють досягнути інтеперабельності по відношенню до інших підсистем ЄАСУ ЗСУ.

У відповідності до існуючих нормативних вимог в структурі банку геопросторових даних ГІС ЄАСУ ЗСУ за змістом, технологією наповнення, актуалізації та функціональним використанням має бути задіяна велика кількість різноманітних баз даних та окремих електронних реєстрів. Основу баз геоданих складає об'єктно-орієнтована модель даних (geodatabase data model), яка спроможна описувати природну поведінку і взаємовідношення просторових об'єктів.

Фундаментом ГІС ЄАСУ ЗСУ повинна бути сервісно-орієнтована архітектура (COA) розподілених баз геоданих, відповідно до якої сервер надає послуги доступу до даних та їх

обробки шляхом використання користувачами тематичних WEB-сервісів, які виконуються на сервері.

Мета розгортання сервісно-орієнтовані архітектури – забезпечення єдиної форми управління інформаційними ресурсами ЗСУ. Вона дозволяє організувати ці ресурси так, щоб постійно задовольняти потреби здійснення геоінформаційного забезпечення ЗСУ, які постійно розвиваються. Основна роль СОА в тому, що вона надає загальну для всіх суб'єктів і користувачів платформу для доступу до ресурсів ЄАСУ ЗСУ. У випадку застосування гнучких методів проектування, перехід на СОА має здійснюватися шляхом одного або декількох пілотних проектів. Розгортання сервісно-орієнтованої архітектури дозволяє створити єдиний інтерфейс для внутрішніх користувачів, що використовують як внутрішні дані, які зберігаються у внутрішній (локальній) базі даних, так і зовнішні дані, надані іншими постачальниками. Сервісно-орієнтована архітектура і методи проектування баз геоданих створюють фундамент для взаємосумісності даних і систем.

Ця модель організації просторових даних виходить за рамки редагування однієї бази геоданих шляхом створення децентралізованої бази геоданих. Багато суб'єктів (користувачів) можуть публікувати свої дані і реєструвати їх для пошуку і використання будь-якою кількістю віддалених користувачів. Ті, у свою чергу, можуть або завантажувати до себе набір даних цілком, або використовувати картографічні WEB-служби для динамічної вибірки і загрузки невеликої частини даних, що є необхідними у їх поточному екстені карти. Процес асинхронного редагування і публікації може бути розширено для підтримки процесу розповсюдження даних по підписці, при якій кожний користувач може звертатися до оновлених даних тільки тоді, коли вони йому потрібні [14].

До складу базових засобів ГІС ЄАСУ ЗСУ мають входити серверні компоненти, які спеціально призначені для підтримки СОА (як інструментальні, так і засоби підтримки функціонування СОА). ГІС-сервіси дають можливість використовувати ресурсів ГІС ЄАСУ ЗСУ через різні додатки клієнтів: настільні програмні комплекси, картографічні WEB-додатки і мобільні пристрої. В залежності від типу ресурсу, що публікується, конфігуруються відповідні базові сервіси. Після публікації сервіси реєструються на ГІС- сервері, їх метадані заносяться в каталоги [15-18].

ГІС ЄАСУ ЗСУ має забезпечувати включення інформації, яка отримується в режимі реального часу в процес прийняття рішень (наприклад, створення цифрової моделі бою, яка, крім статичної топографічної інформації, візуалізує поточне місцезнаходження об'єктів бою). Користувачі ГІС ЄАСУ ЗСУ повинні мати можливість управляти потоком даних реального часу, одержуючи дані від датчиків, здійснювати їх миттєву обробку і аналіз для визначення поточної ситуації і відправляти карту з відповідною інформацією визначеним одержувачам примусово на екран, по електронній пошті, через систему миттєвих повідомлень та ін.

Референтна модель ГІС ЄАСУ ЗСУ, яка підтримує об'єднання інформації з різних джерел, що мають різне походження, різну структуру і, можливо, різне місцезнаходження, з точки зору її архітектурної побудови може бути представлена у вигляді взаємозв'язаної сукупності моделей наступних рівнів:

- рівень метаописів сервісів і авторизації користувачів різних категорій;
- рівень функціональних веб-сервісів і порталів доступу;
- рівень інтеграції з успадкованими додатками, базами даних і сервісами;
- рівень технологій реінжинірингу і розвитку інформаційної системи.

Організація прикладних систем з сервіс-орієнтованою архітектурою на базі WEB-служб припускає створення і використання WEB-сервісів, що визначають функціональність послуг, що надаються додатками. При цьому WEB-сервіс виступає як об'єкт, що реалізує один або декілька методів, до яких можна звертатися засобами Web з будь-якого додатку.

Технологія Web-служб ГІС ЄАСУ ЗСУ має базуватися на трьох основних специфікаціях, що мають статус WEB-стандартів:

–SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол, що визначає правила взаємодії з віддаленими об'єктами по Internet-протоколам, зокрема, по протоколу http;

–WSDL (WebServicesDescriptionLanguage) – мова опису програмних інтерфейсів для WEB-служб;

–UDDI (UniversalDescription, DiscoveryandIntegration) – служба довідника для реєстрації Web-послуг (сервісів).

Для створення єдиного геоінформаційного середовища для ЄАСУ ЗСУ найбільш оптимальним шляхом є впровадження геоінформаційного порталу Збройних Сил України (далі – геопортал), у якості програмної, інформаційно-комунікаційної платформи, призначеної для створення єдиного геоінформаційного та інформаційно-аналітичного середовища органів військового управління, військових частин та підрозділів Збройних Сил України з розмежуванням прав доступу користувачів до цих ресурсів.

Геопортал як комплекс програмно-технічних засобів, мережових сервісів та сервісів геопросторових даних, що забезпечують відображення в мережі геопросторових даних, повинен виконувати наступні основні завдання:

–оброблення та видача інформації на автоматизовані робочі місця (далі АРМ) посадових осіб органів військового управління (військових частин);

–надання доступу до єдиного геоінформаційного простору посадовим особам органів військового управління (військових частин, підрозділів);

–забезпечення взаємодії з іншими військовими формуваннями та правоохоронними органами України в рамках єдиного геоінформаційного простору;

–забезпечення пошуку/доступу до необхідної інформації.

Геопортал повинен мати наступний базовий набір картографічних сервісів:

–картографічний сервіс електронних (цифрових) карт - мультимасштабний картографічний сервіс, який містить векторну інформацію всього масштабного ряду топографічних та оглядово-географічних карт;

–картографічний сервіс електронних (цифрових) карт у тривимірному відображенні - копія картографічного сервісу електронних (цифрових) карт з можливістю візуалізації геоінформаційної інформації у тривимірному відображенні;

–картографічний сервіс матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) - сервіс який містить матеріали ДЗЗ (аерофотознімання, космічне знімання та знімання з БПЛА) та дозволяє оперативно створювати фотодокументи про місцевість;

–картографічний сервіс дистанційного зондування Землі у тривимірному відображенні;

–картографічний сервіс для завантаження растрових карт - картографічний сервіс дозволяє завантажити на АРМ топографічні карти всього масштабного ряд у растрових форматах з можливістю їх подальшого друку (розмноження) [6, 7].

В якості програмної складової оптимально застосовувати серверне програмне багатокористувацьке забезпечення ArcGIS компанії ESRI. Для забезпечення безперервної роботи програмно-технічних засобів та сервісів геопорталу, недопущення втрати даних необхідне розгортання відмовостійкої конфігурації за архітектурою “active-passive”, де основний “active” ГІС-сервер (сайт) розміщується в картографічному центрі Командування сил підтримки ЗСУ, а резервний “passive” ГІС-сервер (сайт) розміщується в Головному інформаційно-комунікаційному вузлі ГШ ЗСУ. Кожен з них має власні локальні сховища конфігурацій, серверні директорії та здійснює їх резервне копіювання. В разі програмних чи технічних збоїв на основному ГІС-сервері резервний “passive” ГІС-сервер автоматично приймає функції “active” до відновлення працездатності основного. Завдяки зазначеному принципу забезпечується триступеневий рівень збереження сервісів і даних.

Користувачі геопросторових даних Збройних Сил (штаби органів управління, геоінформаційні підсистеми АСУ тощо) здійснюють запит, отримують доступ до ресурсів і сервісів геопортала через Головний інформаційно-комунікаційний вузол ГШ ЗСУ. Збір, обробка та публікація геопросторових даних, отриманих від підрозділів топографічної служби, а також із зовнішніх джерел (Держгеокадастр, Державне космічне агентство тощо), здійснюється в Картографічному центрі. За допомогою автоматизованого аналізу таких даних можливо визначити напрям розвитку подій безпосередньо в системі управління, в тому числі

на основі просторового аналізу поведінки об'єктів оперативної обстановки. Дані системи надають додатковий рівень аналізу для прийняття рішень органами управління, створюючи якомога точніше представлення оперативної обстановки, яка інтегрується з інформацією із різних джерел [19].

На сучасному етапі розбудови Збройних Сил важливою особливістю розвитку систем управління є надбання цими системами властивості наскрізного масштабування – від систем стратегічного рівня до систем управління безпосередньо окремими підрозділами (та навпаки). Забезпечення постійної актуальності відображення загальної оперативної обстановки підвищує ситуаційну обізнаність командирів всіх рівнів, дозволяючи приймати зважені рішення.

Висновки. Отже, геоінформаційне забезпечення в системі управління має забезпечити сумісну роботу між різними ланками та службами Збройних Сил України, не втративши при цьому єдність підходів до використання просторово розподіленої та іншої інформації.

Використання сучасних засобів зв'язку і комунікацій дозволяє в інтересах посадових осіб штабів розгорнути сучасні автоматизовані робочі місця і використовувати їх як єдину платформу технологічної та системної взаємодії. На сьогоднішній день в Збройних Силах України впроваджено ряд інформаційно-аналітичних систем, що вирішують задачі автоматизації процесів мобілізаційного розгортання, оборонного планування, логістичного, кадрового, фінансового забезпечення, і всі вони мають бути інтегровані в ЄАСУ.

Таким чином ГІС ЄАСУ ЗСУ має забезпечувати інтеоперабельність з існуючими у ЗСУ інформаційно-аналітичними системами та тими, що плануються з використанням інших технічних та програмних засобів. Забезпечення функціонування такої ГІС-платформи як основної платформи створення, зберігання і поширення просторових даних скоротить час на прийняття рішень, а також підвищить ефективність вирішення відповідних задач з питань управління військами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Zakiev E., Panjkov S., Kalabaj K. Application of geoinformation systems in the armed forces and other military formations in the Republic of Kazakhstan. *Military Technical Courier*, 2020, Vol. 68, Issue 2, p. 356-379. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg68-25830>.

2. Tudor C. Geospatial Information Systems (GIS) in military operations. *International Scientific Conference Strategies XXI: The Complex and Dynamic Nature of the Security Environment*, 2018, Volume 2, p. 254-261. Available at: <https://www.proquest.com/openview/6e27c272b01b043eab5f022f43eca0d8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026346>.

3. Мясіщев О., Литвиненко Н., Федченко О. Доцільність використання геоінформаційних підсистем у складі Автоматизованої системи управління Збройних Сил України. *DIGITAL REALITY: матеріали міжнародного наук.-практ. форуму (м. Одеса, 13-19 вересня 2021 р.)*. Одеса, 2021. С. 265-271.

4. Литвиненко Н., Коренець О., Швайко В. Розробка інфраструктури геопросторових даних для геоінформаційних підсистем АСУ ЗСУ. Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів, держави: проблеми та матеріали III Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Одеса, 22 жовтня 2021 р.). Одеса, 2021. С. 273-274.

5. *National Spatial Data Infrastructure Strategic Framework Federal Geographic Data Committee*. URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi-plan/2017/nsdi-strategic-framework-review-draft-v1.pdf>.

6. Литвиненко Н., Коренець О., Прищеп С. Принципи взаємодії даних у геоінформаційних підсистемах Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України: Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів, держави: проблеми та перспективи: матеріали III міжнародної наук.-практ. конф. (м. Одеса, 22 жовтня 2021 р.). Одеса, 2021. С. 272-273.

7. Федченко О.П., Литвиненко Н.І., Литвиненко О.І., Прищеп С.В. Аналіз використання геоінформаційних технологій в управлінні Збройними Силами України. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ, 2021. № 72. С. 73-80.

8. Lytvynenko Nataliya, Fedchenko Oleksiy. Improving of hear my control effectiveness for the geoinformation component automation. Proceedings of 2nd International Conference "Challenges to national defence in contemporary geopolitical situation" (CNDGS), 14-16 October 2020. Vilnius, 2020. P 189-192.

9. Федченко О. П., Литвиненко Н. І., Пінчук О.О. Технології забезпечення надійної ГІС у військовій сфері. Молодіжна військова наука у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 23 квітня 2021 р., С. 347.

10. Литвиненко Н., Прищепа С., Пінчук О. Базові оперативно-тактичні вимоги до геоінформаційних підсистем Автоматизованої системи управління Збройних Сил України: Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: матеріали XVII Міжнародна наук.-практ. онлайн-конференція (м. Київ, 26 листопада 2021 р.). Київ, 2021. С. 106.

11. Федченко О., Литвиненко Н., Коренець О. Основні аспекти інтеграції даних у геоінформаційних підсистемах Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України. Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: матеріали XVII Міжнародної наук.-практ. онлайн-конф., (м. Київ, 26 листопада 2021 р.). Київ, 2021. С. 112.

12. Федорієнко В.А., Головченко О.В., Васюхно С.І. Особливості сучасної концептуальної архітектури ГІС платформи військового призначення. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. Київ, 2017. № 2(60). С. 86-92.

13. Кірішніков Ю. А., Федорієнко В. А., Головченко О. В., Андрощук О. В. Аналіз рамкових архітектур побудови інформаційних систем НАТО та визначення особливостей архітектури C4ISR. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. Київ, 2017. № 1(59). С. 78-84.

14. Хао Хи. Что такое сервис-ориентированная архитектура (What is Service-Oriented Architecture?). URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.

15. Клив Финкельштейн. Корпорация: сервис-ориентированная архитектура (The Enterprise: Service-Oriented Architecture (SOA)). URL: <http://iso.ru/ru/press-center/journal/2046.phtml>. Finkelstein, C. (2005), "Korporaciya: servis-orientirovannaya arhitektura" [The Enterprise: Service-Oriented Architecture (SOA)], <http://iso.ru/ru/press-center/journal/2046.phtml>.

16. Джерими Уэстерман. Сервис-ориентированная архитектура сегодня: введение в SOA" (SOA Today: Introduction to Service-Oriented Architecture). URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.

17. Джерими Уэстерман. Сервис-ориентированная архитектура сегодня: значение SOA для бизнеса" (SOA Today: Business Value of SOA). URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>. Westerman, J. (2014), "Servis-orientirovannaya arhitektura segodnya: vvedenie v SOA" [SOA Today: Introduction to Service-Oriented Architecture], <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.

18. Литвиненко Н., Коренець О., Прищепа С. Основні завдання геоінформаційного забезпечення автоматизованих систем та засобів автоматизації АСУ Збройних Сил України. Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: матеріали XVII міжнародної наук.-практ. онлайн-конференції, (м. Київ, 26 листопада 2021 р.). Київ, 2021. С. 105.

19. Литвиненко Н.В., Коренець О.В. Актуальність розроблення та впровадження автоматизованих геоінформаційних підсистем управління військами. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ" (м. Львів, 14 травня 2021 р.). Львів, 2021. С. 230.

REFERENCES:

1. Zakiev E., Panjkov S., Kalabaj K. Application of geoinformation systems in the armed forces and other military formations in the Republic of Kazakhstan. Military Technical Courier, 2020, Vol. 68, Issue 2, p. 356-379. URL: <https://doi.org/10.5937/vojteh68-25830>.

2. Tudor C. Geospatial Information Systems (GIS) in military operations. International Scientific Conference Strategies XXI: The Complex and Dynamic Nature of the Security Environment, 2018, Volume 2, p. 254-261. Available at: <https://www.proquest.com/openview/6e27c272b01b043eab5f022f43eca0d8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026346>.

3. Miasishchev, O., Lytvynenko, N., Fedchenko, O. (2021), "Dotsilnist vykorystannia heoinformatsiinykh pidsystem u skladi Avtomatyzovanoi systemy upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy" [Expediencyofusing geoinformation subsystems as a part of the Automated control system of the Armed Forces of Ukraine], DIGITAL REALITY: materialy mizhnarodnoho nauk.-prakt. forumu (m. Odesa, 13-19 veresnia 2021 r.), pp. 265-271.
4. Lytvynenko N., Korenets O., Shvayko V. "Rozrobka infrastruktury heoprosorovykh danykh dlia heoinformatsiinykh pidsystem ASU ZSU" [Development of geospatial data infrastructure for geoinformation subsystems of the ACS of the Armed Forces of Ukraine]. Spilni dii viiskovykh formuvan i pravookhoronnykh orhaniv, derzhavy: problemy ta perspektyvy: materialy III Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. (Odesa, October 22, 2021). Odesa, 2021. P. 273-274.
5. NationalSpatialDataInfrastructureStrategicFrameworkFederalGeographicDataCommittee. URL:<https://www.fgdc.gov/nsdi-plan/2017/nsdi-strategic-framework-review-draft-v1.pdf>.
6. Lytvynenko N., Korenets O., Pryshchepa S. (2021), "Pryntsypy vzaiemodii danykh u heoinformatsiinykh pidsystemakh Yedynoi avtomatyzovanoi systemy upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy" [Principles of data interaction in geoinformation subsystems of the Unified Automated Management System of the Armed Forces of Ukraine]. Spilni dii viiskovykh formuvan i pravookhoronnykh orhaniv, derzhavy: problemy ta perspektyvy: materialy III mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf, pp. 272-273.
7. Fedchenko, O.P., Lytvynenko, N.I., Lytvynenko, O.I., Pryshchepa, S.V. (2021), "Analiz vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnolohii v upravlinni Zbroinykh Syl Ukrainy" [Analysis of the use of geographic information technologies in the management of the Armed Forces of Ukraine], Zbirnyk naukovykh pratsViiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, № 72, pp. 73-80.
8. LytvynenkoNataliya, FedchenkoOleksiy (2020), Improving of the army control effectiveness for the geoinformation componentautomation. Proceedingsof 2nd International Conference "Challenges to national defenceincontemporarygeopoliticalsituation" (CNDGS), pp. 189-192.
9. Fedchenko O.P., Lytvynenko N.I., Pinchuk O.O. (2021), "Technologies for providing reliable GIS in the military sphere" [Tekhnolohii zabezpechennia nadiinoi HIS u viiskovii sferi]. Molodizhna viiskova nauka u Kyivskomu natsionalnomu universyteti imeni Tarasa Shevchenka: Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia molodykh vchenykh, adiunktiv, slukhachiv, kursantiv i studentiv, p. 347.
- 10.Lytvynenko N., Pryshchepa S., Pinchuk O. (2021), "Basic operational and tactical requirements for geoinformation subsystems of the Automated Management System of the Armed Forces of Ukraine" [Bazovi operativno-taktychni vymohy do heoinformatsiinykh pidsystem Avtomatyzovanoi systemy upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy]. Viiskova osvita i nauka: sohodennia ta maibutnie: materialy XVII Mizhnarodna nauk.-prakt. onlain-konferentsiia, p. 106.
- 11.Fedchenko O., Lytvynenko N., Korenets O. (2021), "Main aspects of data integration in geoinformation subsystems of the Unified Automated Management System of the Armed Forces of Ukraine" [Osnovni aspekty intehratsii danykh u heoinformatsiinykh pidsystemakh Yedynoi avtomatyzovanoi systemy upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy]. Viiskova osvita i nauka: sohodennia ta maibutnie: materialy XVII Mizhnarodnoi nauk.-prakt. onlain-konf., p. 112.
- 12.Fedoriienko, V.A., Holovchenko, O.V., Vasiukhno, S.I. (2017), "Osoblyvosti suchasnoi kontseptualnoi arkhitektury GIS platformy viiskovoho pryznachennia"[Features of modern conceptual architecture of GIS military platform], Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho, № 2(60), pp. 86-92.
- 13.Kirpichnikov Yu.A., Fedorienko V.A., Golovchenko O.V., Androschuk O.V. (2017), "Analysis of framework architectures for the construction of NATO information systems and determination of features of the C4ISR architecture" [Analiz ramkovykh arkhitektur pobudovy informatsiinykh system NATO ta vyznachennia osoblyvostei arkhitektury S4ISR]. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho. Kyiv, No 1(59), pp. 78-84.
- 14.Hao Hi. What is Service-Oriented Architecture? URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.
- 15.Finkelstein, C. (2005), The Enterprise: Service-Oriented Architecture (SOA). URL: <http://iso.ru/ru/press-center/journal/2046.phtml>.
- 16.Westerman, J. (2014), SOA Today: Introduction to Service-Oriented Architecture. URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.

17. Westerman, J. (2014), SOA Today: Introduction to Service-Oriented Architecture]. URL: <https://2dice.ru/hematoma/soa-arhitekturnye-osobennosti-i-prakticheskie-aspekty-servis-orientirovannaya-arhitektura.html>.

18. Lytvynenko N., Korenets O., Pryshchepa S. (2021), "Main tasks of geo-information support of automated systems and means of automation of ACS of the Armed Forces of Ukraine" [Osnovni zavdannia heoinformatsiinoho zabezpechennia avtomatyzovanykh system ta zasobiv avtomatyzatsii ASU Zbroinykh Syl Ukrainy]. Viiskova osvita i nauka: sohodennia ta maibutnie: materialy XVII Mizhnarodnoi nauk.-prakt. onlain-konferentsii, p. 105.

19. Lytvynenko N.I., Korenets O.V. (2021), "Aktualnist rozroblennia ta vprovadzhennia avtomatyzovanykh heoinformatsiinykh pidsystem upravlinnia viiskamy" [Relevance of development and implementation of automated geographic information subsystems of military management], Zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky Sukhoputnykh viisk, p. 230.

PhD Lytvynenko N.I., PhD Korenets O.V.

**DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE IMPLEMENTATION
OF GEOINFORMATION SUBSYSTEMS OF UNIFIED AUTOMATED CONTROL SYSTEM
OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**

The growing possibilities of using promising information technologies in the military sphere force to reconsider the traditional approaches to the use of means and methods of joint analysis of available information regarding the actions of troops (forces). The growing dynamics of the armed struggle and the large amount of information that is subject to analysis lead to the fact that a person is no longer able to analyze the necessary amount of information and make an informed decision in a very short time. Under these circumstances, there is a need to apply new technologies for managing the forces and means of the armed forces for analysis and decision-making, reflecting the situations that have developed.

The relevance and necessity of creating and implementing geoinformational subsystems as a component of the information support of UACS is due to the general increase in requirements for efficiency, completeness and quality of information support of the process of managing troops (forces). Geoinformation technologies make it possible to form a unified picture of situational awareness, to develop modern methods of control and management of means of armed struggle, including unmanned and robotic complexes, to increase the transparency and efficiency of rear operations and to reduce the level of direct presence through the formation of virtually remote headquarters and other control bodies. The unified geoinformation space of the UACS of the Armed Forces should be formed as an environment (network) of interconnected geoportals, the purpose of that is to consolidate information on spatial data available in the UACS of the Armed Forces, that are processed and provided for use in the form of geoservices, as well as to create a single point of entry of users into this environment. It was determined that it's optimal to use ESRI's ArcGIS server software as a software component.

Keywords: geoinformation support, geoinformation subsystems, geospatial data, geoportal, Unified Automated Control System.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ З УРАХУВАННЯМ КОМПЛЕКСУ СПЕЦИФІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

В Україні право на захист особистих даних – це конституційна гарантія, а захист персональних даних – одна із сфер, у якій така гарантія має реалізовуватись. Предметом нашого дослідження будуть не об'єкти взагалі, а динамічні системи захисту інформації в соціальних мережах у математичному розумінні цього терміну. У дослідженні розроблено лінійну математичну модель і проведено дослідження моделі захисту персональних даних від комплексу специфічних параметрів мережі і інтенсивності передачі даних в соціальних мережах.

Розглянуто залежності: величини потоку інформації в соціальній мережі від складових захисту інформації, персональних даних, і швидкості потоку даних; захищеності системи від розмірів системи та від кількості персональних даних; загроз безпеці інформації від комплексу специфічних параметрів мережі. Отримано систему лінійних рівнянь, яка складається з рівняння: швидкості зміни потоку інформації від захищеності соціальної мережі і коефіцієнтів, які відображають вплив заходів захищеності, кількості персональних даних, швидкості витоку, зміни показника захисту інформації від комплексу специфічних параметрів мережі, її розмірів, захищеності персональних даних. В результаті розв'язання системи диференціальних рівнянь отримані математичні та графічні залежності показника захисту персональних даних в соціальній мережі від різних складових. Розглянувши три варіанти вирішення рівняння близько стаціонарного стану системи, можна прийти до висновку, що, виходячи з умов співвідношення дисипації, загасання частоти коливань до певного значення здійснюється періодично, із затухаючою амплітудою, або експоненціально за згасаючим законом. Виконано більш наочний аналіз поведінки системи, перейшовши від диференціальної форми рівнянь до дискретної і промодельовано деякий інтервал існування системи.

Представлені математичні та графічні залежності частоти власних коливань системи, періоду коливань, коефіцієнта загасання. Проведено імітаційне моделювання для значень з відхиленням від стаціонарної позиції системи. В результаті імітаційного моделювання доведено, що система захисту соціальної мережі нелінійна.

Ключові слова: соціальна мережа, потік інформації, довіра, репутація, моделювання, коефіцієнт захисту, безпека, захист інформації.

Вступ та постановка задачі. Швидке поширення соціальних онлайн-сервісів і розвиток технології Big Data викликали інтерес до використання інформації з соціальних мереж у різних сферах. Обмін структурними та тематичними даними потенційно дозволяє використовувати соціальні мережі для вирішення широкого кола завдань захисту інформації та даних. Предметом даного дослідження будуть не об'єкти взагалі, а динамічні системи захисту інформації в соціальних мережах у математичному розумінні цього терміну.

Зважаючи на складність процесів в соціальних мережах, інтенсивний розвиток технологій несанкціонованого доступу до персональної інформації, забезпечення захисту є одним із актуальних завдань для спільноти в Україні та світі. Існуючі компоненти захисту особистої інформації, не забезпечують повного захисту персональних даних особи, що обумовлено низкою проблем. Відсутність методології побудови систем захисту в соціальних мережах являється стримуючим фактором подальшого розвитку соціальних мереж та інформаційних технологій в цілому. Якщо на сьогодні більш менш досліджені класичні загрози персональної інформації та розроблені методи їх захисту, то залишається до кінця не

вивченим вплив специфічних параметрів соціальних мереж на захист персональної інформації. До таких специфічних параметрів відносяться: конфіденційність персональних даних, репутація користувачів мережі, взаємовплив користувачів, довіра між користувачами, спільні думки користувачів мережі, сильні та слабкі зв'язки, авторитет користувача, швидкість поширення персональних даних в мережі, параметри розширення мережі, кількість співтовариств в мережі, канали поширення інформації, ідентифікація користувачів тощо.

Дослідження динамічної поведінки реального об'єкта захисту вимагає створення його математичної моделі. У багатьох випадках процедура розробки моделі полягає в складанні математичних системи рівнянь. В результаті координати стану системи і її параметри виявляються пов'язаними між собою, що дозволяє приступити до розв'язання диференціальних рівнянь при різних початкових умовах і параметрах.

Тому розробка нових та удосконалених методів підвищення рівня захищеності інформаційного простору соціальних мереж, які базуються на математичних моделях динамічних систем в залежності від специфічних параметрів соціальної мережі є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Більшість відомих підходів до моделювання, відрізняються тим, які параметри при моделюванні ними використовують в якості вхідної інформації та які характеристики модельованої системи розраховуються та надходять на вихід моделі. При цьому аналітичні моделі, що розглядаються з позиції теоретичної математики, не є тотожними реальній дійсності, зважаючи на обмежену точність результатів.

У роботі [1], вказується, що поведінка соціальної мережі змінюється з часом, тому вага користувача в соціальної мережі різна в кожному періоді часу. Таким чином, показник для оцінки ваги користувача в соціальній мережі залежить від точності метрики, яка використовується для визначення часового інтервалу. Нова метрика для визначення часових інтервалів базується на стандартному відхиленні та визначає, що вага користувача базується на простій експоненційній моделі згладжування. В роботі [2], досліджується всесвітня мережа, яка утворює великий орієнтований граф, вершинами якого є документи, а ребра – посилення, що вказують шлях від одного документа до іншого. Незважаючи на його очевидний випадковий характер, топологія цього графа має ряд універсальних характеристик. Представлена модель може описувати мережу без масштабування з певними процесами самоорганізації.

У роботі [3] проводиться виявлення підозрілої та незаконної поведінки в соціальних мережах, що є актуальним завданням під час аналізу соціальних мереж. Моделі взаємодії підозрілих користувачів значно відрізняються від їхніх товаришів і можуть бути ідентифіковані за допомогою методів виявлення аномалій. Зазначені методи можуть застосовуватись для мереж із лише одним типом взаємодії між користувачами. У цій роботі досліджується проблема виявлення аномалій у багатошарових соціальних мережах шляхом об'єднання інформації, доступної на кількох мережевих рівнях.

У роботі [4] вказується, що швидка цифрова трансформація та технологічні зриви в сучасних організаціях вимагають розвитку робочих місць, орієнтованих на людей, за допомогою яких співробітники зможуть підвищити рівень усвідомлення безпеки та відповідальності за свої дії завдяки участі в соціальних мережах.

У роботах [5,7,18] наведено результати імітаційного моделювання експерименту для вирішення завдання щодо запобігання поширенню забороненої інформації в соціальній мережі. Представлені інструментальні засоби імітаційного моделювання та їх особливості, що сприяють успішному застосуванню для моделювання соціальних мереж. Автори наводять приклад імітаційної моделі для виявлення зловмисників у соціальній мережі.

У роботі [6] вказується можливість передбачення та аналізу поведінки людини в соціальній мережі за результатами аналізу дій користувача: теми, настрої, відповіді на повідомлення, тощо. Для вирішення цього завдання представлено метод моделювання інтерактивної поведінки в соціальній мережі мікроблогів з урахуванням настроїв користувачів. Використовується стохастичний підхід, заснований на кількох агентах. В якості

прикладу досліджується мережа Twitter Барака Обама як егоцентрична мережа, щоб представити результати експериментального моделювання.

У роботах [8,11,13-15] досліджено динамічні нелінійні системи захисту соціальних мереж, які враховують показники довіри, репутації, взаємодії користувачів, розповсюдження інформації та конструктивних особливостей соціальних мереж. Показані результати стійкості системи захисту з використанням фазової площини.

У роботах [9,10] представлені моделі випадкових графів та їх застосування. Описано неявний соціальний граф, який формується взаємодією користувачів із контактами та групами контактів, і який відрізняється від явних соціальних графів, у яких користувачі явно додають інших людей як своїх «друзів». Представлено метрику взаємодії для оцінки спорідненості користувача з його контактами та групами. Запропоновано новий алгоритм створення групи друзів, який використовує неявний соціальний граф користувача, враховуючи невеликий початковий набір контактів, яких користувач уже позначив як друзів. Показано експериментальні результати, що демонструють важливість як неявних групових стосунків, так і рейтингу спорідненості на основі взаємодії для пропонування друзів. Аналізуються два застосування алгоритму Friend Suggest, які були випущені як функції Gmail Labs.

В роботах [12, 21] розглядається застосування теорії динамічного хаосу до вивчення соціальних явищ. Звернення до витоків створення теорії динамічного хаосу в природознавстві виявило нелінійні динамічні системи в природному середовищі (турбулентні потоки атмосфери, біологічні популяції тощо). Застосування теорії хаосу можливе також на мікро- та макрорівнях соціальних досліджень.

В роботах [16, 17] досліджуються соціальні мережі як феномен організації суспільства: сутність та підходи до використання й моніторингу.

В роботі [19] проведено аналіз характеристик соціальних графів, побудованих за даними соціальної мережі Twitter за тиждень, що дозволяє використовувати вказані характеристики для генерації моделей випадкових графів. Таке використання є корисним на етапах експериментального аналізу під час оцінки ефективності математичного та програмного забезпечення. Пропонується удосконалена модель зростання соціальної мережі, заснована на опосередкованому зв'язуванні вузлів. Для цієї моделі представлені результати комп'ютерного моделювання. Продемонстровано наявність фаз щільної та розрідженої мережі, а також обумовленість властивостей мережі з її густиною.

Разом з тим у всіх зазначених джерелах математичне моделювання розглядається як застосування математичної моделі конкретних параметрів (деякі параметри мають імовірнісний характер). Питання взаємозв'язку та глибини взаємозв'язку вхідних параметрів під час моделювання процесів не розглядаються. Ці чинники взаємозв'язку і взаємовпливу можуть істотно спотворити результати моделювання і поставити під сумнів адекватність моделі. Тому розробка нових та удосконалених методів підвищення рівня захищеності інформаційного простору соціальних мереж, які базуються на математичних моделях динамічних систем в залежності від специфічних параметрів соціальної мережі є актуальною.

Метою роботи є удосконалення моделі захисту даних у соціальної мережі за рахунок врахування специфіки соціальних мереж. Для цього необхідно провести дослідження впливу комплексу специфічних параметрів соціальної мережі на параметри захисту інформації, а також на основі лінійної моделі параметрів соціальної мережі перевірити лінійність системи захисту інформації.

Виклад основного матеріалу. Теоретичне дослідження динамічної поведінки реального об'єкта вимагає створення його математичної моделі. У багатьох випадках процедура розробки моделі полягає в складанні математичних рівнянь на основі фізичних законів. Зазвичай ці закони формулюються сукупністю диференціальних рівнянь. В результаті координати стану системи та її параметри виявляються пов'язаними між собою, що дозволяє приступити до розв'язання диференціальних рівнянь при різних початкових умовах і параметрах.

Згідно класичного підходу до захисту персональних даних, розрізняють:

$$T_i = [D_j, D_n, D_m, D_k, P_{ij}, N_{ij}, r_i R, V_i, V_j, C(G), y_i, y_j, L_i, I_{a,b}, I_a, P_i, P_j], \quad (1)$$

де: T_i – множина загроз від специфічних параметрів соціальної мережі,

D_j – довіра до надання послуг (людина довіряє певній компанії щодо надання якісних послуг або ресурсів),

D_n – довіра делегування (delegation trust) описує довіру до користувача (представника), що діє і виносить рішення від імені компанії, якій довіряє,

D_m – довіра доступу (access trust) описує довіру зі сторони провайдера до користувача, якому надається доступ до ресурсів. Цей контроль доступу використовується в системах автентифікації,

D_k – контекстна довіра, визначає міру довіри учасника в необхідні системи та інституційні механізми, що підтримують транзакції і забезпечують безпеку мережі,

r_i – репутація i -того користувача,

R – колективна сумарна репутацію членів СМ,

P_{ij} – позитивний вплив між користувачами,

N_{ij} – негативний вплив між користувачами,

V_i – позитивна взаємодія між користувачами,

V_j – негативна взаємодія між користувачами,

$C(G)$ – середній коефіцієнт кластеризації всіх вузлів графа,

y_i – можлива передача інформації між користувачами,

y_j – неможлива передача інформації між користувачами,

L_i – довжина шляху між користувачами,

$I_{a,b}$ – ідентифікація користувачів в мережах a і b ,

I_a – ідентифікація користувача в мережі,

P_i – ймовірність того, що зв'язок буде створений з даною вершиною при випадковому приєднанні,

P_j – ймовірність того, що зв'язок буде створений з даною вершиною при переважному приєднанні.

Зміна такої якості, як специфічні параметри соціальних мереж, є процесом, що має часовий інтервал. Позначимо кількість інформації в системі – I . Потік інформації за межі інформаційної системи позначимо через dI , швидкість зміни цього потоку – $\frac{dI}{dt}$. Логічно, що, якщо потік і швидкість зміни потоку дорівнюють нулю, то витоку інформації немає:

$$dI = 0; \quad \frac{dI}{dt} = 0. \quad (2)$$

Витік інформації залежить від захищеності системи – вжитих заходів з нейтралізації загроз безпеки персональних даних. Z – показник захищеності інформаційної системи. Складемо рівняння:

$$\frac{dI}{dt} = Z_p Z + (C_v + C_k) I, \quad (3)$$

де Z_p – коефіцієнт, що відображає вплив заходів щодо захисту інформації;

C_v – коефіцієнт, що відображає вплив швидкості витоку персональних даних;

C_k – коефіцієнт, що відображає вплив кількості персональних даних на їх витік.

Інтерпретувати дане рівняння можна наступним чином. Витік інформації залежить від:

- розміру інформаційної системи (так і від кількості персональних даних);
- швидкості витоку персональних даних;
- витоку інформації блокується захищеністю системи (заходами щодо нейтралізації загроз безпеки інформації).

Далі розглянемо, від чого залежить захищеність системи Z . Визначимо захищеність системи як здатність системи протистояти несанкціонованому доступу до конфіденційних персональних даних. Отже, захищеність системи буде залежати від:

- розмірів системи (так і від кількості персональних даних);
- загроз безпеки інформації від втрати довіри між користувачами;
- загроз безпеки інформації від взаємоемпіливу між користувачами;
- загроз безпеки інформації від взаємовідносин між користувачами;
- загроз безпеки інформації від приєднання між користувачами;
- загроз безпеки інформації від коефіцієнта кластеризації;
- швидкості витоку персональних даних; витік інформації купіюється захищеністю системи (заходами щодо нейтралізації загроз безпеки інформації);
- загроз безпеки інформації від поширення інформації між користувачами;
- загроз безпеки інформації від неідентифікації користувачів.

Складемо рівняння:

$$\frac{dZ}{dt} = D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i + \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} +$$

$$+ t (r + 1)^{-f} + EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in U} \Psi(y_v, x_u)) - I(C_{d2} + C_{d1}), \quad (4)$$

де D – довіра між користувачами,

R – загальна репутація користувачів мережі,

n_i – загальне число вершин графа в момент часу t ,

x_i – кількість зв'язків які має вершина графа в момент часу t ,

P_{ij}^m та N_{ij}^m – число позитивних і негативних шляхів довжини m , що йдуть від фактора x_i до фактору x_j , відповідно;

параметр α описує схильність суб'єкта до встановлення взаємодії, параметр β описує привабливість або популярність,

θ – щільність графа (оцінка – число ребер L),

ρ – характеристика тенденцій моделі до симетричності діад,

N – загальне число вершин графа в момент часу t ,

$\sum_{v \in V} C_v$ – сумарне число зв'язків вершин графа в момент часу $t, f > 0$,

r – кількість користувачів з якими може поділитися даний користувач інформацією,

t – користувач мережі, який знаходиться на визначеному вузлі, унарна енергія Φ і бінарна енергія ψ .

Ці дві енергетичні функції є дійсними і невід'ємними. Унарна енергія відповідає за схожість профілю в графі A і його проекції в B з точки зору полів профілів, а бінарна енергія відповідає за близькість між проекціями вершин v та u в графі B .

Об'єднаємо рівняння (3) і (4) в систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dZ}{dt} &= D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i + \\ &+ \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} + t (r+1)^{-f} + EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in u} \Psi(y_v, x_u)) - I(C_{d2} + C_{d1}); \\ \frac{dI}{dt} &= Z_p Z + (C_v + C_k)I. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Знайдемо стаціонарну позицію системи, що описується рівняннями (5). Умови стаціонарності $dI = 0; \frac{dI}{dt} = 0$. Отже:

$$\left\{ \begin{aligned} D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i + \\ + \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} + t (r+1)^{-f} + EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in u} \Psi(y_v, x_u)) - I(C_{d2} + C_{d1}); \\ Z_p \bar{Z} + (C_v + C_k)\bar{I} = 0. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

З другого рівняння системи слідує:

$$\bar{I} = \frac{D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V}{(C_{d2} + C_{d1})} + \frac{\frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} + t (r+1)^{-f} + EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in u} \Psi(y_v, x_u))}{(C_{d2} + C_{d1})}. \quad (7)$$

Далі з першого рівняння системи рівнянь (6) знаходимо \bar{Z} .

$$Z_p \bar{Z} - \frac{D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V}{(C_{d2} + C_{d1})} + \frac{\frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} + t (r+1)^{-f} + EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in u} \Psi(y_v, x_u))(C_v + C_k)}{(C_{d2} + C_{d1})} = 0. \quad (8)$$

$$\bar{Z} = \frac{D_i + DR + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (\bar{P}_{ij} - \bar{N}_{ij}) / (\bar{P}_{ij} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i}{(C_{d2} + C_{d1})Z_p} + \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N} + t(r+1)^{-f} + \frac{EXP(-\sum_{v \in V} \Phi(y_v, x_v) + \sum_{v \in U} \Psi(y_v, x_u)(C_v + C_k))}{(C_{d2} + C_{d1})Z_p}. \quad (9)$$

Отже, умови позиції стаціонарності системи: рівняння (7), (9).

Результати моделювання системи (7), (9) відображено на рис. 1.

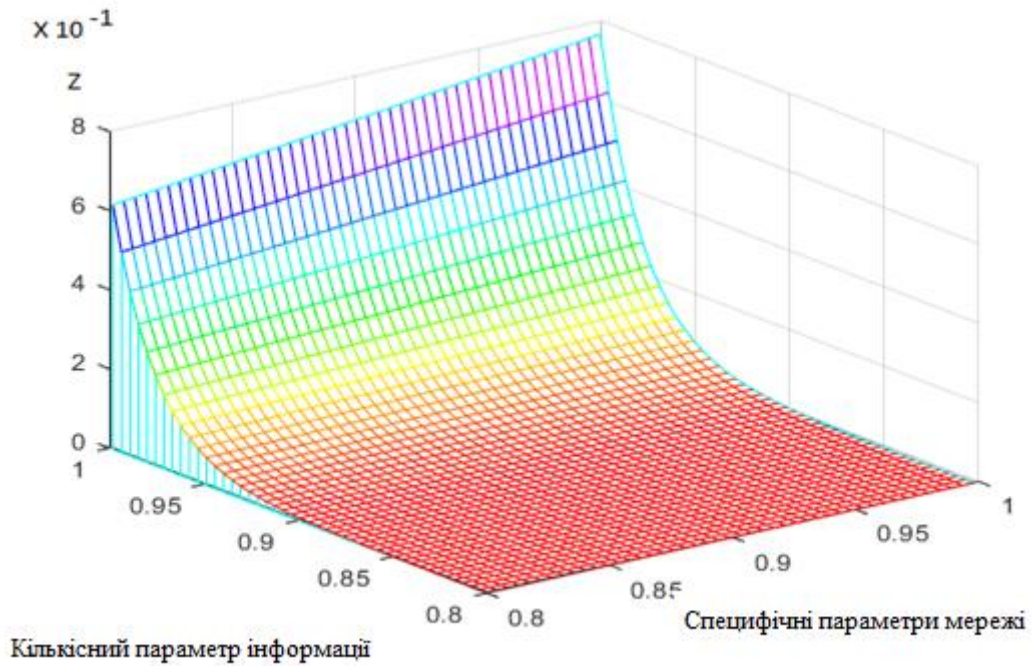


Рисунок 1 - Залежність захисту персональних даних від складових для рівняння (7), (9)

Вирішимо систему рівнянь (5) методом «малих відхилень»

$I = \bar{I} + I; Z = \bar{Z} + Z$. Отже, система рівнянь прийме вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dZ}{dt} &= R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v}) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + \\ &+ (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1}); \quad (10) \\ \frac{dI}{dt} &= Z_p (\bar{Z} + Z) + (C_v + C_K)(\bar{I} + I). \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI}{dt} &= (C_{d1} + C_{d2})Z - (C_v + C_K)I; \\ \frac{dZ}{dt} &= -I(C_{d2} + C_k) + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v}) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + \\ &+ (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - \\ &-(\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k)_i (C_v + C_k). \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Диференціюючи перше рівняння системи (11) отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 I}{dt^2} &= -I(C_{d1} + C_{d2})(Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v}) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + \\ &+ (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - \\ &-(\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k)) - (C_v + C_K) \frac{dI}{dt}. \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 I}{dt^2} + (C_v + C_K) \frac{dI}{dt} + (C_{d1} + C_{d2})(Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v}) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + \\ + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - \\ - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k))I = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Рівняння (13) є рівнянням гармонічного осцилятора з затухаючою амплітудою, де:

$$\omega_0 = \left((C_{d1} + C_{d2})(Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v})) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + \right. \\ \left. + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - I(C_{d2} + C_{d1}) \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (14)$$

$$\omega = \left((C_{d1} + C_{d2})(Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v})) + \frac{1}{n_i} + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + \right. \\ \left. + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1}) - \frac{(C_v + C_k)^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (15)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (16)$$

$$\beta = \frac{(C_v + C_k)}{2}. \quad (17)$$

Розв'язання рівняння гармонічного осцилятора розпадається на три випадки.

$$1. \beta < \omega_0: \quad I = A_0 \exp(-\frac{(C_v + C_k)}{2} \cos(\omega t + \varphi_0)). \quad (18)$$

$$2. \beta = \omega_0: \quad I = (A_0 + B_0 t \exp(-\frac{(C_v + C_k)}{2} t)). \quad (19)$$

$$3. \beta > \omega_0: \quad I = A_0 \exp(-y_1 t) + B_0 \exp(-y_2 t), \quad (20)$$

де

$$y_{12} = \beta \pm \left(\frac{(C_v + C_k)^2}{4} - (C_{d1} + C_{d2} + Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v})) + \frac{1}{n_i} + \right. \\ \left. + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \right. \\ \left. + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k) \right)^{\frac{1}{2}}.$$

На рис. 2, 3, 4 наведено залежності показника захищеності інформаційної системи з урахуванням умов (18), (19), (20).

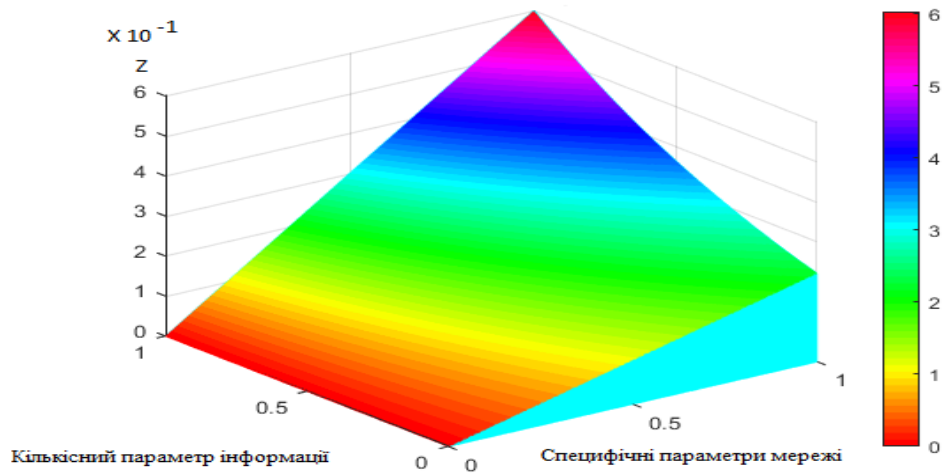


Рисунок 2 - Залежність захисту персональних даних за умови (18)

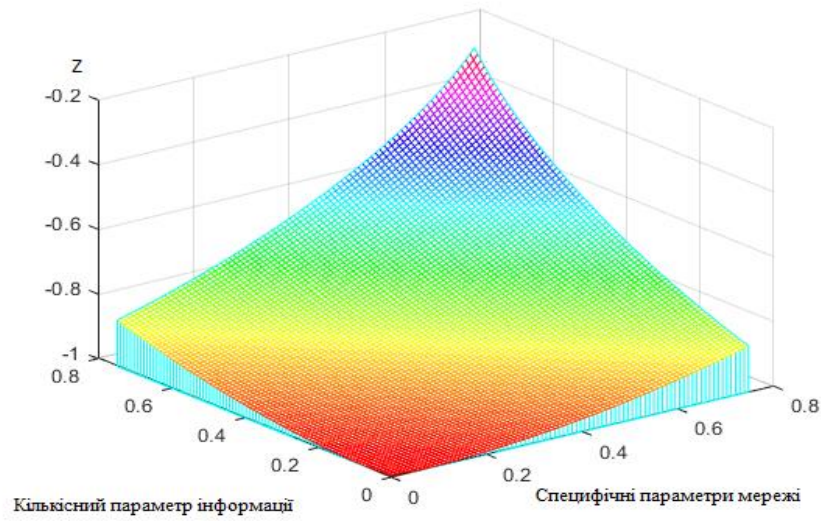


Рисунок 3 - Залежність захисту персональних даних за умови (19)

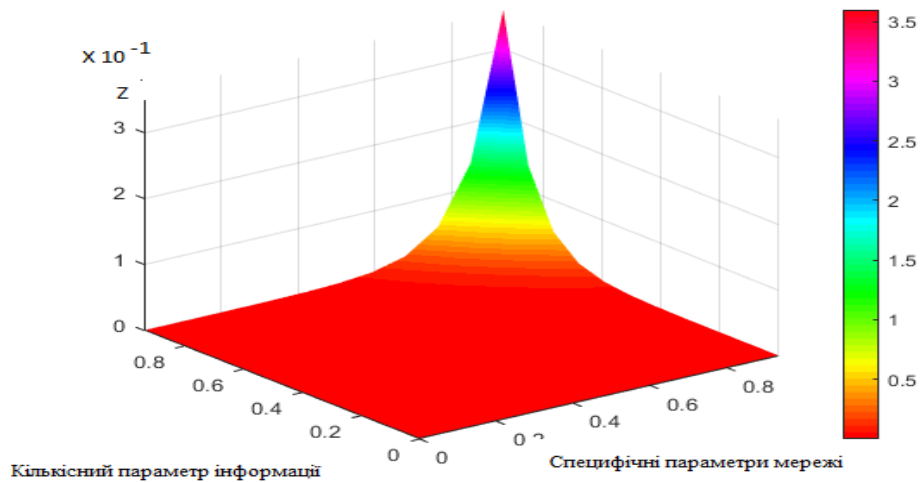


Рисунок 4 - Залежність захисту персональних даних за умови (20)

Розглянувши три варіанти розв'язання рівняння близько стаціонарного стану системи, можна прийти до висновку, що, виходячи з умов співвідношення дисипації і власної частоти коливань величини, загасання останньої до певного значення здійснюється періодично, з затухаючою амплітудою, або за експоненціальним згасаючим законом. Виконаємо більш наочний аналіз поведінки системи, перейшовши від диференціальної форми рівнянь (5, 6) до дискретної і промодельовавши деякий інтервал існування системи. А саме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{I_{n+1} - I_n}{\Delta t} = (C_{d1} + C_{d2})Z_n - (C_v + C_k)I_n; \\ \frac{Z_{n+1} - Z_n}{\Delta t} = Z_p - (C_{d2} + C_{d1})I_n - (Z_p + R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v})) + \frac{1}{n_i} + \\ + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \\ + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k)(C_v + C_k)I_n. \end{array} \right. \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{n+1} = I_n + (C_{d1} + C_{d2})Z_n - (C_v + C_k)I_n \Delta t; \\ Z_{n+1} = Z_n + (Z_n - I_n(C_{d2} + C_{d1} + Z_p + (R + DR + D_i + ((x_v + y_v) - e^{x_u + y_v})) + \frac{1}{n_i} + \\ + \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n x_i} + (C_v + C_k)_i \cdot (C_v + C_k) + (\bar{P}_{ij} - \frac{N_{ij}}{P_{ij}} + \bar{N}_{ij}) + (\alpha + \beta + \theta + \rho)V_i - \frac{\sum_{v \in V} C_{v1}}{N^2} + \\ + \frac{ft (r+1)^{-f}}{r-1} - (\bar{I} + I)(C_{d2} + C_{d1})(C_v + C_k)(C_v + C_k)) \Delta t. \end{array} \right. \quad (22)$$

Виходячи з умови стаціонарної позиції системи, I та Z будуть дорівнювати 0.5 та 0.5. Крок моделювання прийемо за 0.1 для всіх ітерацій моделювання. Величини I_{sp} , Z_{sp} відображають стаціонарні значення параметрів, якщо такі були досягнуті за кінцеве число ітерацій. Далі проведемо імітаційне моделювання для значень $\beta < \omega_0$, $\beta = \omega_0$, $\beta > \omega_0$ з відхиленням від стаціонарної позиції системи (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри моделювання

№	Z_p	I	Z	C_v	C_{d1}	C_{d2}	C_k	D	R	Параметри
1	1	0,5	1	2	3	3	1	1	1	$\beta < \omega_0$
2	1	0,5	1	0,6	1	1	0,6	1	1	$\beta = \omega_0$
3	1	0,5	1	6	1	1	6	0,5	1	$\beta > \omega_0$
№	x_v	$y_v I$	$y_u Z$	n_i	V_i	x_i	P_{ij}	N_{ij}	α	Параметри
1	1	0,5	1	1000000	0,1	0,5	1	1	0,8	$\beta < \omega_0$
2	1	0,5	1	1000000	0,1	1	1	1	0,8	$\beta = \omega_0$

3	1	0,5	1	1000000	0,1	1	6	0,5	0,8	$\beta > \omega_0$
№	β	θ_I	ρ	n	C_{v1}	N	f	t	r	Параметри
1	0,5	0,2	0,5	1000000	1	0,5	1	1	1	$\beta < \omega_0$
2	0,5	0,2	0,5	1000000	1	0,5	1	1	1	$\beta = \omega_0$
3	0,5	0,2	0,5	1000000	1	1	6	0,5	1	$\beta > \omega_0$

Візуалізація результатів (рис. 5-7).

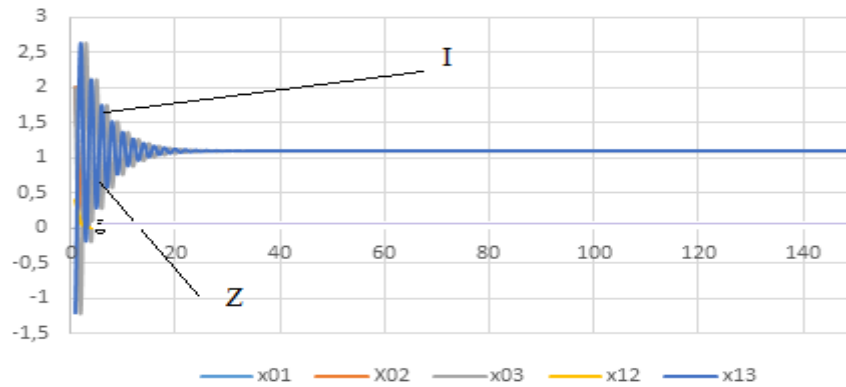


Рисунок 5 - Залежність інтенсивності та захисту даних від кількості ітерацій, дані складових взято з табл. 1: $\beta < \omega_0$, через і позначено кількість ітерацій

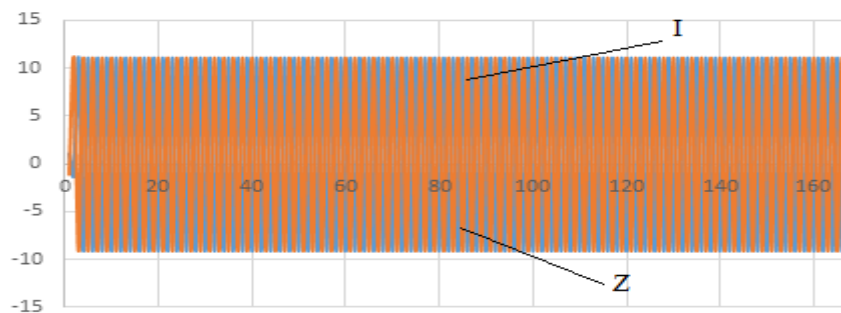


Рисунок 6 - Залежність інтенсивності та захисту даних від кількості ітерацій: $\beta = \omega_0$, $D_i=0,5$

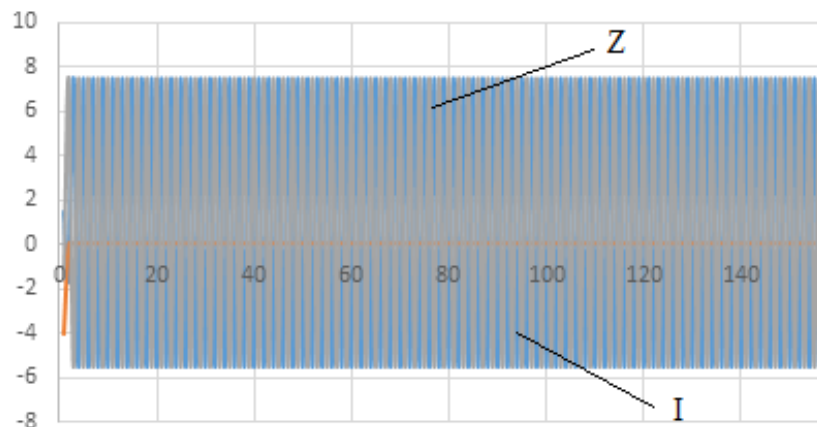


Рисунок 7 - Залежність інтенсивності та захисту даних від кількості ітерацій: $\beta > \omega_0$, $D_i=0,1$

Аналіз графічних залежностей лінійної системи рис. 8 вказує на нелінійність системи. Як бачимо з аналізу графіків, коефіцієнт захисту соціальної мережі не приймає нульові значення, що цілком відповідає реальності. Не може бути захист інформації при відсутності довіри до інформації, інформація у такому випадку просто існує та не потребує захисту бо користувачу інформація не потрібна. Бачимо, що коефіцієнти, які залежать від репутації на багато менш впливають на коефіцієнт захисту ніж коефіцієнти, які залежать від довіри. Це теж цілком відповідає логічному мисленню, бо параметр репутації обумовлює необхідну умову, але не достатню. Достатня умова залежить від параметру довіри.

Таким чином результати моделювання остаточно довели, що головним параметром який впливає на захист інформації є параметр довіри. Інші специфічні параметри соціальної мережі впливають на коефіцієнт захисту значно менше.

Висновки. Удосконалено математичну модель захисту інформації в соціальної мережі в залежності від її специфічних параметрів.

Проведено імітаційне моделювання удосконаленої моделі захисту інформації у соціальної мережі в залежності від її специфічних параметрів. Отримані графічні результати, які відображають актуальну картину захисту інформації соціальної мережі від зовнішніх впливів. Результати моделювання показали, що коефіцієнти, які залежать від репутації на багато менш впливають на коефіцієнт захисту ніж коефіцієнти, які залежать від довіри. Це доводить, що параметр репутації лежить в основі необхідної умови, але не достатньої. В основі достатньої умови лежить довіра. Отримані результати підтверджують адекватність розробленої математичної моделі захисту інформації у соціальної мережі.

Подальший розвиток запропонованої моделі полягає у більш детальному розгляді специфіки соціальної мережі та параметрів інформаційного захисту.

REFERENCES:

1. Akhramovich V.M. Limit probabilities of data security and user interaction in the social network. *Magyar Tudományos Journal*. Budapest, Hungary. 2020. № 41, pp. 25–31. www.magyar-journal.com.
2. Amin Mahmoudi, Mohd Ridzwan Yaakub, Azuraliza Abu Bakar. The Relationship between Online Social Network Ties and User Attributes. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data* Volume 13, Issue 3, July 2019, Article No. 26, pp. 1–15 <https://doi.org/10.1145/3314204>
3. Barabasi L. A., Albert R., Jeong H. Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web. *Physica A*. 2000. V. 281, pp. 69–77.
4. Bindu P.V., Thilagam P.S., Ahuja D. Discovering suspicious behavior in multilayer social networks. *Computers in Human Behavior*, Vol. 73, 2017, pp. 568–582.
5. Dang-Pham D., Pittayachawan S., V. B. Applications of social network analysis in behavioural information security research: Concepts and empirical analysis. *Computers & Security*, Vol. 68, July 2017, pp. 1–15.
6. Davydenko V.A., Romashkina G.F., Chukanov S.N. Modelirovanie sotsial'nykh setei [Modeling social networks]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta – Vestnik TSU*, No. 1, 2005, pp. 68–79.
7. Gatti M. Large-Scale Multi-agent-Based Modeling and Simulation of Microblogging-Based Online Social Network. *Multi-Agent-Based Simulation XIV. MABS*. 2014, pp. 17–33.
8. Gubanov D., Chkhartishvili A. A conceptual approach to the analysis of online social networks. *Upravlenie bol'shimi sistemami – Large-Scale Systems Control*, No. 45, 2013, pp. 222–236.
9. Akhramovich V.M. Communication and influence of users in social networks. *Colloquium-journal*. Warszawa, Polska. 2020. №3 (55), pp. 21–25.
10. Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Oksana Kovtun, Olga Leshchenko, Kseniia Dukhnovska, Anatoliy Biehun. The Method dynamic TF-IDF. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, Volume 8. No. 9, September 2020, pp. 5713–5718. DOI:10.30534/ijeter/2020/130892020
11. Barabash Oleg, Laptiev Oleksandr, Tkachev Volodymyr, Maystrov Oleksii, Krasikov Oleksandr, Polovinkin Igor. The Indirect method of obtaining Estimates of the Parameters of Radio Signals of covert means of obtaining Information. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, Volume 8. No. 8, August 2020, pp. 4133 – 4139. DOI:10.30534/ijeter/2020/17882020

12. Vitalii Savchenko, Oleh Ilin, Nikolay Hnidenko, Olga Tkachenko, Oleksandr Laptiev, Svitlana Lehomina, Detection of Slow DDoS Attacks based on User's Behavior Forecasting. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, Volume 8. No. 5, May 2020, pp. 2019 – 2025. DOI:10.30534/ijeter/2020/90852020
13. Lubov Berkman, Oleg Barabash, Olga Tkachenko, Andri Musienko, Oleksandr Laptiev, Ivanna Salanda The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, Volume 8. No. 5, May 2020, pp. 1920 – 1925. DOI:10.30534/ijeter/2020/73852020
14. Laptiev Oleksandr, Shuklin German, Savchenko Vitalii, Barabash Oleg, Musienko Andrii and Haidur Halyna, The Method of Hidden Transmitters Detection based on the Differential Transformation Model. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*, Volume 8, No. 6. November - December 2019, pp. 2840 – 2846. DOI: 10.30534/ijatcse/2019/26862019
15. Oleksandr Laptiev, Savchenko Vitalii, Serhii Yevseiev, Halyna Haidur, Sergii Gakhov, Spartak Hohoniants. The new method for detecting signals of means of covert obtaining information. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020). Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp. 176 –181.
16. Valentyn Sobchuk, Volodymyr Pichkur, Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Kovalchuk Igor, Amina Zidan. Algorithm of control of functionally stable manufacturing processes of enterprises. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020). Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp. 206 –211.
17. Vitalii Savchenko, Oleksandr Laptiev, Oleksandr Kolos, Rostyslav Lisnevskiy, Viktoriia Ivannikova, Ivan Ablazov. Hidden Transmitter Localization Accuracy Model Based on Multi-Position Range Measurement. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings Kyiv, Ukraine, November 25-27, pp. 246 –251.
18. Oleg Barabash, Andrii Musienko, Spartak Hohoniants, Oleksandr Laptiev, Oleg Salash, Yevgen Rudenko, Alla Klochko. Comprehensive Methods of Evaluation of Efficiency of Distance Learning System Functioning. *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, IJCNIS. Vol. 13, No. 1, Feb. 2021, pp. 16–28. DOI: 10.5815/ijcnis.2021.01.02
19. Serhii Yevseiev, Oleksandr Laptiev, Sergii Lazarenko, Anna Korchenko, Iryna Manzhul. Modeling the protection of personal data from trust and the amount of information on social networks. Number 1 (2021), «EUREKA: Physics and Engineering», pp. 24–31. DOI:10.21303/2461-4262.2021.001615
20. Laptiev O., Savchenko V., Kotenko A., Akhramovych V., Samosyuk V., Shuklin G., Biehun A. Method of Determining Trust and Protection of Personal Data in Social Networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, Vol. 13, No. 1, 2021, pp. 15–21.
21. Oleksandr Laptiev, Vitalii Savchenko, Andrii Pravdyvyi, Ivan Ablazov, Rostyslav Lisnevskiy, Oleksandr Kolos, Viktor Hudyma. Method of Detecting Radio Signals using Means of Covert by Obtaining Information on the basis of Random Signals Model. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, Vol. 13, No. 1, 2021, pp. 48–54.
22. Oleg Barabash, Oleksandr Laptiev, Valentyn Sobchuk, Ivanna Salanda, Yulia Melnychuk, Valerii Lishchyna. Comprehensive Methods of Evaluation of Distance Learning System Functioning. *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*. Vol. 13, No. 3, Jun. 2021, pp.62–71. DOI: 10.5815/ijcnis.2021.03.06
23. Bataeva I.P. Information protection and information security. *NiKa*. 2012. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-informatsii-i-informatsionnaya> (10.06.2019).
24. Vynnyk V. D. Social networks as a phenomenon of the organization of society: the essence and approaches to the use and monitoring. *Philosophy of Science*. 2012. №4 (55), pp. 110–126.

**Doctor of Technical Sciences Lukova-Chuiko N.V.,
Doctor of Technical Science Laptev O.A.,
Doctor of Technical Science Barabash O.V.,
Doctor of Technical Science Musienko A.P.,
Doctor of Technical Sciences Akhramovich V.M.**

**THE METHOD OF CALCULATION OF PERSONAL DATA PROTECTION ON THE BASIS
OF A SET OF SPECIFIC PARAMETERS OF SOCIAL NETWORKS**

In Ukraine, the right to protection of personal data is a constitutional guarantee, and the protection of personal data is one of the areas in which such a guarantee should be implemented. The subject of our research will not be objects in general, but dynamic systems of information protection in social networks in the mathematical sense of the term. The study developed a linear mathematical model and conducted a survey of the model of protection of personal data from a set of specific network parameters and the intensity of data transmission in social networks.

Dependencies are considered: the amount of information flow in the social network from the components of information protection, personal data, and data flow rate; security of the system from the size of the system and from the amount of personal data; information security threats from a set of specific network parameters. A system of linear equations is obtained, which consists of the equation: rate of change of information flow from social network security and coefficients that reflect the impact of security measures, amount of personal data, leakage rate, changes in information protection from a set of specific network parameters, its size, personal data protection. As a result of solving the system of differential equations, mathematical and graphical dependences of the indicator of personal data protection in the social network on various components are obtained. Considering three options for solving the equation near the steady-state of the system, we can conclude that, based on the conditions of the ratio of dissipation and natural frequency, the attenuation of the latter to a specific value is carried out periodically, with attenuation: amplitude, or exponentially fading law. A more visual analysis of the system behavior is performed, moving from the differential form of equations to the discrete one and modeling some interval of the system's existence.

Mathematical and graphical dependences of the frequency of natural oscillations of the system, the period of oscillations, and the attenuation coefficient are presented. Simulation modeling for values with deviation from the stationary position of the system is performed. As a result of the simulation, it is proved that the social network protection system is nonlinear.

Keywords: social network, information flow, trust, reputation, modeling, protection factor, security, information protection.

МАТЕМАТИЧНІ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ

Стаття присвячена розробці математичних функціонально-статистичних моделей об'єктів контролю і управління, здійснюється аналіз диференціальних систем рівнянь, які визначаються за допомогою таких методів: метод диференціальних рівнянь, метод квазілінійних рівнянь, метод Монте-Карло. При розробці математичної функціонально-статистичної моделі враховується те, що мережа як об'єкт управління може складатися з систем всіляких класів і видів. Ці системи можуть бути автономними і неавтономними, замкнутими і розімкненими, стаціонарними і нестаціонарними, неперервними і дискретними. Тому для побудови математичної функціонально статистичній моделі необхідно використовувати досить загальний математичний апарат, який при відповідних змінах може бути поширений на окремі випадки. Крім того, при побудові математичної функціонально-статистичної моделі об'єкту необхідно також мати уяву про основні критерії, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю і управління. До цих критеріїв перш за все відносяться: час, необхідний для виконання процесу в цілому і його складових; імовірність безвідмовної роботи; імовірність виконання завдання різними мережними елементами, що входять в об'єкт, і об'єктом в цілому; імовірність помилки; затримка передачі інформації, що управляє; коефіцієнт готовності; відсоток втрати пакетів; точність роботи різних складових інформаційної мережі (величина відхилення параметрів від норми); вартість, споживана енергія і інші важливі показники.

Проводиться аналіз та побудова системи рівнянь, яка дозволяє визначити функціональний стан об'єкту, комплекс системи контролю і виконати оцінювання її ефективності. Це дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Для контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому. Критеріями оптимальної роботи системи управління є її продуктивність і надійність, які визначаються конкретними показниками оцінки (наприклад, часом реакції, коефіцієнтом помилок, вартістю системи тощо). Ці параметри, що прямо або побічно впливають на критерії оптимальності, можуть варіюватися з метою підвищення показників ефективності роботи системи управління.

Ключові слова: процес управління, контроль мережею, математичні функціонально-статистичні моделі, інформаційна модель.

Вступ. На сьогодні в умовах постійного розвитку послуг зв'язку замовників інформаційних мереж спеціального призначення насамперед цікавлять якісні і кількісні показники цих мереж. Для забезпечення високоякісного обслуговування абонентів в умовах впровадження новітніх технологічних рішень у цій галузі і для надання інформаційних послуг має бути створена система управління, яка дасть можливість проводити моніторинг і швидке відновлення мережевих елементів керування, потоку та роботи для підтримки мережевого зв'язку; завчасно віднаходити й усувати несправності та забезпечувати оперативне підключення споживачів нових послуг. Саме від організації управління залежить безпечність та конкурентна спроможність мережі.

Постановка проблеми. Предметом перевірки й управління інформаційної мережі, може бути все оснащення, а також в цілому вся мережа. Візьмемо до уваги важливий момент – мережа визначається складною системою, яка безпосередньо підлягає управлінню, а відповідно складність процесу контролю і управління стає складністю об'єктів. Дослідивши

складність всього процесу контролю і управління, встановлено, що цей процес в основному обумовлюється складністю об'єктів.

Метою статті є розробка математичних функціонально-статистичних моделей об'єктів управління і контролю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час дослідження для математичного опису системи управління розглянуто функціонально-статистичні моделі, які дозволяють визначити ймовірнісні характеристики інформаційної мережі як об'єкта управління.

Запропонована модель дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Об'єктом контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому.

Отже, для опису функціонування об'єкта було обрано математичну модель системи разом із об'єктивними та випадковими діями, які управляються сигналами контролю, які впливають на різні випадкові перешкоди – зовнішні збурення, що діють на об'єкт, а також діями, які відбуваються із середини та впливають на різноманітні функціональні блоки системи управління, а це дозволяє отримувати практично важливі результати.

На основі аналізу обраної моделі можна сформулювати основні завдання, що вирішуються автоматичною системою контролю і управління, а також синтезувати оптимальну систему управління мережею, визначаючи міру автоматизації та її ефективність.

Важливою проблемою управління інформаційною мережею в кризових ситуаціях є проблема неможливості оперативного отримання інформації, здійснення безперервного обміну спеціальною інформацією із заданими показниками якості і фактичними можливостями наявної інформаційної мережі, швидкого формування алгоритму дій в ускладнених ситуаціях, які виникатимуть на об'єктах, для запобігання негативним наслідкам різного походження.

Об'єктом контролю являється комплекс складних або простих статичних і динамічних систем, а також елементів.

При контролі і управлінні функціонування об'єкту можна розглядати як багатовимірну динамічну систему, що включає автоматизовані системи управління, як наведено на рис. 1.

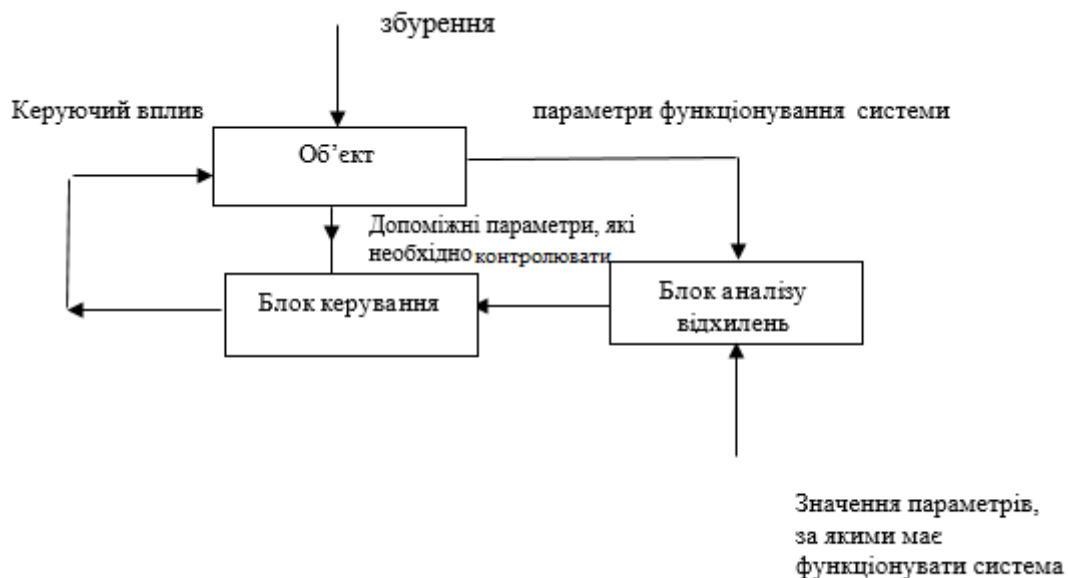


Рисунок 1 – Структурна схема системи управління багатовимірною динамічною системою

Параметри багатовимірного об'єкту, систем і блоків – величини, функціональні залежності або оператори, що є мірою якості об'єкту і характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції управління.

Стан об'єкта, який призводить до порушення контролю й управління об'єктом (збурення), можна описати за допомогою системи рівнянь, що є математичною функціональною моделлю [1]:

$$\sum_{p=1}^m M_{lp} \left(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right) \cdot X_p = F_l(t, \tau, X, Z) \quad (1)$$

де X – випадкова функція часу, яка характеризує вихідні параметри об'єкта;

Z – випадкова функція часу, яка характеризує зовнішні та внутрішні стани об'єкта й управління дій;

F_l – нелінійна функція часу;

$M_{lp} \left(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right)$ – многочлен оператора диференціювання;

t – поточне значення часу;

τ – момент часу.

Дана система рівнянь здатна описувати динамічний стан об'єкта, який керується автоматизованими системами управління.

Збурення, що діє на об'єкт за тим самим каналом, що й регулюючий вплив, називається внутрішнім, або основним. Інші збурення називаються зовнішніми. У межах невеликих відхилень цих величин промислові об'єкти регулювання можуть розглядатися як лінійні системи [2].

Внутрішні збурення розділяються на прямі і непрямі збурення. Прямі збурення – збурення, на які діють канали передачі інформації.

Непрямі збурення – збурення, які впливають на вихідні параметри за умови зміни мережевих параметрів.

Динамічну систему, яка знаходиться під впливом сигналів, а також станів системи, які спричиняють втручання у систему, можна визначити за вихідними параметрами, вектором-оператором динамічної системи, який заданий деякими математичними операціями – $A(t, \tau, X, Z, Q)$ або деякими лінійними і нелінійними диференційними рівняннями (1).

Завдяки різноманітним діям і збуренням вихідними параметрами об'єкта є випадкові функції часу.

У зв'язку з випадковим характером різних дій і збурень вихідні параметри, об'єкту будуть також випадковими функціями часу.

Кожній групі номінальних умов при $t = \tau_0, x_{01}, x_{0m}, \zeta_{01}, \dots, \zeta_{0k}$, номінальної області G_0 відповідає своє номінальне вирішення системи (3.1):

$$x_{0i} = \varphi_{0ij}(\tau_0, \tau, X_0, Z_0). \quad (2)$$

Кожній групі реальних умов в момент часу $t = \tau_1, x_1, x_m, \zeta_1, \dots, \zeta_k$ реальної області G_1 відповідає своє реальне вирішення системи (3.1):

$$x_i = \varphi_{ij}(\tau_1, \tau, X, Z). \quad (3)$$

Систему рівнянь за числом нелінійних операторів і вихідних параметрів представимо у вигляді m окремих рівнянь. Уявимо, що число вихідних параметрів дорівнює числу операторів, проте за деякими ознаками операторів може бути більше. Для v -го параметра (1) пасує рівнянням:

$$M_i(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q)x_i = F_i(t, \tau, x_g, Z). \quad (4)$$

Об'єктам, які реалізують функцію управління маршруту в мережі, яка має комутацію пакетів, число параметрів на виході може дорівнювати або бути більшим, можна записати у вигляді рівняння:

$$M_j(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_j)x_j = F_j(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_j); \quad (5)$$

$$M_a(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_a)x_a = F_f(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_a); \quad (6)$$

$$M_h(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_h)x_h = F_h(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_h). \quad (7)$$

Система рівнянь, за допомогою яких можна описати коефіцієнт передачі мережного елемента:

$$M_v(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_v)x_v = F_v(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_v); \quad (8)$$

$$M_\psi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_\psi)x_\psi = F_\psi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_\psi); \quad (8)$$

$$M_\phi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Q_\phi)x_\phi = F_\phi(t, \tau, \frac{d}{dt}, Z_\phi). \quad (10)$$

Якщо розглянути функціонування мережевого обладнання, то відхилення від норми є невеликими за зазначеннями і майже не впливають на роботу мережі. Зважаючи на це під час розгляду зазначених рівнянь, які безпосередньо характеризують функціонування мережевого обладнання, амплітудно-частотними характеристиками можна не брати до уваги. Зазвичай таке відхилення каналу компенсується коректором сигналу.

Регульовані параметри можуть бути залежними та незалежними. При функціонуванні мережного елемента, для приладу, якщо розглядати модем, зазвичай вважається, що відхилення параметрів від норми відбуваються з відносно великою частотою, але є невеликими за значенням і мало впливають на працездатність мережі.

Тому при складанні та аналізі рівнянь, що характеризують функціонування мережного елемента АФЧХ каналу можна знехтувати. Крім того, у загальному випадку відхилення АФЧХ каналу компенсується адаптивним коректором або властивістю інваріантності OFDM сигналу.

Таким чином, в деяких окремих випадках можна розглядати рівняння функціонування об'єкта по одному з регульованих вихідних параметрів (наприклад, ймовірності помилки) незалежно від інших параметрів.

При контролі об'єкта системи регулювання окремих параметрів можуть бути розімкненими, і тоді в залежності від обраного критерію оцінки готовності систем аналіз і синтез системи контролю та управління можуть значно спроститися.

Аналіз рівняння обуреного стану об'єкта в процесах контролю та управління дозволяє визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю та оцінки її ефективності. Однак більш повною характеристикою статичного і динамічного стану об'єкта є ймовірнісний опис за допомогою законів розподілу ймовірностей значень параметрів і векторів-операторів.

Запропонована модель дозволить безпосередньо визначити ймовірнісні появи поступових відмов систем об'єкта як у звичайному режимі, так і в умовах виникнення кризової ситуації, тобто максимальних навантажень. Об'єктом контролю і управління може бути будь-яке устаткування, а також вся мережа в цілому.

З метою перевірки достовірності теоретичних висновків були проведені експериментальні дослідження системи, результати наведені в табл. 1.

Вихідними даними для розрахунку є відомості про наступні параметри:

1. об'єкт управління та його параметри;
2. відхилення параметрів об'єкту від звичайних значень;
3. кількість та типи кореляційних зв'язків;

У кожному випадку при обранні об'єкту управління та їхніх параметрів, що виходять з потрібної точності розрахунків та потреб СУ.

Розрахунок за розробленою методикою виконаний на прикладі із даними об'єктами управління: цифровим МТС, службами передачі даних з протоколом; службами передачі даних за протоколом IP; установчо-виробничими АТС; лінійними трактами; системами

передачі з частотним розподілом каналів; системами передачі з часовим розподілом каналів; мережними трактами (первинні, вторинні, третинні); лініями передачі.

Дані параметри отриманні із аналізування нормативної та технічної документації для використання мережі.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№ параметра управління	Кількість інформації		Виграш з пропускної спроможності (час реакції системи = 250 мс)
	без урахування кореляційних зв'язків	з урахуванням кореляційних зв'язків	
1	7275,52	7275,52	
2	8027,29	7224,56	3211
3	7041,56	5633,25	5633
4	8258,10	5780,67	9910
5	7767,20	4660,32	12428
6	7881,99	3940,99	15764
7	7519,31	7519,31	
8	7232,99	6509,69	2893
9	6539,39	5231,51	5232
10	7931,05	5551,73	9517
11	7625,93	4575,56	12201
12	6931,12	3465,56	13862
13	7389,62	7389,62	
14	7968,35	7171,52	3187
15	7232,99	5786,39	5786
16	7232,99	5063,09	8680
17	7232,99	4339,79	11573
18	7232,99	3616,49	14466
19	7238,42	7238,42	
20	7310,67	6579,61	2924
21	7425,36	5940,29	5940

Практична цінність забезпечується можливістю врахування ємності управляючої інформації з переліком вимог до точності параметрів основної мережі. Така оцінка визначається дисперсією відхилення від математичного очікування. Чим більші вимоги до точності параметрів управляючої мережі, тим більша потрібна ємність управляючої інформації.

Висновки. Виходячи з аналізу, можна дійти висновку, що для побудови математичної функціонально-статистичної моделі необхідно використовувати досить загальний математичний апарат, який за умови відповідних змін може бути поширений на окремі випадки. Крім того, для побудови математичної функціонально-статистичної моделі об'єкту необхідно також мати уявлення про основні критерії, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю і управління, серед яких є наступні [3]:

- час, потрібний для виконання загального процесу та його складових;
- ймовірність безвідмовної роботи;
- ймовірність виконання завдання різними мережевими обладнанням, яке входять в об'єкт;
- ймовірність помилки;
- затримка передачі інформації щодо управління;

- коефіцієнт готовності;
- відсоток втрати пакетів; точність роботи різних складових інформаційної мережі (величина відхилення параметрів від норми);
- вартість тощо.

Аналізуючи рівняння збуреного стану об'єкта в процесах контролю і управління, можна визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю і оцінки її ефективності.

Регульовані параметри можуть бути як залежними, так і незалежними. При контролі об'єкту системи регулювання окремих параметрів можуть виявитися розімкненими, і тоді залежно від вибраного критерію оцінки готовності систем аналіз і синтез системи контролю і управління можуть значно спроститися.

Результати можуть бути використані для побудови математичної функціонально-статистичної моделі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bischof, C. (eds.) *Parallel Computing. Architectures, Algorithms and Applications* / C. Bischof, M. Bücker, P. Gibbon, G.R. Joubert, T. Lippert, B. Mohr, F. Peters. IOS Press, 2008.
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Об'єкт_керування
3. Yamamoto, Y. *Principles and Methods of Quantum Information Technologies* / Y. Yamamoto, K. Semba. Springer Japan, 2016
4. Бідюк О. П. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень / О. П. Бідюк, О. П. Гожий, Л. О. Коршевнюк. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012
5. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
6. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003.
7. Зубатенко В. С., Майстренко А. С., Молчанов И. Н. и др. (2006). Исследование некоторых параллельных алгоритмов решения задач линейной алгебры на MIMD-компьютерах. Искусственный интеллект, № 3, 129–138.
8. Моделирование информационных систем / Под ред. О.И. Шелухина. Учебное пособие. М.: Радиотехника, 2005, 368 с.
9. Моніторинг об'єктів в умовах апріорної невизначеності джерел інформації [монографія] / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, Л. О. Комарова, О. О. Лук'янов, В. М. Максимович, О. О. Писарчук, В. В. Ріппенбейн, Р. Т. Смуk, В. С. Стогній, Ю. Б. Сторонський, Б. М. Стрихалюк. Львів, 2015.
10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2006.
11. Стеклоv В.К. Інформаційна система: підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Телекомунікації». К.: Техніка, 2014.
12. Яковлев М. Ф., Нестеренко А. Н., Бруснікін В. М. (2014). Проблемы эффективного розв'язування систем нелінійних рівнянь на багатопроцесорних комп'ютерах MIMD- архітектури. Математичні машини і системи, № 4, 12–17.

REFERENCES:

1. Boev V.D. *Systems modeling. GPSS World tools*. SPb .: BHV-Petersburg, 2004.
2. Bischof, C. (eds.) *Parallel Computing. Architectures, Algorithms and Applications* / C. Bischof, M. Bücker, P. Gibbon, G.R. Joubert, T. Lippert, B. Mohr, F. Peters. IOS Press, 2008.
3. Bidiyuk O.P. *Computer systems for decision support* / O.P. Bidiyuk, O.P. Gozhiy, L.O. Korshevnyuk. - Mykolaiv: BSTU Publishing House named after Petra Mogili, 2012
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Object_control
5. Vishnevsky V.M. *Theoretical foundations of computer network design*. M .: Technosphere, 2003.
6. Zubatenko V.S., Maistrenko AS, Molchanov IN and others (2006). Investigation of some parallel algorithms for solving linear algebra problems on MIMD computers. *Artificial Intelligence*, № 3, 129–138.
7. *Modeling of information systems* / Ed. O.I. Shelukhina. Textbook. M .: Radiotekhnika, 2005, 368 p.
8. *Monitoring of objects in the conditions of a priori uncertainty of information sources* [monograph] / Yu. Ya. Bobalo, Yu. G. Danyk, L.O. Komarova, O.O. Lukyanov, V.M. Maksimovich, O. O. Pisarchuk, V.V. Rippenbein, R.T. Smuk, V.S. Stogniy, Yu. B. Storonsky, B.M. Strykhalyuk. Lviv, 2015.

9. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols. SPb .: Pityr, 2006.
10. Steklov V.K. Information system: a textbook for students of higher educational institutions in the field of "Telecommunications". K .: Technology, 2014.
11. Yakovlev M.F., Nesterenko A.N., Brusnikin V.M. (2014). Problems of efficient solution of systems of nonlinear equations on multiprocessor computers of MIMD-architecture. *Mathematical Machines and Systems*, № 4, 12–17.
12. Yamamoto, Y. Principles and Methods of Quantum Information Technologies / Y. Yamamoto, K. Semba. Springer Japan, 2016.

**Trofymchuk V.M., Doctor of Technical Sciences Stepanov M.M., PhD Ghirov G.B.
MATHEMATICAL FUNCTIONAL-STATISTICAL MODELS OF OBJECTS OF CONTROL
AND MANAGEMENT**

The article is devoted to the development of mathematical functional and statistical models of objects of control and management, analysis of differential systems of equations, which are determined using the following methods: method of differential equations, quasilinear equations, Monte Carlo method. When developing a mathematical functional-statistical model, it is taken into account that the network as an object of control can consist of systems of various classes and types. These systems can be autonomous and non-autonomous, closed and open, stationary and non-stationary, continuous and discrete. Therefore, to build a mathematical functional statistical model, it is necessary to use a fairly general mathematical apparatus, which with appropriate changes can be extended to individual cases. In addition, when building a mathematical functional and statistical model of the object, it is also necessary to have an idea of the main criteria by which the optimization of the characteristics of the control and management process. These criteria primarily include: the time required to complete the process as a whole and its components; probability of trouble-free operation; the probability of performing the task by various network elements included in the object, and the object as a whole; probability of error; delay in the transmission of control information; readiness factor; packet loss percentage; accuracy of work of various components of an infocommunication network (size of deviation of parameters from norm); cost, energy consumption and other important indicators.

The analysis and construction of the system of equations is carried out, which allows to determine the functional state of the object, the complex of the control system and to evaluate its efficiency. This will directly determine the probability of gradual failures of the object's systems both in normal mode and in the event of a crisis situation, maximum loads. For control and management can be any equipment, as well as the entire network as a whole. Criteria for optimal operation of the control system are its performance and reliability, which are determined by specific evaluation indicators (response time, error rate, system cost, etc.). These parameters, which directly or indirectly affect the criteria of optimality, can be varied in order to improve the efficiency of the control system.

Keywords: management process, network control, mathematical functional and statistical models, information model.

ТЕХНІЧНІ НАУКИ
(оформлені за вимогою Web of Science та Scopus)

UDK 531:535

Oksana Banzak
Doctor of Technical Science, Professor
State University of Intelligent Technologies and Communications (Odessa, Ukraine)
Serhii Lienkov
Doctor of Technical Science, Professor
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)
Oleksandr Sieliukov
Doctor of Technical Science, Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture
Antonina Gaber
PhD, Senior Researcher
State University of Intelligent Technologies and Communications (Odessa, Ukraine)
Svetlana Dobrovolskaya
Senior Researcher
State University of Intelligent Technologies and Communications (Odessa, Ukraine)

**DETECTOR MODELING USING CA-ZN-TE SOLID SOLUTION FOR RADIATION
MONITORING SYSTEMS**

Abstract

The article created a model of the primary converter - a gamma radiation sensor. It is based on the following properties of a semiconductor crystal: maximum quantum efficiency; maximum mobility of charge carriers; minimum density of structural defects; maximum values of resistivity and density. The combination of these properties provides a significant sensitivity of sensor with the minimum size of crystal. The inconsistency of such a combination must be eliminated both in the process of manufacturing a crystal (for example, a high-resistance crystal can be obtained by the simultaneous use of cleaning, components, and compensating doping) and subsequent processing by the methods proposed in this work (thermal field method, ionization annealing).

Among the known materials for gamma radiation sensors, single crystals of $Cdx-Zn_{1-x}Te$ solid solutions have the optimal combination of the above properties and possibilities of their preparation.

The advent of modern semiconductor sensors for the first time linked nuclear instrumentation and electronics into a single complex - a semiconductor detector. It combines a semiconductor primary converter of ionizing radiation (sensor), a secondary converter of information from the sensor (electronics) and software for processing this information, interconnected in terms of problem being solved and parameters. However, the development of nuclear energy and the spread of nuclear technologies have put forward new requirements for the control and metrology of ionizing radiation. The current level of nuclear instrumentation cannot fully satisfy them. The solution to this problem can be provided by the development of: methods for choosing the optimal type of semiconductor materials and controlling their properties to create uncooled detectors; sensors with higher resolution; electronics with lower noise level; computer methods and information processing programs with lower estimated costs; control systems for nuclear materials and the state of AES protective barriers that meet the requirements of the existing automatic control of radiation safety (ARS).

This article is devoted to the solution of such problems, which ensures the relevance of its topic. The main principle of solving the named scientific problem was results of nuclear-physical studies of the interaction of ionizing radiation with semiconductors, the development and experimental verification of physical-mathematical models of technological processes dosimetry and control of nuclear materials.

Introduction

Currently, almost all industries, many branches of science use sources of ionizing radiation (IR). Widely used in the defense industry, medicine, agriculture are nuclear power plants, gamma-ray plants of various capacities, flaw detectors, counters and many other equipment. However, the most important branch of the use of IR in Ukraine after the elimination of the combat nuclear potential is nuclear energy [1]. The country has five nuclear power plants (NPP) with two types of reactors, which generate about 40% of the country's total electricity [2].

In this regard, the problems of dosimetry, which today has become an independent scientific and technical area of nuclear physics, are becoming increasingly important. Dosimetry inherently solves the problem of relating physical quantities to the expected radiation effects of IR application. The main task of dosimetry is to identify sources of IR that pose a danger to the environment and humans. Today, it is solved using a variety of technical means of registration with varying degrees of efficiency. Comparative analysis of such means and methods of their application for registration and dosimetry is presented in this section [3]. In addition, the existing variety of terms and values in this industry requires some clarification in order to convey the reliability of the presented research results.

Materials and methods

The use of digital signal processing in gamma-ray spectrometers makes it possible to provide higher resolution, stability, and load capacity (input load) compared to analog methods [4, 5]. The modern elemental base of electronics makes it possible to convert the signal immediately after the preamplifier. Therefore, methods of direct processing sequence of input pulses are interest, in contrast to the methods of analog-to-digital conversion, which are typical for analog equipment [6]. The construction of the energy spectrum in a gamma spectrometer involves the selection in the input sequence of pulses with a leading edge duration within specified limits (about 20 ns for high-temperature semiconductor detectors [7, 8]), determining their amplitude and constructing a histogram that will show how many pulses and with what amplitude received at the input for a given time. The most crucial moment of this procedure is the determination of the amplitude of the input pulses.

The purpose of the spectrometric amplifier is undistorted transmission and amplification of the amplitude of the input signal, and not its shape or rising edge. Therefore, appropriate circuits need to select such a form of the frequency response of amplifier, in which the main frequency spectrum of the signal passes, but the noise spectrum is limited as much as possible. These requirements are contradictory, since the maximum signal gain requires a wide bandwidth, while for noise suppression, the bandwidth must be narrow. You can find the best forming circuits if you use some of the conclusions of the theory optimal radio reception methods developed by V. A. Kotelnikov et al. [9, 10, 11].

It is theoretically shown that the maximum signal/noise ratio in this case is achieved at equal integration and differentiation time constants $\tau_{CR}=\tau_{RC}=\tau$. In this case, the noise level is minimal at some optimal time constant τ_0 :

$$\tau_0=C\sqrt{R_S R_P} . \quad (1)$$

Then the noise level at the amplifier output is determined by the integral expression:

$$\overline{U_{uu}^2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty N(\omega) \frac{\omega^2 \tau^2}{(1+\omega^2 \tau^2)^2} d\omega = 4kT \frac{R_S}{8\tau} + \frac{4kT\tau}{8C^2 R_P} + \frac{A_f}{2} . \quad (2)$$

One of the important characteristics of the sensor is level of parasitic components of the signal - noise that is not related to the physical processes of interaction crystal with IR. The noise level determines the minimum threshold for detecting IR energy.

The conversion of the energy lost by the particle in sensor into an electrical signal of the appropriate amplitude occurs with an accuracy characterized by the resolution of system. The latter depends on many reasons, in particular, on the properties of amplifier. Indeed, since the amplitude of signal generated by a semiconductor sensor is small, the distortion of amplitude spectrum is due, first of all, to the modulation of noise pulses that occur in it and in the resistances. Randomly adding up with useful signals, the noise "blurs" the original amplitude spectrum. The amplitude distribution of noise is Gaussian:

$$p(U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(U_i - \bar{U})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

where σ^2 – variance or mean square deviation of the amplitude U_i from the mean value \bar{U} .

Let us assume that all other factors distorting the signal amplitude spectrum are negligible compared to the effect of noise and register monochromatic charged particles that leave all the energy in the sensor. In this case, the measured spectrum of signal amplitudes is also determined by expression (3). However, now \bar{U} – is the average amplitude of the signal, and σ is determined by the noise, with σ equal to $\sqrt{U_n^2} = U_n$ voltage of the noise. The width of the curve at half maximum is called the

resolution $\frac{1}{2}\Delta$. By substituting the value $p(U) = \frac{1}{2}p(\bar{U})$ into equation (3), it is easy to obtain

$\frac{1}{2}\Delta = 2.36\sigma$. By measuring the resolution in units of energy (in electronvolts), one can determine which part of the energy corresponds to the noise level recalculated to the input of a given amplifier [12, 13, 14].

The absolute value of capacitance C_d , as well as parasitic capacitance C_s , largely determines the noise level, and with it the energy resolution of the charge-sensitive preamplifier. The current flowing through the leakage resistance R_L is another source of noise, which also leads to poor energy resolution.

Results

The presented model of the primary converter makes it possible, taking into account the real properties of the crystal, to calculate the dependences of the energy equivalent noise on the time constant of the input stage of the preamplifier (Fig. 1).

The use of digital signal processing in gamma-ray spectrometers makes it possible to provide higher resolution, stability, and load capacity (input load) compared to analog methods [12, 13]. Figure 4 shows an off-scale image of a typical segment of the preamplifier output signal containing two pulses [11]. The duration of the leading edge of a single pulse is – $\Delta t = 20$ ns, the decay constant of the trailing edge is – $\alpha = 20$ mks. The amplitude is expressed in ADC increments. The simplest first way to determine the impulse amplitude in such an input sequence is to find the difference between the local minimum and the subsequent local maximum. Let's introduce the following designations of the input signal: $f_1(t)$ – function describing the fall of the first impulse; $f_2(t)$ – function describing the decay of the second impulse.

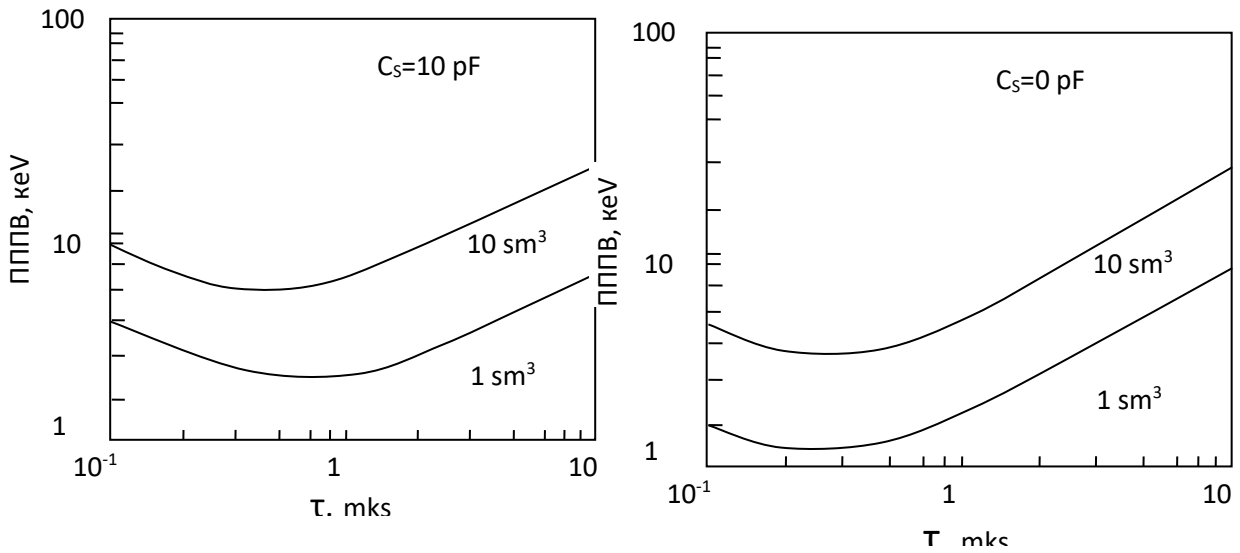


Fig. 1 Dependence of noise ($\frac{1}{2}\Delta_E$) on the charge formation time for the spectrometric path with CdZnTe sensors with a volume of 1 and 10^3 sm

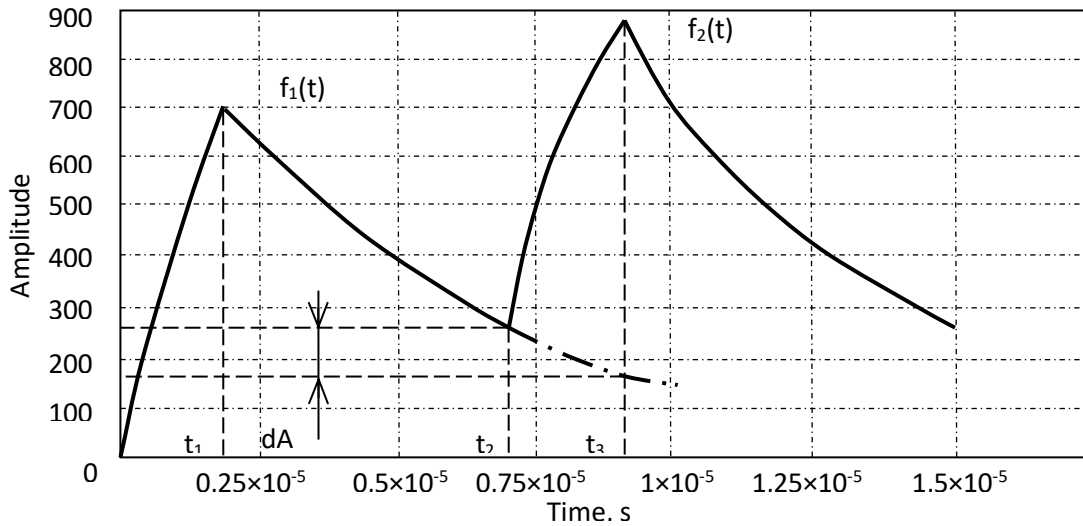


Fig.2 Analysis of the structure of a typical fragment of the input pulses of the preamplifier

Then, according to the first method, the amplitude of the second pulse is found as:

$$A^* = f_2(t_3) - f_1(t_2), \quad (4)$$

where t_3 and t_2 – times indicated in figure 2.

True pulse amplitude:

$$A = f_2(t_3) - f_1(t_3). \quad (5)$$

Hence, the error in determining the amplitude is:

$$dA = A - A^* = f_1(t_2) - f_1(t_3). \quad (6)$$

Figure 4 shows a plot of the mathematical expectation of the error depending on the download frequency for $A=700$, $\Delta t = 20 \cdot 10^{-9}$ s, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6}$ s. It can be seen from the graph that the error at a loading frequency of about 10^6 s⁻¹ can reach 1-2%.

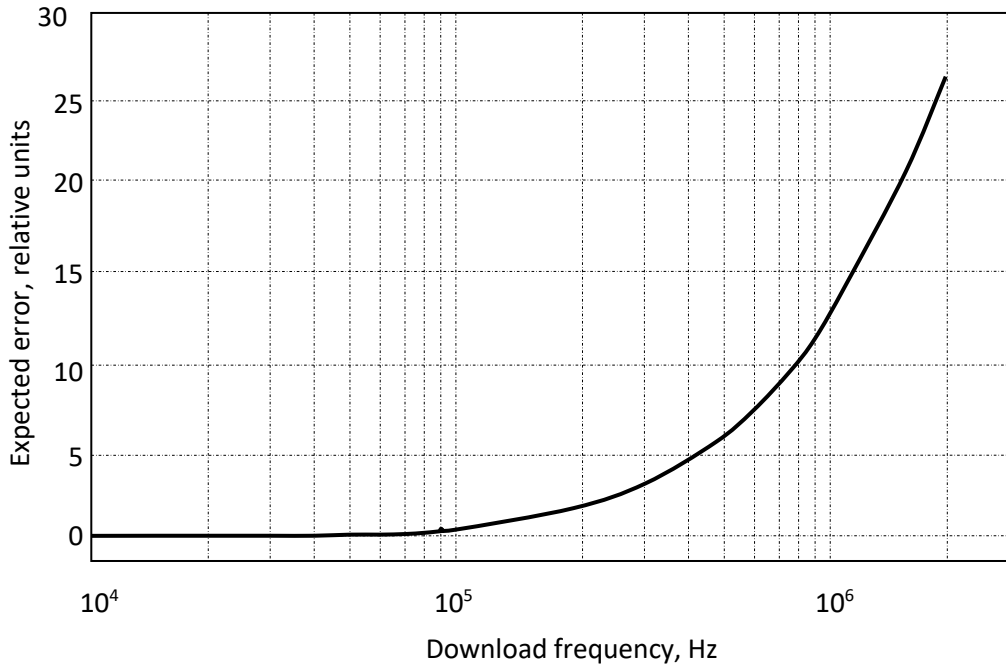


Fig. 3 Dependence of the expected error on the load frequency when determining the pulse amplitude by the method of its direct measurement between minima and maxima

This error can be avoided if we assume that the coefficient α depends on the sensor and preamplifier, i.e. is a constant value for a particular spectrometer and can be determined empirically. In particular, using the notation in fig. 3, we get:

$$\alpha = \frac{\ln(f_1(t_1)) - \ln(f_1(t_2))}{\delta t}. \quad (7)$$

Then the formula for the second method of determining the amplitude takes the following form:

$$A = f_2(t_3) - e^{-\alpha T} f_1(t_1). \quad (8)$$

The price to pay for the increase in accuracy in this method is an increase in the amount of computation. This must be taken into account when constructing spectrometers operating in real time. For a more complete comparison of the resolution methods described above, based on the model developed above, the process of measuring the pulse amplitude was simulated.

In this work, for the first time, an algorithm and a program for constructing the energy spectra of gamma radiation were created on the basis of above model. The spectra were constructed using the first (Fig. 3, 4) and second (Fig. 5, 6) methods.

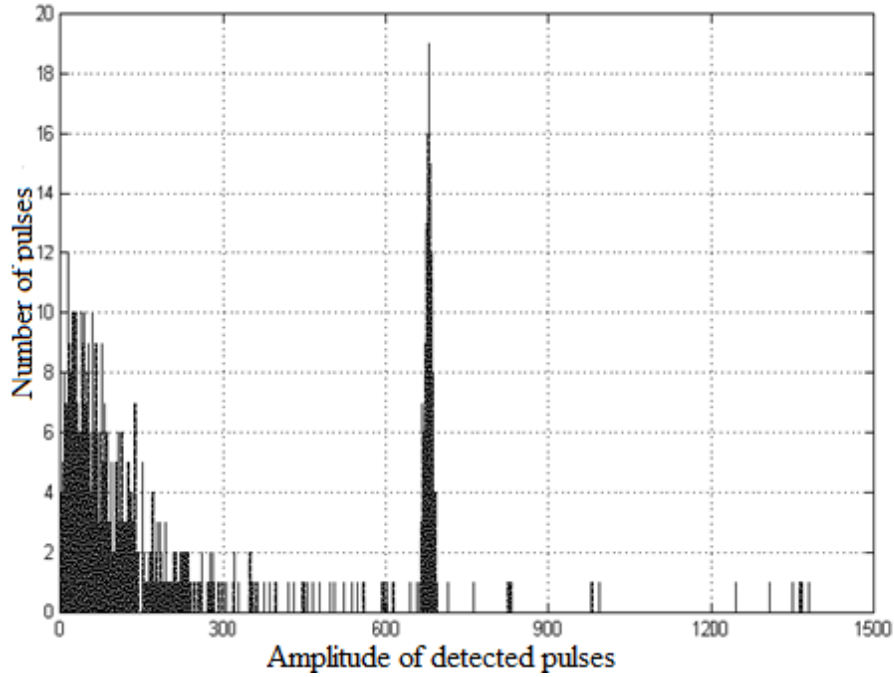


Fig. 3 Energy spectrum of pulses when using the first method for determining the amplitude

In the model, the input signal is an additive mixture of two independent Poisson pulse sequences and background noise:

– first sequence $A_1=698$, $\Delta t = 20 \cdot 10^{-9}$ s, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6}$ s;

– second sequence $A_2=700$, $\Delta t = 20 \cdot 10^{-9}$ s, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6}$ s.

The time intervals between pulses were random and had an exponential distribution density:

$$P(\tau) = \lambda \cdot e^{-\lambda\tau}, \tau \geq 0 \quad (9)$$

with flow $\lambda = 2 \cdot 10^5$ rate. The total download frequency, taking into account background, is 10^6 Hz. The simulated sampling rate in time is 10^8 Hz, the number of amplitude quantization levels is 1024, the simulated measurement time is 1 ms.

It can be seen from a comparison of figures 4 and 6 that the first method, unlike the second, does not allow resolution of spectral lines that are separated from each other by a value comparable to the calculated error.

At the same time, the use of the digital signal processing technique proposed in this work makes it possible to obtain an energy resolution not exceeding 40 keV by both methods. This is sufficient to create a dosimeter with compensation for the energy dependence of sensitivity (ESD). In addition, these results show that the second method is optimal for creating high-resolution spectrometers - less than 10 keV.

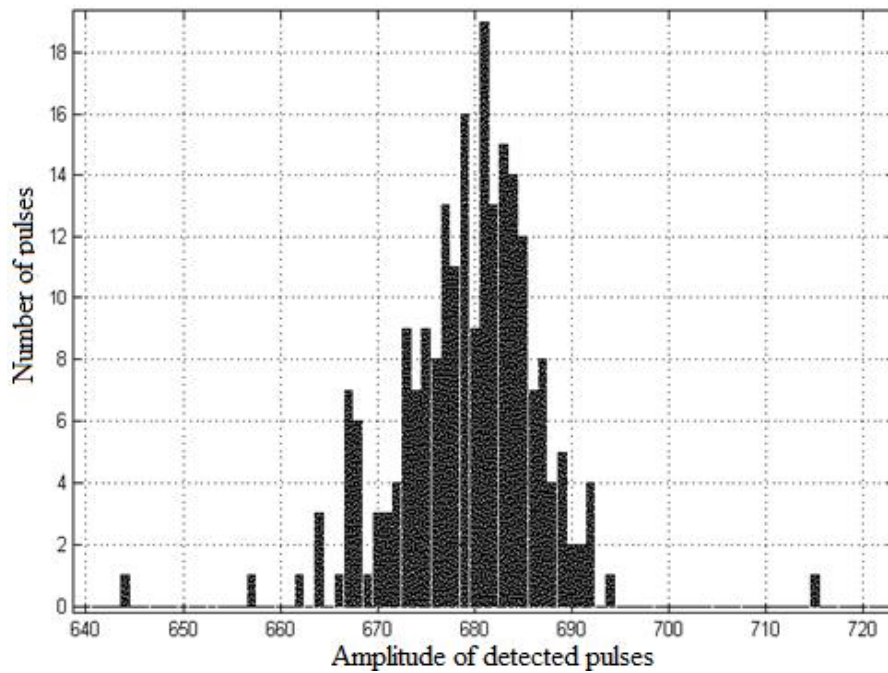


Fig. 4 A fragment of the spectrum shown in Figure 4, on an enlarged scale

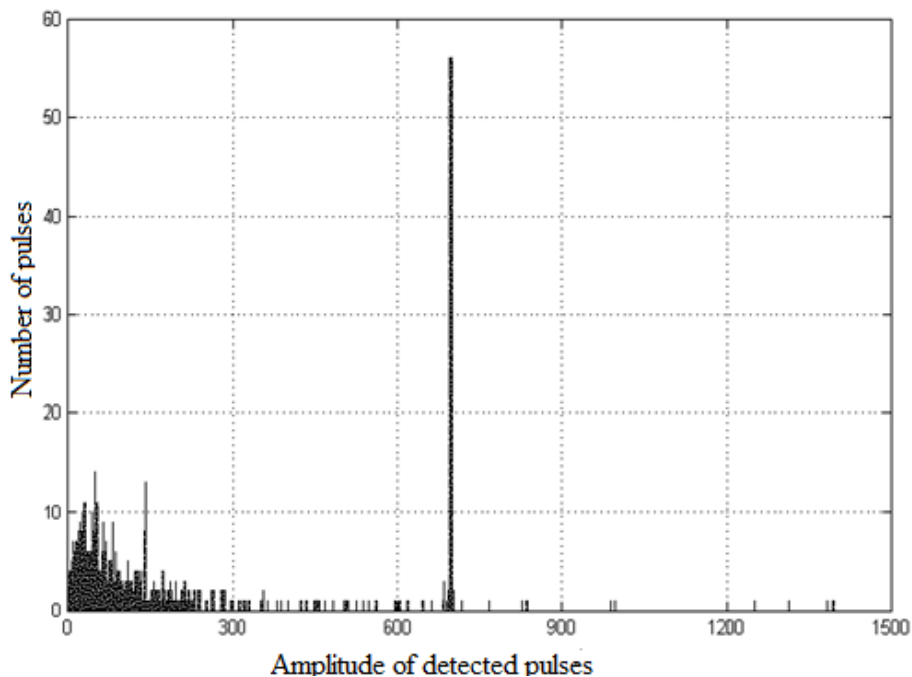


Fig. 5 Energy spectrum of pulses when using the second method for determining the amplitude

Thus, a comparison of two methods for determining the amplitude showed that at a low loading frequency ($<10^5 \text{ s}^{-1}$), the first method is preferable: it is characterized by a smaller amount of calculations with the same accuracy characteristics. At high loading frequencies (of the order 10^6 s^{-1} and more), preference should be given to the second method, which retains its accuracy and resolution.

In addition to the method for determining the amplitude of the pulses, the resolution of a digital gamma spectrometer is significantly affected by the choice of sampling frequency.

At a sampling frequency of 10 MHz and higher, the shape of pulse peak in the sampling interval can be considered triangular (Fig. 7).

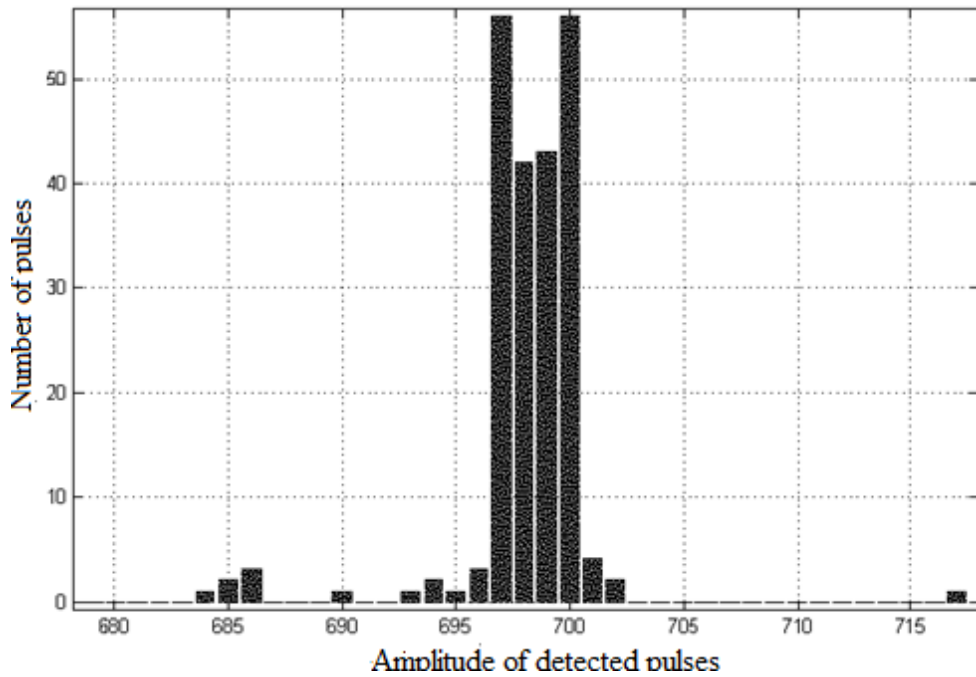


Fig. 6 Fragment of the spectrum shown in Figure 6, on an enlarged scale

The dependence of the amplitude of the maximum sample on the sampling frequency is shown in figure 7, where, for definiteness, the true amplitude of the input pulses is taken equal to 700 ADC quantization levels.

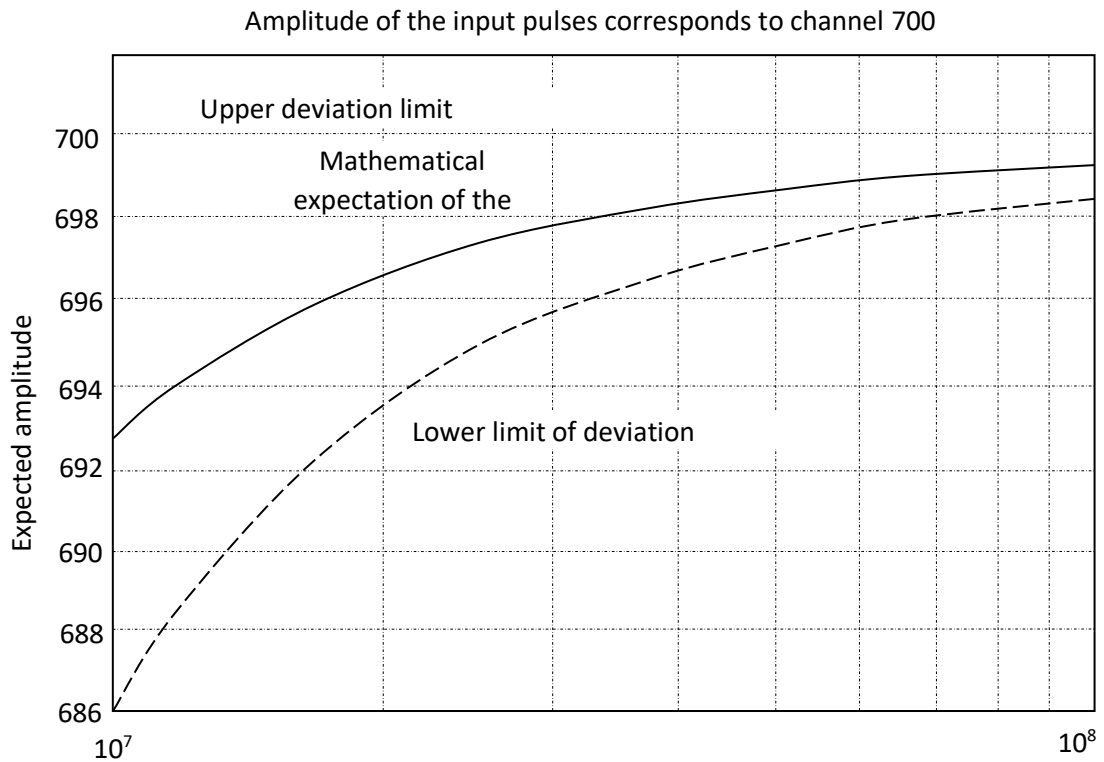


Fig. 7 Dependence of sampling error on its frequency

The plot of the expected amplitude of the maximum sample shows the location of the peak on the energy spectrum. As the sample rate increases from 10 to 100 MHz, the amount of peak reduction

from true (700) decreases from 1% to 0,1%. The deviation boundaries characterize the peak width in the spectrum, which affects the resolving properties of the spectrometer.

Thus, the model obtained makes it possible to estimate the influence of the sampling rate on the shift of the energy spectrum peaks and the resolving properties of the spectrometer when choosing the parameters of its hardware implementation.

When using direct digital processing, high resolution is achieved through efficient use of ADC bit depth.

The leading edge of the pulses is determined by the current generated movement of electrons and holes in the sensor, the trailing edge is determined by the constant discharge of the RC circuit in the preamplifier, and the constant component is determined by the large decay of the trailing edge of the pulse (about 20 μ s) compared to the average pulse repetition limit.

Therefore, in order to effectively use ADC bit capacity, DC component must be subtracted from its input signal. The dynamic range of the signal change must be consistent with the diagnostic range of ADC. To solve this problem, an appropriate scheme of a digital spectrometer is proposed.

In this circuit, the processor, based on the analysis of signals from ADC, sets the necessary gains for the first buffer amplifier and the bias for the adder.

The maximum gain in KU1 is chosen so that when measuring the minimum background, the signal at ADC input corresponds to its dynamic range. The minimum value of the gain must match the input signal with the dynamic range of ADC at the maximum frequency of loading with pulses of the maximum possible amplitude and zero offset.

Therefore, the spectrometer circuit must take into account the features of the output signal of the preamplifier, a typical view of which is shown in figure 8.

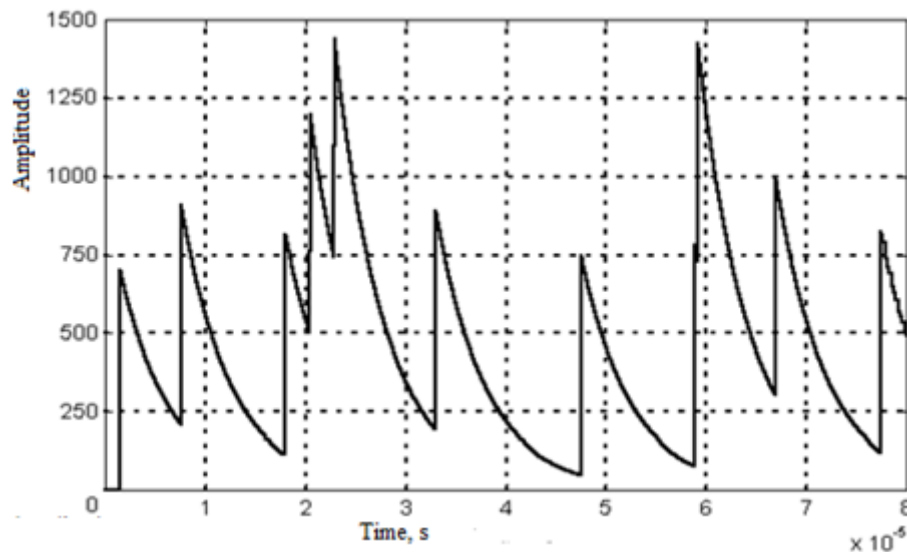


Fig. 8 Typical preamp output

It shows that when the loading frequency changes, the signal amplitude at preamplifier output increases by an order of magnitude. Based on this graph, the amount of offset should be able to change from zero to the amount of expected amplitude at a given load frequency. Similarly, the minimum gain should ensure that the signal is quantized with the maximum amplitude expected, with no clipping effects in the ADC and zero bias for the adders. In particular, if we proceed from the maximum amplitude of single pulses $A = 700$, the maximum loading frequency of 10^6 s^{-1} 100 times (here, it is additionally taken into account that the average value of the amplitude of a series of pulses is an order of magnitude less than the maximum amplitude of single pulses).

Conclusions

1. The model of the primary converter (sensor) makes it possible to calculate the dependence of the energy equivalent of noise δ_E on the properties of the input stage of preamplifier, taking into account the real properties of the crystal. This shows that:

- increase in the crystal volume, bias voltage and sensor capacitance increases the noise level;
- results of the analysis in relation to CdZnTe-crystals used in this work indicate the possibility of the sensor operation without cooling.

2. A model of a gamma radiation detector as a single system of primary and secondary converters has been created in this work. It contains a physical analysis and an analytical representation of the processes occurring in CdZnTe-sensor and electronic preamplifier. It is shown that the collection of charges in the sensor differs in time, which leads to a spread of signal pulses in duration and amplitude. In this regard, the model shows the need to use a charge-sensitive preamplifier. The main advantage of the model is the solution of the problem of optimizing the signal/noise ratio in the detector. This shows that:

- energy resolution of the charge-sensitive pre-amplifier is determined by the level of noise, which depends on the capacitance of the sensor, and hence on the bias voltage and the quality of the crystal;
- in order to obtain the maximum signal-to-noise ratio, it is necessary to choose the frequency response of the spectrometric path according to the theory of optimal filtering by V.A. Kotelnikovs; for this, filters of both low and high frequencies are necessarily included in the path; thus, the simplest shaper of a spectrometric amplifier should consist of a CR-RC filter; optimal shaping gives a signal/noise ratio gain of 26% compared to simple shaping.

3. Reducing the contribution of noise when using sensors with large crystals (more than 10x10x5 mm) in the detector, with a significant difference in the transport characteristics of charge carriers at high loads ($>10^6 \text{ c}^{-1}$) is possible using digital signal processing methods.

The paper proposes a block diagram and creates a multichannel digital amplitude analyzer that provides selection of the input signal according to the pulse shape at high loads, which is inaccessible to existing devices today. The use of such an analyzer made it possible to increase the energy resolution, the stability of the detector operation with an even greater increase in the input load of the measuring path.

4. A model of a digital spectrum analyzer has been built, which makes it possible to determine the optimal method for measuring the pulse amplitude in order to create a gamma-spectrometer with maximum resolution. On the basis of the model, for the first time, an algorithm and a program for modeling the energy spectra of gamma-radiation were created.

The model compares two proposed methods for measuring the pulse amplitude:

- both methods make it possible to obtain an energy resolution of no more than 40 keV, which is sufficient to create a dosimeter with compensation for the energy dependence of sensitivity;
- the first method has an accuracy of 1 ... 2%, lower computational costs and is preferable at a low loading frequency ($<10^5 \text{ c}^{-1}$);
- the second method makes it possible to obtain a resolution of less than 10 keV and is preferable for the spectrometer operation at a loading of more than 10^6 c^{-1} .

The created model makes it possible to choose the optimal value and evaluate the influence of the sampling rate on magnitude of the shift energy spectrum peaks and resolution of gamma-spectrometer.

References

- [1] Lenkov S.V., Mokritsky V.A., Peregudov D.A., Tarielashvili G.T. (2002), Physical and technical foundations of radiation technology of semiconductors. *Monograph. Odessa: Astroprint*, 297 p.
- [2] Garkavenko A.S. (2012) Radiation modification of the physical properties of wide-gap semiconductors and the creation of high-power lasers on their basis. *Lvov: ZUKTs*, 258 p.
- [3] Banzak O.V., Maslov O.V., Mokritsky V.A. (2013) New generation semiconductor detectors for radiation monitoring and dosimetry of ionizing radiation. *Monograph. Odessa: Publishing house "VMV"*, 220 p.

- [4] Awadalla S., Mackenzie J., Chen H., eds. (2010) Characterization of detector-grade CdZnTe crystals grown by traveling heater method (THM). *Journal of Crystal Growth*. Vol. 312, issue 4. 507-513.
- [5] Grybos P. (2010) Front-end Electronics for Multichannel Semiconductor Detector Systems. *EuCARD Editorial Series on Accelerator Science and Technology, Vol.08, Institute of Electronic Systems Warsaw University of Technology*. 201 p.
- [6] Dumitrescu A. (2010) Comparison of a digital and an analogical gamma spectrometer at low count rates. *U.P.B. Sci. Bull., Series A*, Vol. 73, Iss. 4, 127-138.
- [7] Lienkov, S., Myasischev, A., Banzak, O., Husak, Y., Starynski, I. (2020) Use of Rescue Mode for UAV On the Basis of STM32 Microcontrollers. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(3), 3506-3513.
- [8] Maslov O., Mokritsky V., Banzak O. (2013) Passive Computer Gamma- Tomography of Nuclear Fuel. *ANIMMA. Third International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications. Marseille, June 23-27, Book of Abstracts*, 51.
- [9] Maslov O.V., Maksimov M.V. Kalnev L.L. (2008) The Improved CdZnTe Dose Rate Probe. *IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and 16th Room Temperature Semiconductor Detector Workshop, Dresden: 19–25 Oct.*, 12-87.
- [10] Kurt E., Kotomin A. (2004) Radiation Effects in Solids Proceedings of the NATO. *Advanced Study Institute on Radiation Effects in Solids, held in Erice. Sicily, Italy, 17-29 July Series: Nato Science Series II: (closed)*. 592 p.
- [11] Maslov O. Multiple energies passive computer tomography of nuclear fuel. *Proceedings of the International Ukrainian-Japanese Conference on Scientific and Industrial Cooperation. Odesa 24 – 25 October*. 114-116.
- [12] Masuruk K., Bryskewicz T. (1981) Dopant incorporation during liquid phase epitaxy. *J. Appl. Phys.*, V. 52., N3. part 1., 1347–1350.
- [13] Mokritsky V.A., Maslov O.V., Banzak O.V. (2019) Methods and means controls of nuclear materials and state of protective barriers at nuclear power plants. *Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. MIKNU*, № 63., 66 – 72.
- [14] Mokritskij V.A., Maslov O.V., Banzak O.V. (2019) The detector on basis of CdZnTe-gauge for systems radiating-technological control. *Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. MIKNU*, № 58., 68 - 73.

Д. т.н., проф. Банзак О.В. (ДУІТЗ), д.т.н., проф. Ленков С.В. (ВІКНУ),
д.т.н., проф. Сєлюков О.В. (КНУБА), к.т.н., доц. Габер А.А. (ДУІТЗ),
Добровольська С.В. (ДУІТЗ)

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТЕКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ СА-ZN-ТЕ ДЛЯ СИСТЕМ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація

У статті створено модель первинного перетворювача – датчика гамма-випромінювання. Вона ґрунтується на наступних властивостях кристала напівпровідника: максимальна квантова ефективність; максимальна рухливість носіїв заряду; мінімальна густина дефектів структури; максимальні значення питомого опору та щільності. Поєднання цих властивостей забезпечує значну чутливість датчика при мінімальних розмірах кристала. Суперечливість такого поєднання необхідно усувати як у процесі виготовлення кристала (наприклад, високоомний кристал отримувати одночасним застосуванням очищення, компонентів та легування, що компенсує), так і подальшою обробкою в цій роботі методами, що запропоновані (термопольовий метод, іонізаційний відпал).

Серед відомих матеріалів для датчиків гамма-випромінювання оптимальним поєднанням перерахованих вище властивостей і можливостями їх отримання мають монокристали твердих розчинів $Cd_x-Zn_{1-x}Te$.

Поява сучасних напівпровідникових датчиків уперше пов'язало ядерне приладобудування та електроніку в єдиний комплекс – напівпровідниковий детектор. У ньому поєднуються взаємопов'язані за задачею, що розв'язується та параметрами напівпровідникового первинного перетворювача іонізуючого випромінювання (датчик), вторинного перетворювача інформації від датчика (електроніка) та програмне забезпечення для обробки цієї інформації.

Однак розвиток атомної енергетики, поширення ядерних технологій висунули нові вимоги до контролю та метрології іонізуючих випромінювань. Сучасний рівень ядерного приладобудування неспроможна задовольнити їх у повною мірою. Вирішення цієї проблеми може бути забезпечене розробкою: методів вибору оптимального типу напівпровідникових матеріалів та управління їх властивостями для створення детекторів, що неохолоджуються; датчиків з більшою роздільною здатністю; електроніки з меншим рівнем шумів; комп'ютерних методів та програм обробки інформації з меншими розрахунковими витратами; систем контролю ядерних матеріалів та стану захисних бар'єрів АЕС, які відповідають вимогам існуючого автоматичного контролю радіаційної безпеки.

Вирішенню таких завдань присвячено цю статтю, що забезпечує актуальність її теми. Основним принципом вирішення названої наукової проблеми стали результати ядерно-фізичних досліджень взаємодії іонізуючих випромінювань з напівпровідниками, розробка та експериментальна перевірка фізико-математичних моделей технологічних процесів дозиметрії та контролю ядерних матеріалів.

Ключові слова: первинний перетворювач, датчик гама-випромінювання, напівпровідниковий детектор, радіаційна безпека, іонізуючі випромінювання.

UDC 004.27; 621.382

Yurii Gunchenko
Doctor of Technical Science, Professor
Odesa National University named I.I. Mechnykov
Yurii Shugailo
PhD
Odesa National University named I.I. Mechnykov
Yurii Bercov
Odesa National University named I.I. Mechnykov
Larysa Martynovych
Odesa National University named I.I. Mechnykov

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ELEMENTS OF TERNARY LOGIC

Abstract

The analysis of the constructed ternary elements and prospects of their development is actual. There are different ways of implementing ternary elements. The problem of development the multivalued logic is the lack of common approach to the implementation of components and elements of non-binary computers. The goal of the work is the comparative analysis the current state of the methods of construction of ternary elements. The history and prospects of development the methods of construction of ternary elements and computer systems on their basis are considered. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of such methods of constructing ternary elements as threshold elements of ternary logic based on magnetic elements, ternary elements based on λ -transistor, CMOS transistor and CMOS-C transistors, on binary logic, mathematical models of ternary elements based on neurons, threshold element on bipolar transistors and multithreshold element of multivalued logic according to the main criteria, such as: speed, power consumption, complexity of the structure, the possibility of integrated implementation was made. The future directions of work and expediency of development of subjects of construction of ternary elements and systems on their basis are outlined. All the considered methods of implementation of ternary elements have a number of significant disadvantages. Only using the multithreshold element of multivalued logic allows to create the ternary elements with general approach. One of the obstacles hindering the development of ternary technology is the lack of element base and a common approach to the implementation of components and elements of non-binary computers. Implementing ternary devices based on threshold logic is a way to create ternary devices that can compete with binary devices in terms of equipment.

Keywords: *ternary logic, multivalued logic, methods of construction of ternary elements, threshold element, multithreshold element of multivalued logic.*

Introduction

Today, computer technology is evolving at a tremendous rate like never before. They are all based on binary logic, which is a natural consequence of the physical characteristics of semiconductors. One and zero - is currently the basis of all computational processes in computers and other "smart" devices. As the size of the transistors further decreases, the technological process of production and control becomes more complicated [1]. Every 24 months, the number of transistors in the CPU chip doubles - this trend is known as "Moore's Law", and it cannot last forever: the scale of elements and connections can be measured in nanometers, and very soon developers will face a number of technical difficulties. We can assume that the technology of integrated circuits due to large investments and many years of effort has been brought to perfection. A breakthrough in this area is possible only with the emergence of radically new ideas that carry promising prospects [2]. Intel has concluded that one

of the possible ways to solve the problem may be to move from binary to more significant systems, including ternary [3].

Ternary logic - logic that uses three meanings of truth: "truth", "untruth", "I do not know". It was proposed by Jan Lukasevich in 1920 [4]. As a rule, the signs "-" and "+" are used to determine the states "false" and "true", the third state corresponds to the value "0", it means a symmetrical number system is used. It is more understandable and closer to human understanding, but also the following sets are very popular: $\{0, 1, 2\}$, $\{-1, 0, 1\}$, $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$, $\{N, Z, P\}$. Based on ternary logic, you can build ternary technology and ternary computing systems. The analysis of the constructed ternary elements and prospects of their development is actual. It is necessary to analyze the current state of different ways of implementing ternary elements, which of them were implemented and how, that's what this article is devoted. **The object of study** is the process of analysis the current state of the methods of construction of ternary elements and computer systems on their basis. The different ways of construction of ternary elements are aimed to improve the different characteristics. Therefore, the improvement the speed leads to an increase in equipment. **The subject of study** is the different methods of construction of ternary elements, their advantages and disadvantages.

Problem statement

Suppose a list of n inputs is given, each of which can take one of three values. In a way, they are converted into m outputs, each of which can take two values, which together form one or more ternary functions. In contrast to existing approaches, current coding of ternary levels is proposed. This allows you to combine any number of outputs, which forms the total level of the ternary signal. The limitations of this problem are the lack of a common approach to building the element base of ternary systems, and, as a result - the lack of element base, as well as models and methods of building these elements. Using a multi-threshold element of multi-valued logic (MTEML) as a basic will allow you to build the necessary elements of ternary logic and create models and general methods of their construction.

Theseus Logic proposes to use "extended binary" (actually - Ternary) logic, where in addition to the usual values of "true" and "false" there is a separate signal "NULL", which is used for self-synchronization of processes [5]. Several other research groups are working in the same direction.

Let's consider some examples of ternary elements on the basis of which it is possible to implement devices of ternary computer systems.

Back in 1958, the first ternary computing machine "Setun" was built. It was relatively small for computers of that generation and covered an area of 25-30 m². Due to its sophisticated architecture, it was able to perform 2000-4500 operations per second, had a memory of 162 nine-titrate cells and a storage device on a magnetic drum with a capacity of 36-72 pages of 54 cells each [6]. In many parameters, such as clock speed, range of processed numbers and performance, it is ahead of its binary counterparts.

After "Setun" there were several experimental projects carried out by enthusiasts (such as the American Ternac and TCA2) [7], but these were either very imperfect machines, far from binary analogues, or software emulations on binary "iron". To date, ternary logic has not yet become widespread. The main reason for this is that the use of ternary elements in computers does not yet give any significant advantages over binary: binary elements are mass production; they are simpler and cheaper in cost. Even if a ternary computer, inexpensive and similar in features to a binary computer, were to be built now, it would have to be fully compatible with it.

Known threshold elements of ternary logic on magnetic elements (TETLM), on which computers "Setun" were built [8, 10, 12]. A characteristic feature of TETLM is the representation of ternary values -1, 0, +1 discrete fixed currents -If, 0, +If, execution of threshold functions of ternary logic by algebraic addition of currents (amperes) in the input circuits of elements, the ability to divide ternary values into their two-digit components and make them from these components. TETLM are made based on electromagnetic technology on magnetic cores [9, 11].

Setun's ferrite memory differed from binary computers in that each memory cell could store one of three different values. Memory was a matrix of ferrite rings. On each ring there were three windings

(Fig. 1). This allowed us to write one of the values 0, 1, -1. Access to the matrix is serial, which significantly reduced the speed of reading / writing trit.

Disadvantages of the threshold element of ternary logic on magnetic elements - built on outdated technologies on magnetic cores, as a result of which it has low speed and cannot be implemented by means of modern integrated semiconductor technologies.

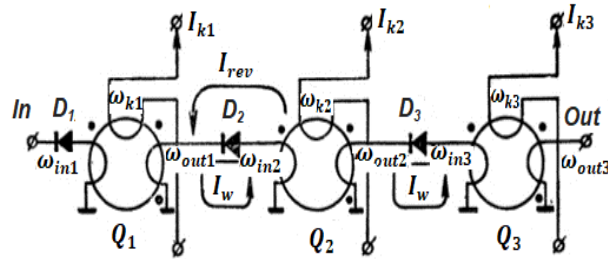


Fig. 1 Ferrite diode logic elements

There have also been attempts to create ternary logic elements on a traditional element base. But the proposed schemes were unattractive, as they consumed energy in static mode. Some sources [13] suggest using a lambda transistor (λ -transistor) to build ternary logic elements (Fig. 2). It is built either on field-effect JFET transistors or on field-effect transistors with a built-in channel. However, the λ -transistor is not able to solve the problem of power consumption by the logic element, as at zero voltage on the base (logic 0), the transistor conducts a significant current.

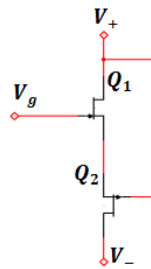


Fig. 2 Scheme of NLT λ -transistor

Some developers have managed to improve the energy-dynamic characteristics of CMOS circuits - their circuits were able to work in a symmetrical ternary system. The ternary element "NO" on CMOS transistors can have a simple implementation as in Fig. 3. But this circuit has a drawback - when the third signal is generated, both transistors must be turned on, this leads to high power consumption. To reduce consumption, it is necessary to complicate the scheme.

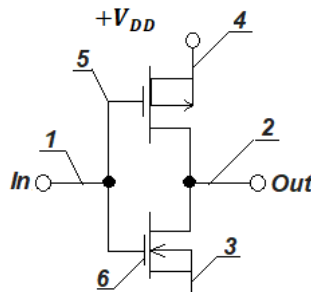


Fig. 3 Ternary element "NO" on CMOS transistors

Fig. 4 shows a circuit of a ternary disjuncter on MOSFETs [14]. The introduction of MOS transistors 8 and 9 with a built-in n-type channel, as well as new structural connections allows you to implement a transistor disjuncter based on ternary logic.

A ternary disjunctive on MOS transistors has two output buses, two n-type induced transistors and two more p-type induced transistors, a resistor, a common positive power bus, a negative power bus, and an output bus.

Disadvantages of these circuits: a large number of transistors in the logic element, complexity, and the use of transistors with high threshold values (created technological difficulties in the manufacture of integrated circuits based on such elements, reduced performance and increased power consumption in dynamic mode).

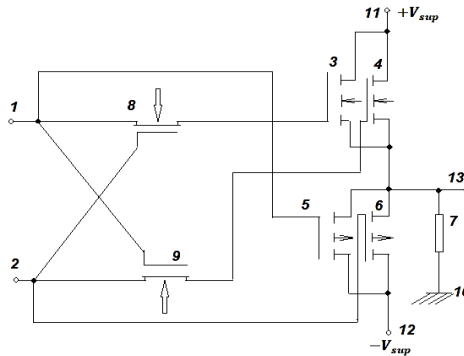


Fig. 4 Ternary disjunctive on MOSFETs

The ternary signal is transmitted by one wire. To encode a logical zero, zero voltage relative to the common point ("ground") is used, to encode a logical "-1" - a negative voltage, and for a logical "+1" - a positive voltage. Thus, a symmetrical power supply with three outputs is required to power ternary logic elements. This ternary basic element on CMOS transistors, in terms of energy-dynamic characteristics and degree of integration, surpasses existing analogues and can be implemented based on standard CMOS technology. However, ternary logic elements based on CMOS-element base are about three times inferior in integration and energy dynamics to binary analogues.

A ternary inverter [14] was also implemented on CMOS transistors, its circuit is shown in Fig.5.

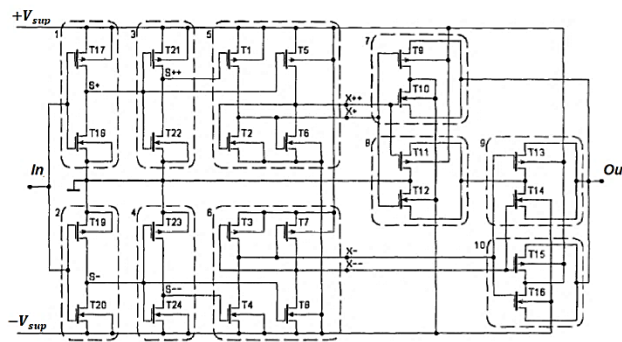


Fig. 5 Scheme of ternary inverter on CMOS transistors

The values of the ternary code "-1" and "+1" correspond to the negative and positive voltages of the bipolar power supply bus, and the values of "0" corresponds to the "ground". The input of the ternary inverter is the input of the control circuit.

The control circuit generates signals for switching the output of the element with the buses of the power supply according to the logical inversion function. With a given logic state at the input, the keys are closed so that the output voltage corresponds to the required value of the ternary code.

By reducing the magnitude of static currents to the values of the leakage currents of the MOS transistors is a decrease in static power consumption in the circuit of the ternary CMOS inverter.

Along with CMOS transistors, there have also been attempts to use CMOS-C transistors. Fig. 6 shows a diagram of the ternary element "OR-NO".

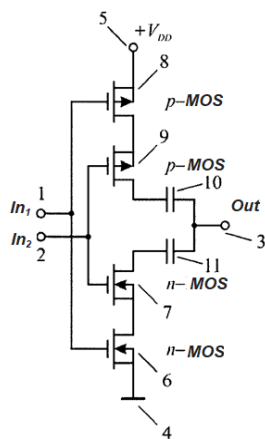


Fig. 6 Ternary element "OR-NO" based on CMOS-C transistors

Due to the introduction of two additional capacitors in the electrical circuit, the first is connected to the drain of the second n-MOS transistor and the output bus, the second to the drain of the second p-MOS transistor and the output bus of the inverter, the leakage of the second p-MOS transistor is connected to the drain of the first p-MOS transistor.

When the low potential of the corresponding state of the logic "-1" to the first input and the second input of the n-MOS transistors 6, 7 are closed, and p-MOS transistors 8, 9 are opened, while the drain of the second p-MOS transistor 10 is a positive the potential (+ Vdd) of the power bus, which through the capacitance of the first capacitor enters the output of circuit 3 and the input of the next logic element, for example, a similar logic element, the gate capacitances of n and p-MOS transistors which form the capacitive load of the logic element.

When applying a high potential corresponding to the state of logic "1", the first and second inputs of the p-MOS transistors 8, 9 are closed, and n-MOS transistors 6, 7 are opened, while on its drain n-MOS transistor 7 is low the potential of the common bus, which through the capacitance of the second capacitor enters the input of the next logic element, which forms a capacitive load.

The gates of the MOS transistors are connected to the input bus. On the surface of the drains and sources of the n-MOS and p-MOS transistors are the corresponding drain electrodes, and the source electrode of the n-MOS transistor is connected to a common bus, and the source electrode of the p-MOS transistor is connected to the power bus. This circuit does not allow more than two logic signal levels (1 bit of information). It should be noted that in this scheme, the drain areas and MOSFET capacitors are functionally integrated. When solving applied problems, an approach is known in which models of ternary devices based on elements of binary logic are used [15]. This method consists in encoding the values of tritium with two bits. For example, a ternary trigger. The basis of the classical binary trigger is a logic circuit consisting of two logical elements of the OR-NO type (Fig. 7.a), which are connected by inverse logical connections. Let us now consider a logical scheme consisting of three logical elements of the OR-NO type (Fig. 7. b).

All logical elements OR-NOT are connected to the neighboring logical elements by means of feedback logical connections, from here 3 logical states follow. Ternary triggers built on binary elements have 2 or 3 logic inputs.

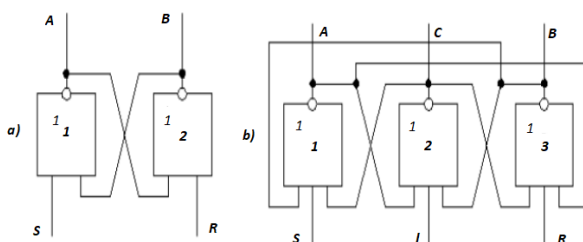


Fig. 7 Triggers on binary elements OR-NO: a) binary trigger; b) ternary trigger

Dual channel triggers are more popular. They have several advantages:

1. Ternary trigger, implemented on the basis of existing binary logic elements.
2. Easy integration with binary devices.
3. Economical implementation: 1 ternary digit consists of 2 binary digits.

To simplify the feedback, use 3 channels, each of which provides 1 logical state. For example, the first channel is logical 1, the second is logical 0, and the third channel is logical -1. Such a circuit may consist of fewer logical binary elements, but it integrates less with existing binary elements and devices built on a 3-channel circuit will have 1.5 times more outputs than when using a 2-channel circuit. The disadvantage of this implementation is the redundancy. To encode 3 states requires 2 elements that can form 4 states. The fourth state is superfluous, but it will be formed.

In addition to potential elements in ternary logic, there are current systems. It is known to implement a ternary logic element on bipolar complementary unsaturated transistors - a threshold element of ternary logic (TETL) [9]. The element is implemented on the basis of a binary ECL-element, the circuit of which is supplemented by its replica on complementary transistors. TETL (Fig. 8) consists of a block of emitter repeaters (BER) and connected to its outputs m blocks of current switches (CS.1... CS.m). BER is implemented on two repeaters, respectively on n-p-n and p-n-p transistors. The first repeater is connected between the common bus and the power bus "+E", the second - between the power bus "+E" and the common bus. Each CS unit contains 2 current switches. Fixed currents If are formed by two current sources connected to the power buses "+E" and "-E".

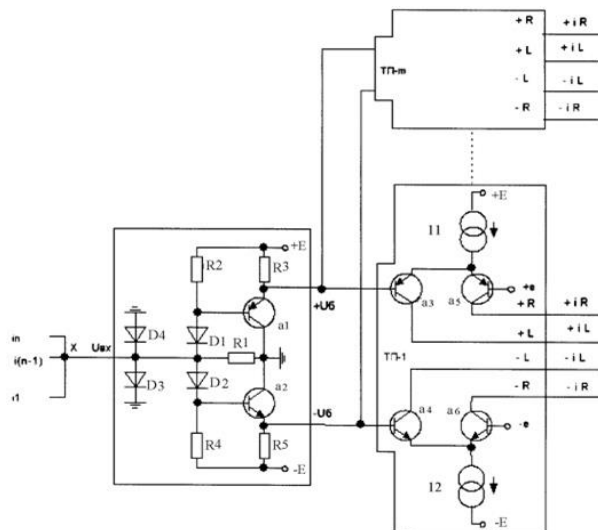


Fig. 8 Threshold element of ternary logic

The input X of the TETL receives n discrete ternary signals. The transformation is performed using the function $tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$:

$$\begin{aligned} tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0) &= +1, & \text{if } (n_{+1} - n_{-1}) > 0, \\ tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0) &= 0, & \text{if } (n_{+1} - n_{-1}) = 0, \\ tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0) &= -1, & \text{if } (n_{+1} - n_{-1}) < 0, \end{aligned}$$

where:

- n_{+1} - the number of signals whose current values are +1,
- n_{-1} - the number of signals whose current values are -1,
- n_0 is the number of signals whose current values are 0.

The ternary function $tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$ is represented at the outputs of the element by two pairs of its two-valued components - two-bit binary values [+R, -R] and [+L, -L]. The correspondence of the components's values to the values of the function $tersgn(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$ is shown in table. 1 [9].

The connection of the outputs of the element with each other and with the outputs of other elements and the transformation $\text{tersgn}(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$ provides a set of means by which you can perform on the proposed threshold elements of ternary logic different logic functions.

Table 1

Table of function $\text{tersgn}(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$

$\text{tersgn}(n_{+1}, n_{-1}, n_0)$	+R	-R	+L	-L
+	+	0	0	-
0	0	0	+	-
-	0	-	-	0

The disadvantage of TETL is that a small number of thresholds is determined, as a result of which the levels "++" = "0+" and "--" = "0-" do not differ.

However, circuit and structural solutions used in them and tested in practice, can be used in modern digital technology. They are based on a number of ternary elements, such as conjunctors, disjunctors, decoders and triggers. Examples of such devices are shown in Fig. 9

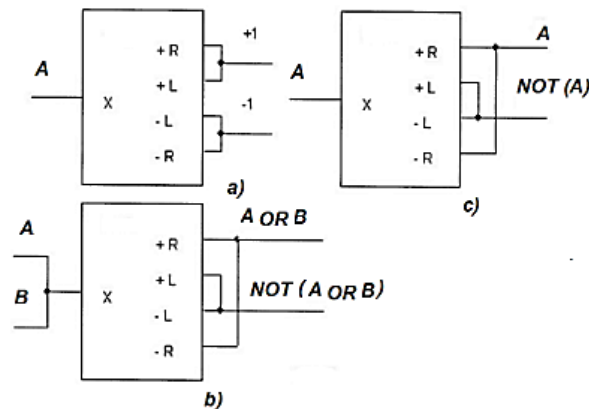


Fig. 9 Elements implemented on the TETL: a) Device for forming constants; b) Repeater and cyclic inverter of the input variable; c) two-input circuit "OR"

Also, other elements were implemented on the threshold elements, such as an adder [10], and attempts were made to take a systematic approach to the construction of standard elements, for which a node of ternary circuitry, consisting of 3 TETL, was proposed. It can be used to build elements such as triggers. The nodes of this element consist of a TETL and for them everything related to the TETL is valid: the inputs algebraically sum up the Ternary values; nodes can have more than one group of outputs. The implementation of these structures is quite complex and contains many elements.

In addition to the physical implementation of ternary elements, there are systems that use their mathematical model. For example, neural networks on linear and two-threshold neurons that function as a threshold element of ternary logic. There are known examples of construction of such neural networks that implement the elements of minimum, maximum, and ternary inversion [16-18]. Computational intelligence methods combine into hybrid systems various components of intelligent technologies - fuzzy logic, neural networks, genetic algorithms. Hybrid systems, such as fuzzy neural networks with genetic tuning, demonstrate the mutual reinforcement of advantages and disadvantages of individual methods. Today, there are mostly neuro-fuzzy hybrid systems. However, the number of fuzzy genetic, neuro-genetic, and neuro-fuzzy genetic systems is increasing. Schemes of some of them contain not only classical neurons, but also, I, OR neurons. In general, the main task of combining systems of perception and logical processing at the level of structure should be manifested in the fact that there are schemes that work with numbers (perception) and discrete signals of truth

(logic). One of the properties of such logic-oriented hybrid neural networks is their ability to perform complex operations with a simple structure. This, in turn, reduces the number of relationships between elements, which allows you to increase the speed of logical operations. In addition, theoretical research on three-level technology is conducted. It is expected that their results will find their original practical application. Ternary elements of minimum, maximum and inversion in the form of a neural network with linear and two-threshold neurons have been developed. The goal is to increase the efficiency of neural network design. Three neural networks with linear and two-threshold neurons are proposed. The first functions as an element of the ternary maximum, the second as an element of the ternary minimum, and the third as an element of the ternary inversion. The advantages of such solutions are the ability using two-threshold neurons to build neural networks that implement the operations of ternary logic as a separate element [19]. It will also allow to expand the scope of neural networks, to optimize the solution of so-called ternary problems - such as RGB-image processing, three-coordinate problems, etc. It will also combine computer technology with intelligent technology. The disadvantage of this solution can be considered the construction of the actual neural networks on the basis of common binary computers, rather than the construction of the systems themselves, that is, in essence, it is an emulation of ternary elements on a binary basis.

Materials and methods

Let`s consider a multi-threshold element of multivalued logic [20] as a basic element for constructing elements of multivalued systems, including ternary. Its block diagram is shown in Fig. 10.

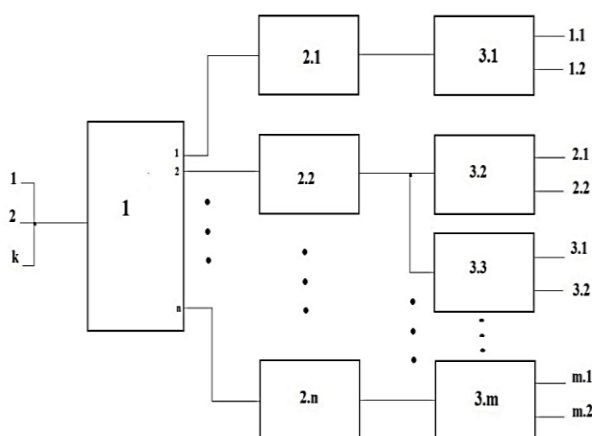


Fig 10 Block diagram of MTEML

Consider in detail its structure and principle of operation. Block 1 is a block of threshold formation (BTF), 2.1... 2.n - emitter repeaters (ER), 3.1 ... 3.m - current switches. The input of the threshold formation unit receives k discrete current signals I_j from the previous elements. They can take one of the typical values (for example, for the binary logic of such values will be two: $I_j = +1, I_j = 0$; for a ternary symmetric system of such values will be three: $I_j = +1, I_j = 0, I_j = -1$).

$$k = k_{+1} + k_{-1} + k_0,$$

where k_{+1} – the number of signals whose current values $+1$,

k_{-1} – the number of signals whose current values -1 ,

k_0 – the number of signals whose current values 0 .

BTF in turn forms n thresholds. Its outputs are fed to the inputs of emitter repeaters (ER) 2.1... 2.n. Active ER generate signals on the connected current switches (CS) 3.1... 3.m.

Features of the structure of MTEML: the element does not operate with potential, but with current values of signals, so the outputs of MTEML can be combined in any number, but the signal can be applied only to the input of one element; ability to form any number of thresholds that MTEML can distinguish. The number of BTF thresholds depends on the number of levels of the input variable that the MTEML is able to distinguish and, accordingly, the bit size of the variable or the complexity of

the operations that can be performed. In order to form the logic of the operation of this element, you need to combine the outputs of the CS in the required combination.

Consider an example of the implementation of MTEML for a ternary symmetric system - its four-threshold version [20], the block diagram of which is shown in Fig. 11.

The electric schematic diagram of the implementation of MTEML with four symmetrical thresholds is shown in Fig. 11.

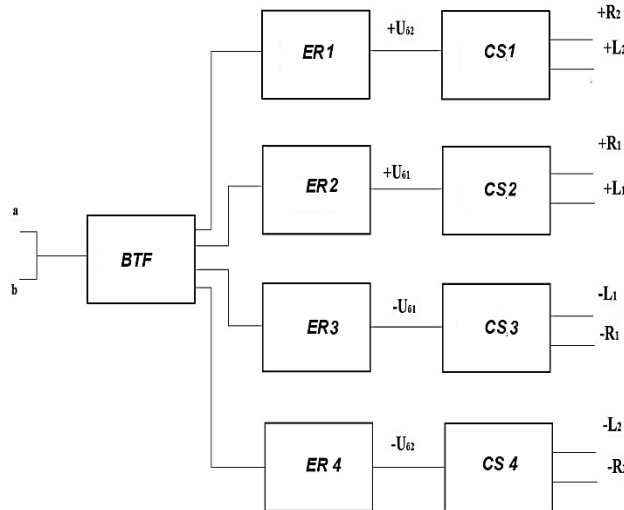


Fig. 11 Block diagram of the four-threshold MTEML

The values of voltages generated at the outputs of the ER and respectively fed to the inputs of current switches are given in table 2. In this table "1" is an active signal (affects the CS), "0" is an inactive signal (does not affect the CS) at the output of the corresponding ER.

If the signal at the input of the CS is active, the output L of the corresponding CS current is generated, otherwise - the current is generated at the output R. CS together have 8 outputs, a combination of which can form the necessary logical or arithmetic functions, as it shown at Fig.12 [20].

The values of the output signals of the SP depending on the input currents are described by the terlev function, given in table. 3.

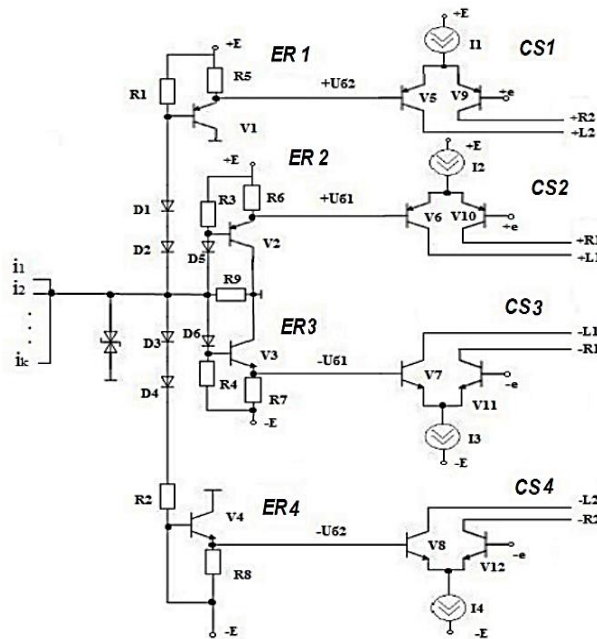


Fig. 12 Electrical schematic diagram of a four-threshold MTEML

The implementation of MTEML for ternary symmetric logic, in comparison with TETL, has several advantages: 4 thresholds of input signals (in TETL - 2), distinguishes 5 levels (in TETL - 3), has 8 output signals (in TETL - 4). All this together allows you to build more diverse logical and arithmetic devices with a simplified implementation [21].

Table 2

Values of voltages at outputs ER1 - ER4

The sum of the input currents terlev	ER 1(+U ₆₂)	ER 2 (+U ₆₁)	ER 3 (-U ₆₁)	ER 4 (-U ₆₂)
--	1	1	0	0
-	0	1	0	0
0	0	0	0	0
+	0	0	1	0
++	0	0	1	1

Table 3

The value of the function terlev

The sum of the input currents terlev	Output signals of current switches							
	CS1		CS2		CS3		CS4	
	+R ₂	+L ₂	+R ₁	+L ₁	-R ₁	-L ₁	-R ₂	-L ₂
--	0	+	0	+	-	0	-	0
-	+	0	0	+	-	0	-	0
0	+	0	+	0	-	0	-	0
+	+	0	+	0	0	-	-	0
++	+	0	+	0	0	-	0	-

Results

Having considered in detail the presented methods of implementation of ternary elements, we can compare their main disadvantages and advantages [20].

1. The threshold elements of ternary logic on magnetic elements have serial access, as a result - low speed, memory cells can store one of three states - 0, -1, +1, by means of modern semiconductor technologies cannot be implemented.
2. Ternary elements based on the λ -transistor have high power consumption even in static mode.
3. Ternary elements on CMOS transistors have a very complex structure, many transistors and low speed. The use of CMOS-C transistors leads to the fact that some elements (eg, inverter) allow to have only 2 logic states.
4. Ternary elements built on binary logic have simple integration with binary counterparts, but a lot of feedback connections and redundancy.
5. The threshold element on bipolar transistors provides reliable signal generation, but has insufficient thresholds to distinguish some signal levels (eg ++ and 0+).
6. Mathematical models of ternary elements provide high speed, but do not have their own physical implementation, because neural networks are built on binary elements.

7. The using of MTEML for ternary symmetric logic has several advantages: 4 thresholds of input signals distinguish 5 levels, has 8 output signals. Ternary elements on MTEML have a simple structure, average power consumption and high speed. All this together allows us to build more diverse logical and arithmetic devices with a simplified implementation.

8. The using of MTEML for creating the elements of ternary symmetric logic proposed in this paper is what can allow to create full set of ternary elements with one systematic approach.

Summarizing all the mentioned above, we obtain a comparison table (table 4).

Table 4

Comparison of methods for constructing ternary elements

Method of constructing ternary elements / Parameters	on magnetic elements	based on λ -transistor	on CMOS-C transistors	on binary logic	on bipolar transistors	based on neurons	based on MTEML
Possibility of integrated implementation	-	+	+	+	+	+	+
potential (p) or current (c)	c	p	p	p	c	p	c
speed	low	low	low	high	high	high	high
power consumption	big	big	big	average	average	average	average
complexity	complex	complex	very complex	very complex	simple	complex	simple
the presence of a systematic approach	no	no	no	no	no	no	no

9. The implementation of ternary devices based on threshold logic is a way to create ternary devices that can compete with binary devices in terms of equipment, capacity, operational capabilities, speed, and variety.

10. These advantages are significant in such areas as intelligent data processing systems, expert systems, decision theory, i.e., where data analysis is performed.

Conclusions

The analysis of the construction of multivalued logic and its elemental base allowed us to draw the following conclusions. All considered examples of realization of ternary elements have rather sufficient lacks:

- threshold elements on magnetic cores use outdated technology, and cannot be implemented with the help of modern integrated technologies;
- the threshold element on bipolar transistors determines a small number of thresholds, as a result it does not distinguish some levels;
- devices on CMOS transistors do not have a standard approach to the implementation of ternary logic;
- elements on binary logic have a rather complex structure and cannot implement a ternary system at the required level;

- implementing ternary elements using a mathematical neural network model is essentially emulating ternary elements on binary computers.

Thus, all these solutions either do not allow the full implementation of ternary logic, or do not have a common approach to its implementation or complicate the implementation of ternary devices and their structure. Therefore, the key topical issue is the development of a standard approach and methods for the synthesis of ternary elements.

One of the obstacles hindering the development of ternary technology is the lack of element base and a common approach to the implementation of components and elements of non-binary computers. Implementing ternary devices based on threshold logic is a way to create ternary devices that can compete with binary devices in terms of equipment.

A topical scientific and practical task is to create a general approach to the implementation of ternary nodes and methods of synthesis of ternary logical and arithmetic elements, as there are still no standards in the development and implementation of ternary elements and a united methodological approach. To build ternary computing and intelligent systems, it is necessary, first of all, to develop the principles of a systematic approach to the synthesis of ternary elements and software for their interaction with each other and with existing modern devices.

Therefore, in further research it is expedient to consider methods of construction and synthesis of nodes of ternary computer systems, their optimization, and development of principles of mathematical modeling and software of such systems and their elements.

The scientific novelty of obtained results is that the comparison between different methods of construction the ternary elements is firstly performed. Using the methods of construction the ternary element based on MTEML is proposed both universal and economical. This reduces the amount of equipment.

The practical significance of obtained results is that the multithreshold element of multivalued logic allows us to use it for synthesis basic elements of ternary logic and use one approach for all of them. Additional practical advantage is that in practice it allows you to build more diverse logical and arithmetic devices with a simplified implementation.

Prospects for further research are to use the method of construction and synthesis of nodes of ternary computer systems, based on MTEML. Their optimization, and development of principles of mathematical modeling and software of such systems and their elements is expedient.

Acknowledgements. The work was supported by a research topic №306 Computer technologies, systems, components: modeling and software (№ state registration 0121U110545).

References

- [1] Béziau J.Y. 1997 What is many-valued logic? / J.Y. Béziau // Multiple-Valued Logic, IEEE Computer Society: The 27th International Symposium, Los Alamitos: Proceedings International Symposium. - pp. 117–121.
- [2] Malinowski G. Many-Valued Logics / G. Malinowski – Blackwell: Goble, Lou, ed., The Blackwell Guide to Philosophical Logic, 2001.
- [3] Miller D. Michael Multiple valued logic: concepts and representations (Synthesis lectures on digital circuits and systems) / D. Michael Miller, A. Mitchell Thornton. - Morgan & Claypool Publishers, 2008. ISBN 9781598291902.
- [4] Filosofs'kyy entsyklopedychnyy slovnyk / [V. I. Shynkaruk, YE.K. Bystryts'kyy, M.O. Bulatov ta in.]; pod red. V. I. Shynkaruk ta in. – Kyiv: Abrys, 2002. — 742 s. ISBN 966-531-128-X.
- [5] Ahmad M. RISC-V Processor Designs Emerge [Electronic resource] / M. Ahmad. - Access mode: <https://www.eetimes.com/risc-v-processor-designs-emerge/>
- [6] Brusentsov N.P. Porogovaya realizatsiya trekhznachnoy logiki elektromagnitnymi sredstvami / N.P. Brusentsov // Vychislitel'naya tekhnika i voprosy kibernetiki: - M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1972. - Vyp.9.-S. 3-35.
- [7] Pat. 2394366 Rossiya, MPK2006 H03K 19/00. Porogovyy element troichnoy logiki i elementy na yego osnove / opubl. 10.07.2010,

- [8] Troichnyye tsifrovyye mashiny v MGU / [S.P. Maslov, YU.S. Vladimirova, Ramil' KH. Al'vares i dr.] // Postkremniyevyye vychisleniya: Pervaya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Pereslavl'-Zalesskiy, 2014.
- [9] Pat. 2278469 Rossiya, C1. Porogovyy element troichnoy logiki i ustroystva na yego osnove / S.P. Maslov; opubl. 28.05.2009,
- [10] Pat. 2645279 Rossiya, C1. Ustroystvo troichnogo slozheniya i vychitaniya / S.P. Maslov; № 2017109439; opubl. 19.02.2018,
- [11] Maslov S.P. Ob odnoy vozmozhnosti realizatsii troichnykh tsifrovyykh ustroystv / S.P. Maslov // Programmnyye sistemy i instrumenty. Tematicheskii sbornik.- 2011. - № 12. - P.222-227.
- [12] S. Gottwald A. Treatise on Many-Valued Logics / A. Gottwald // Studies in Logic and Computation. Research Studies Press: Baldock, Hertfordshire, England. – 2001. – vol. 9.
- [13] Pat. Germany, 19832101 Realisierung Ternärer Grundsaltungen in CMOS Technologie / Josef von Stackelberg (Germany); appdate 17.07.1998; pubdate 27.01.2000.
- [14] Pat. Japan, 2005080257 Skhema KMOP-drayvera, a takzhe skhema KMOP-invertora / Khideki Fukuda (Japan).; appdate 04.09.2003; pubdate 24.03.20050.
- [15] Kushnerov A. Troichnaya tsifrovaya tekhnika. Retrospektiva i sovremennost' / A. Kushnerov/ - Izrail': Universitet im. Ben-Guriona Beer-Sheva, 2005.
- [16] Pat. 33476 Ukrayina, MPK H03K 19/20 (2006.01) Triykovyy element minimumu / O. O. Semenova, A. O. Semenov, O. O. Voytsekhovs'ka // Nomer zayavky u2008 01766. Data podannya 11.02.2008. Opubl. 25.06.2008. Byul. №12. – 4 s.
- [17] Pat.34465 Ukrayina, MPK H03K 19/20 (2006.01) Triykovyy element maksimumu / O. O. Semenova, A. O. Semenov, O. O. Voytsekhovs'ka // Nomer zayavky u 2008 30612. Data podannya 21.03.2008. Opubl. 11.08.2008. Byul. №15. – 5 s.
- [18] Pat. 35963 Ukrayina, MPK H03K 19/20 (2006.01) Lohichnyy element triykovoyi inversiyi / O. O. Semenova, A. O. Semenov, V. M. Kychak, O. O. Voytsekhovs'ka // Nomer zayavky u 2008 05822. Data podannya 05.05.2008. Opubl. 10.10.2008. Byul. № 19. – 4 s.
- [19] Realizatsiya operatsiy triykovoyi lohiky za dopomohoyu dvoporohovykh neyroniv / [O.V. Osadchuk, O.O. Semenova, O.O.Voytsekhovs'ka y dr.] // NaukPratsi VNTU. – Vinnytsya, 2010.- № 1.
- [20] Pat. UA 118735 Ukrayina, MPK (2017.01) H03K19 / 00. Bahatorohovyy element bahatoznachnoyi lohiky / YU.O. Hunchenko (Ukrayina); zayavl. 23.03.2017; opubl. 28.08.2017,
- [21] Kontseptsiya pobudovy prystroyiv dlya triykovoyi lohiky / [YU. Hunchenko, L. Martynovych, K. Tykhonova ta in.] // Perspektyvni napryamky suchasnoyi elektroniky, informatsiynykh i komp'yuternykh system (MEICS-2020): V Vseukrayins'ka naukovo-praktychna konferentsiya, Ukrayina, Dnipro, 25–27 lystopada 2020 r. – pp. 93-94.

Д.т.н., проф. Гунченко Ю. О. (ОНУ І.І. Мечнікова),
к.ф.-м.н. Шугайло Ю. Б. (ОНУ І.І. Мечнікова),
Берков Ю. М. (ОНУ І.І. Мечнікова), Мартинович Л. Я. (ОНУ І.І. Мечнікова)

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТРІЙКОВОЇ ЛОГІКИ

Актуальним є аналіз побудованих потрійних елементів та перспектив їх розвитку. Існують різні способи реалізації потрійних елементів. Проблемаю розробки багатозначної логіки є відсутність єдиного підходу до реалізації компонентів і елементівне бінарних ЕОМ. Метою роботи є порівняльний аналіз сучасного стану методів побудови потрійних елементів. Розглянуто історію та перспективи розвитку методів побудови потрійних елементів та обчислювальних систем на їх основі. Проведено порівняльний аналіз переваг та недоліків таких методів побудови потрійних елементів, як порогові елементи потрійної логіки на основі магнітних елементів, потрійні елементи на основі λ -транзистора, CMOS транзистора та CMOS-C транзисторів, на двійковій логіці, математичні моделі потрійних елементів на основі нейронів, пороговий елемент на біполярних транзисторах та багатопороговий елемент багатозначної логіки за основним ікритеріями, такими як: швидкість, енергоспоживання, складність структури, можливість комплексної реалізації. Окреслено майбутні напрямки роботи та доцільність розвитку тематики побудови потрійних елементів і систем на їх основі.

Усі розглянуті способи реалізації потрійних елементів мають ряд істотних недоліків. Тільки використання багато порогового елемента багатозначної логіки дозволяє створювати

трійкові елементи із загальним підходом. Однією з перешкод, що гальмують розвиток трійкової технології, є відсутність елементної бази та єдиного підходу до реалізації компонентів та елементів небінарних ЕОМ. Реалізація трійкових пристроїв на основі порогової логіки є способом створення трійкових пристроїв, які можуть конкурувати з двійковими пристроями з точки зору обладнання.

Ключові слова: трійкова логіка, багатозначна логіка, методи побудови трійкових елементів, пороговий елемент, багатопороговий елемент багатозначної логіки.

UDK 681.3(07)

Evgeny Lenkov
PhD, Senior Researcher
Scientific Central Research Center of the Armed Forces of Ukraine
Hennadii Banzak
PhD, Senior Researcher
State university of intelligent technologies and communications (Odessa, Ukraine)
Ihor Tolok
PhD, Associate Professor
Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)
Hennadii Bratchenko
Doctor of Technical Science, Professor
State university of intelligent technologies and communications (Odessa, Ukraine)
Nikolai Olenev
PhD, Senior Researcher
State university of intelligent technologies and communications (Odessa, Ukraine)

OPTIMIZATION PARAMETERS OF THE MAINTENANCE STRATEGY "ON CONDITION" WITH A CONSTANT FREQUENCY OF CONTROL

Abstract

In this article, the optimization parameters of maintenance strategy "on condition" with a constant frequency of control is carried out. During the operation of complex technical objects, as a rule, maintenance is carried out to maintain the required level of object reliability. It is known that the most effective principle of maintenance organization is "maintenance by condition" (MC), according to which maintenance operations are carried out only if it is required by the actual technical condition (TC) of the object. In order to be able to determine the actual TC of an object during operation, it is necessary to develop and "embed" in the object tools for measuring the determining parameters of the most unreliable elements even at the stage of its creation. To do this, the developer needs mathematical models with which to estimate the expected costs of embedding measuring instruments and the expected gain from maintenance during the operation of facility.

Currently, there are no satisfactory models that allow one to obtain such estimates. In this article, an attempt is made to partially fill this gap - models are proposed that allow predicting the indicators of reliability and cost of operating an object, taking into account MC. The article also developed methods to determine the optimal parameters of various maintenance strategies.

The problem is that when developing such facilities, all issues related to maintainability and maintenance should be addressed already at the early stages of the design of the facility. If you do not provide in advance the necessary hardware and software for integrated monitoring of the technical condition (TC) of the object, do not develop and "embed" maintenance technology into the object, then it will not be possible to realize in the future a possible gain in the reliability of object due to maintenance. Since all these issues must be resolved at the stage of creating an object (when the object does not yet exist), mathematical models of the maintenance process are needed, with the help of which it would be possible to calculate the possible gain in the level of reliability object due to maintenance, to estimate the cost costs required for this. Then, based on such calculations, make a decision on the need for maintenance this type of objects and, if such a decision is made, develop the structure of maintenance system, choose the most appropriate maintenance strategy, and determine its optimal parameters.

Keywords: maintenance, actual technical condition, optimization of strategy parameters, technical condition control

Introduction

Complex technical objects in modern society are extremely important. First of all, we are talking about various radio-electronic complexes for military and special purposes, radar stations, automated control systems (air traffic, energy facilities, etc.). The level of reliability such facilities depends on the defense capability of state, economic security, the lives of hundreds and thousands of people.

Such objects belong to the class of recoverable objects of long-term multiple use. They tend to be expensive and require significant maintenance costs. To ensure the required level of reliability during their operation, maintenance is usually carried out, the essence of which is the timely preventive replacement of elements that are in a pre-failure state.

A characteristic feature of complex technical objects for special purposes is the presence in their composition of a large number (tens, hundreds of thousands) of different types components that have different levels of reliability, different patterns of their wear and aging processes. This feature requires a more subtle approach to the organization and planning of maintenance during their operation.

Currently, there is a decline in the number of scientific publications devoted to the maintenance of complex technical objects. One of the reasons for this, in our opinion, is a sharp increase in the level of integration and reliability of components. Thanks to this, the developers of complex equipment managed to solve the issues of ensuring the required level of reliability without significant maintenance costs (or without maintenance at all). However, the same reason (high integration and reliability of components) opened up the possibility of implementing more and more complex equipment with new functions, which was impossible with the old element base. This again objectively leads to problems of ensuring reliability and, therefore, the question of need for maintenance and the choice of optimal strategy for its implementation again becomes relevant.

Unfortunately, currently known mathematical models and methods for calculating the optimal parameters of maintenance processes are not very suitable for application to real technical objects. The main drawback of these models is that they either do not take into account the complex structure of the object at all, or it is possible to take into account only some of the simplest structures [1, 2]. In [3], a comparative analysis of the problems that arise in solving the problems of maintenance “by resource” and “by state” is carried out. An overview of the latest works in the field of maintenance and repair of complex systems is given. In [4], a theoretical generalization of the known mathematical models of TC processes was made. However, these models do not allow one to build methods suitable for practical use on their basis.

Even worse, in our opinion, is the situation with mathematical models of TC processes “by state”. Only a small number of scientific works are devoted to this line of research [5, 6].

Thus, the article solves an urgent scientific problem of developing methods and tools (software) for determining the optimal parameters of the maintenance strategy “by state” of complex technical objects.

Materials and methods

Formalized description of the methodology.

The problem of optimizing the parameters of MC strategy with a constant frequency of control can be represented as follows:

$$T_0(E_{\text{TO}}^*, U_{\text{TO}}^*, T_{\text{K}}^*) \geq T_0^{\text{TP}}; \quad (1)$$

a)

$$c_{\text{y.d.}}(E_{\text{TO}}^*, U_{\text{TO}}^*, T_{\text{K}}^*) \rightarrow \min, \quad (1 \text{ б})$$

where T_0^{TP} - is the given required value of the mean time between failures of the object;

E_{TO}^* , U_{TO}^* and T_{K}^* - are the desired optimal values of the corresponding parameters.

This problem cannot be solved by strict analytical optimization methods, only an approximate solution of the problem is possible. Let us consider a technique for an approximate solution of

problem (1) based on the use of ISM and software that implements it (ISMPN program).

If at some step all the elements E_{to} selected from are exhausted ($k = |E_{to}|$), then this will mean that the original problem (1) has no solution – specified requirement T_0^{tp} cannot be met.

If, despite this, the task still remains relevant, then to solve it, you need to:

- increase the level of reliability of the facility;
- expand the set of potentially serviceable elements E_{to} , or
- reduce the required level of object T_0^{tp} reliability.

Results

The considered technique is implemented by the user (expert) using ISMPN program. To apply the technique, it is necessary, firstly, to create a database for the object for which problem is supposed to be solved, and, secondly, to perform a step-by-step search for a solution in accordance with the technique considered above. At each (k -th) step, user needs to perform the following actions (points):

- 1) add to the subset of serviced elements E_{to}^+ (initially empty) one element taken from the set E_{to} ;
- 2) to perform simulation and find a conditionally optimal solution $\mathbf{STO}_s^+ = \langle E_{to}^+, U_{to}^+, T_k^+ \rangle$;
- 3) determine the achieved value of the mean time between failures T_0^+ and check the fulfillment of the requirement $T_0^+ \geq T_0^{tp}$. If the requirement is not met, return to step 1 and continue the search process. Otherwise, follow the next (final) point;
- 4) take the conditionally optimal solution obtained as the optimal solution \mathbf{STO}_s^* of the problem $\mathbf{STO}_s^* = \langle E_{to}^*, U_{to}^*, T_k^* \rangle$.

Consider the technology for performing each of these items.

1. Formation of a set of serviced elements E_{to}^+ .

Open the ISMPN program in Database mode. On the Object composition and structure page, select an element in the object constructive structure tree to be included in set E_{to}^+ . Then, in the table that displays data on the selected object, in the PW (recovery sign) column, enter the value “in” (serviced element) for this element.

All elements for which the attribute “in” is set will be automatically included in the current set of serviced elements E_{to}^+ .

The set of potentially serviceable elements E_{to} is determined by the user in advance, before the start of calculations by this method.

2. Formation of a conditionally optimal solution \mathbf{STO}_s^+ .

Calculations in order to determine the conditionally optimal solution are performed in the following sequence:

- open the ISMPN program in TC Study mode | Variation Uto+Tk. (Fig. 1 shows the view of PC screen after the completion of the calculations);
- introduce boundaries and intervals for varying the frequency of control T_k and the level of maintenance u_{tok} . The parameters of periodicity T_k variation are selected in such a way as to find the minimum of function $c_{yd}^+(T_k)$ with sufficient accuracy. The range of variation u_{tok} is recommended to be set to [0.1; 0.9], variation interval – 0.05;
- press the Start and run simulation button.

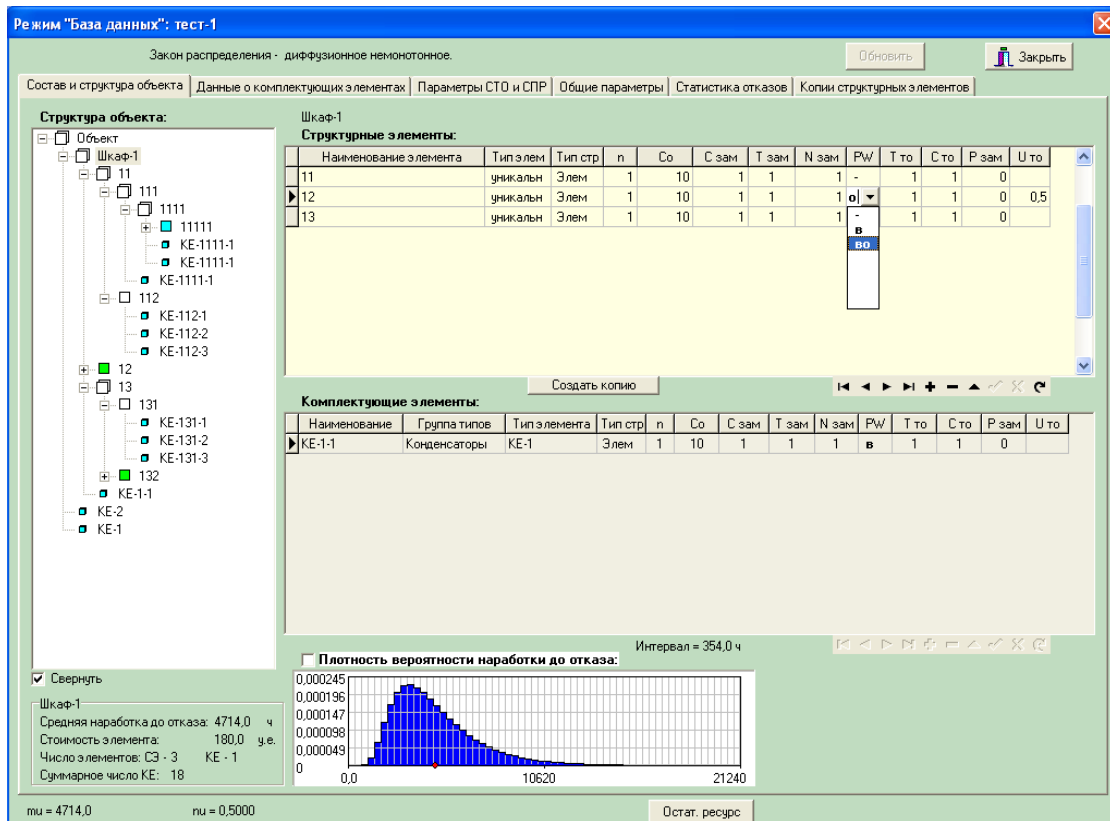


Fig. 1 Entering the attribute “in” for element “12”

All elements for which the attribute “in” is set will be automatically included in the current set of serviced elements $E_{то}^+$.

The set of potentially serviceable elements $E_{то}$ is determined by the user in advance, before the start of calculations by this method.

1. Formation of a conditionally optimal solution STO_S^+ .

Calculations in order to determine the conditionally optimal solution are performed in the following sequence:

- open the ISMPN program in TC Study mode | Variation Uto+Tk. (Fig. 1 shows the view of the PC screen after the completion of the calculations);
- introduce boundaries and intervals for varying the frequency of control T_k and the level of maintenance. The parameters of periodicity T_k variation are selected in such a way as to find the minimum of the function $c_{уд}^+(T_k)$ with sufficient accuracy. The range of variation $u_{тоk}$ is recommended to be set to [0.1; 0.9], variation interval – 0.05;
- press the Start and run simulation button.

After the simulation is completed, the graphs of the functions $u_{тоk}^+(T_k)$, $c_{уд}^+(T_k)$, $T_0^+(T_k)$ and $K_{тн}^+(T_k)$, will be displayed, as shown in fig. 1. $T_0^+(T_k)$ and $K_{тн}^+(T_k)$ – are functions of the corresponding indicators and obtained with the optimal vector $U_{то}^+$.

If it turned out that the function $c_{уд}^+(T_k)$ does not have a pronounced minimum (the minimum is obtained at the edge of the range $[T_{k1}, T_{k2}]$), it is necessary to change the boundaries and accordingly, T_{k1} and T_{k2} re-execute the simulation.

- according to graph $c_{уд}^+(T_k)$, the optimal value T_k^+ is found that satisfies the condition (4);

- according to schedule $u_{\text{ток}}^+(T_k)$, the value of TC $u_{\text{ток}}^{++}$ level corresponding to the optimal value T_k^+ is determined (expression (5));
- according to schedule $T_0^+(T_k)$, value of the mean time between failures achieved in the current step is determined $T_0^+ = T_0(T_k^+)$.

The found optimal value T_k^+ and the corresponding values $u_{\text{ток}}^{++}$, $c_{\text{уд}}^+$, T_0^+ and $K_{\text{ти}}^+(T_k)$, are displayed on the right, next to the graphs.

- obtained values $U_{\text{то}}^+$ and T_k^+ are taken as the values of the corresponding parameters of the conditionally optimal solution:

$$\mathbf{STO}_S^+ = \langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, T_k^+ \rangle.$$

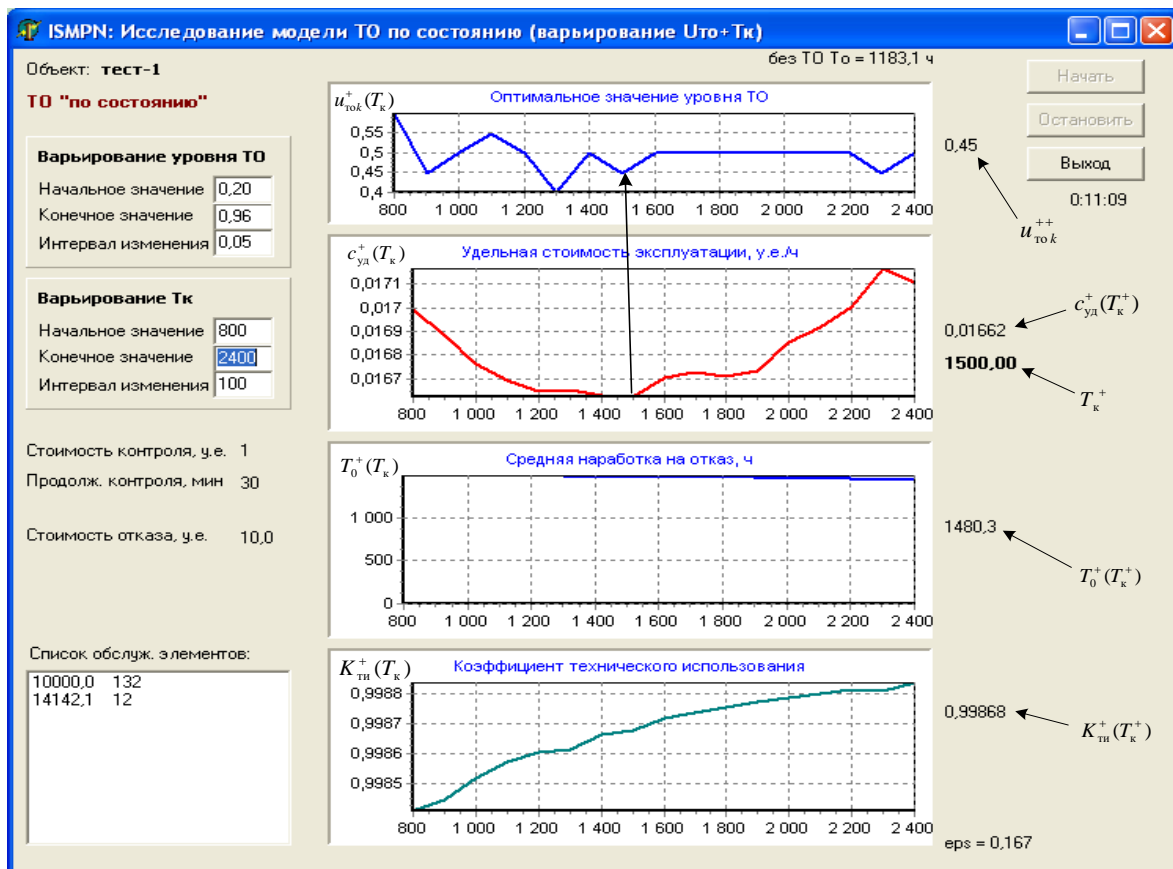


Fig. 2 PC screen view showing function graphs $u_{\text{ток}}^+(T_k)$, $c_{\text{уд}}^+(T_k)$, $T_0^+(T_k)$ and $K_{\text{ти}}^+(T_k)$

1. Evaluation of the results obtained at k -th step of solving the problem.

Based on the mean time between failures obtained $T_0^+ = T_0(\mathbf{STO}_S^+)$ in the current step, the condition is checked $T_0^+ \geq T_0^{\text{тп}}$.

If the condition is met, then the conditionally optimal solution \mathbf{STO}_S^+ obtained is accepted as the final solution of the problem:

$$\mathbf{STO}_S^* := \mathbf{STO}_S^+.$$

The process of finding a solution in this case is completed.

Otherwise, if $T_0^+ < T_0^{\text{тп}}$, it is necessary to return to point 1, add one more serviced element to the set $E_{\text{то}}^+$ and repeat the calculations.

We will illustrate the application of the technique on the example of the test object Test-1. The object

has 15 recoverable elements. For example, let's set that potentially serviced among them are the 5 least reliable elements, the data on which are given in table. Since all elements are connected (in the sense of reliability) in series, the coefficient of variation in the distribution of operating time to failure of serviced elements is the same as for elements of the lower level, i.e. $\nu_i = 1$.

Table 1
Characteristics of potentially serviceable elements of object Test-1

Element number	Element name	Средняя наработка до отказа $T_{\text{срi}}$, h
1	132	10000
2	12	14142
3	11111	14142
4	KE-131-1	20000
5	KE-131-2	20000

For simulation, we set the following parameters:

$$T_s = 20 \text{ years}; c_{\text{и}}^0 = 10 \text{ c.u./h}; \varepsilon^{\text{TP}} = 0.2; N_I^{\text{max}} = 500;$$

We will perform the calculations in sequence in accordance with the considered technology.

1. At the 1st step, we include the element 132 in the set $E_{\text{то}}^+ : E_{\text{то}}^+ = \{132\}$.

2. Open ISMPN program in TC Research | Variation Uto+Tk and set the following variation parameters:

$$\text{- for } u_{\text{то}} : u_{\text{то}} \in [0,1; 0,9]; \Delta u_{\text{то}} = 0,05;$$

$$\text{- for } T_{\text{к}} : [T_{\text{к1}}, T_{\text{к2}}] = [800 \text{ h}, 2400 \text{ h}]; \Delta T_{\text{к}} = 100 \text{ h}.$$

After that, we will make a simulation. On fig. 3 shows results of the simulation.

According to the graph of the function $c_{\text{уд}}^+(T_{\text{к}})$, we find its minimum and the conditionally optimal value corresponding to it $T_{\text{к}}^+$. Then, according to the graph $u_{\text{то1}}^+(T_{\text{к}})$, we find the conditionally optimal value of $u_{\text{то1}}^{++} = u_{\text{то1}}^+(T_{\text{к}}^+)$. As a result, we get:

$$T_{\text{к}}^+ = 1300 \text{ h}; u_{\text{то1}}^{++} = 0,5.$$

According to the schedule $T_0^+(T_{\text{к}})$, we determine the achieved value of the mean time between failures $T_0^+ = 1343 \text{ h}$.

As a result of the calculations performed at the 1st step, we obtain the following conditionally optimal solution:

$$\mathbf{STO}_S^+ = \langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, T_{\text{к}}^+ \rangle = \langle \{132\}, \{0,5\}, 1300 \text{ h} \rangle.$$

3. Taking into account the fact that the specified requirement for object reliability $T_0^+ \geq T_0^{\text{TP}} = 1500 \text{ h}$ is not fulfilled with the received MC \mathbf{STO}_S^+ parameters, it is necessary to perform the next step of search.

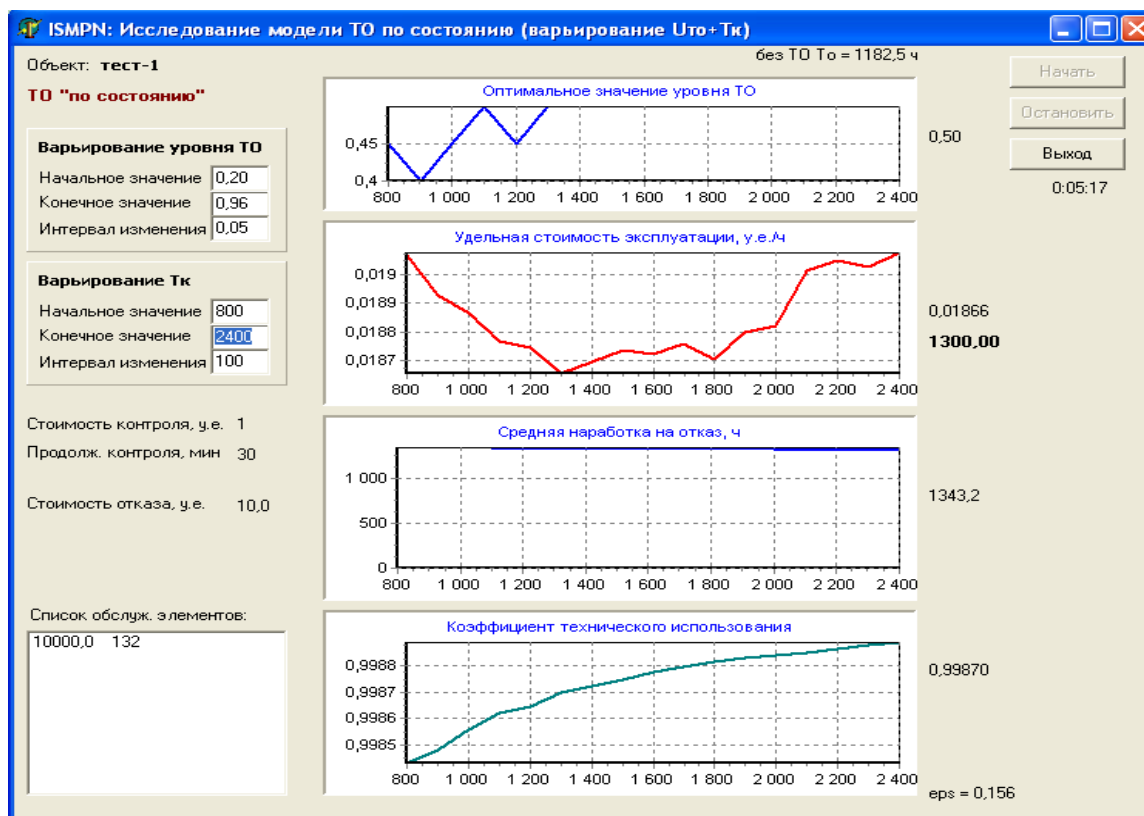


Fig. 3 Graphs of functions $u_{\text{то}}^+(T_k)$, $c_{\text{уд}}^+(T_k)$, $T_0^+(T_k)$ and $K_{\text{ти}}^+(T_k)$ for $E_{\text{то}}^+ = \{132\}$ ($v_i = 1$)

But before that, it is necessary to open the database and for element 132 enter the conditionally optimal value of the TC $u_{\text{то1}}^{++}$ level obtained for it. The value $u_{\text{то1}}^{++} = 0.5$ must be entered in Uto column for element 132, as shown in fig. 3.

After that, you can perform the next (2nd) step of finding a solution.

1. At the 2-nd step, we add the element 12 to the set $E_{\text{то}}^+$. As a result, we get set $E_{\text{то}}^+ = \{132, 12\}$.
2. Open the ISMPN program in the Research TC | Varying Uto + Tk and perform calculations in accordance with the technology discussed above. After calculations at the 2nd step, we obtain the following conditionally optimal solution:

$$\mathbf{STO}_S^+ = \langle E_{\text{то}}^+, U_{\text{то}}^+, T_k^+ \rangle = \langle \{132, 12\}; \{0,5; 0,4\}, 1300 \text{ h} \rangle.$$

3. At 2-nd step, the mean time between failures $T_0^+ = 1485$ hours is obtained. If this value also does not satisfy the specified requirement T_0^{TP} , then the next step is performed.

In table. Table 2 shows the results of calculations obtained in 5 steps of the search performed for all serviced elements available in the set $E_{\text{то}}$ (see Table 1).

Let the requirement for the reliability level $T_0^{\text{TP}} = 1500$ h be set for the object Test-1. Then, based on the data obtained, we determine the following optimal MC parameters:

$$\mathbf{STO}_S^* = \mathbf{STO}_S^+ = \langle \{132, 12, 11111\}; \{0,5; 0,4; 0,5\}, 1200 \text{ h} \rangle.$$

With the obtained optimal MC \mathbf{STO}_S^* parameters, the following values of indicators will be provided:

$$T_0(\mathbf{STO}_S^*) = 1660 \text{ h};$$

$$c_{\text{уд}}(\mathbf{STO}_S^*) = 0,01461 \text{ c.u./h};$$

$$K_{\text{ти}}(\mathbf{STO}_S^*) = 0,99851.$$

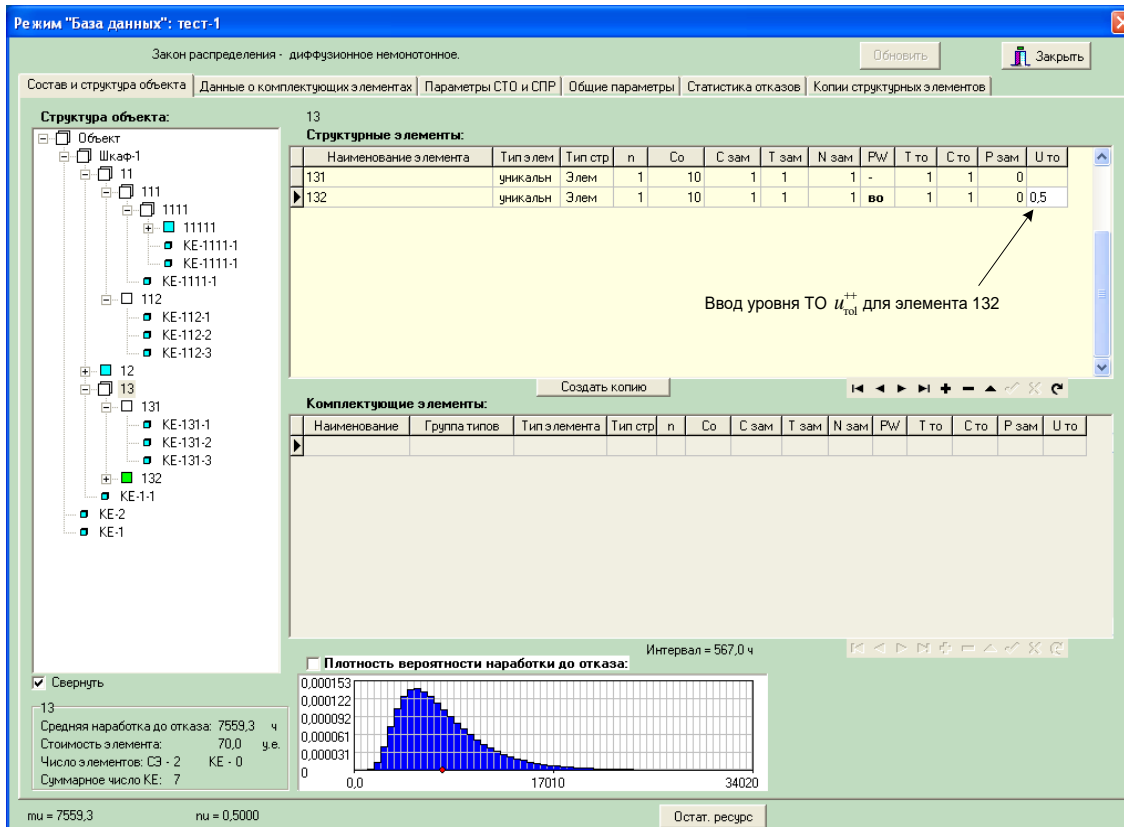


Fig. 4 Enter maintenance $u_{\text{то}k}^{++}$ level for element 132

Table 2

Calculation results of conditionally optimal MC parameters for object Test-1 ($v_i = 1$)

Step number k	Conditionally optimal parameters STO_S^+			Values of indicators obtained with conditionally optimal parameters STO_S^+			
	$E_{\text{то}}^+$	$u_{\text{то}k}^{++}$	T_k^+, h	T_0^+, h	$c_{\text{уд}}^+, \text{c.u./h}$	$K_{\text{тн}}^+$	ε
1	{ 132 }	0,5	1300	1343	0,01866	0,99870	0,156
2	{ 132, 12 }	0,4	1300	1485	0,01663	0,99861	0,171
3	{ 132, 12, 11111 }	0,5	1200	1660	0,01461	0,99851	0,180
4	{ 132, 12, 11111, KE- 131-1 }	0,65	1300	1808	0,01361	0,99850	0,182
5	{ 132, 12, 11111, KE- 131-1, KE-131- 2 }	0,65	1200	1988	0,01266	0,99847	0,198

The relative error of the simulation results at which these results were obtained is $\varepsilon = 0.180$. This solution was obtained under the condition that the coefficient of variation of random time to failure v_i for all elements of the object is the same and equal to 1. It is an interesting question: how will the optimal MC parameters change in the case of smaller values of v_i . This issue seems important because many elements of real technical objects are characterized by the distribution of time to failure, which has a coefficient of variation that is significantly less than 1 (see table 3). To study this issue,

we will make calculations for the object Test-1, obtained under the condition that the coefficient of variation v_i for all elements is 0.5.

On fig. 6 shows the graphs of functions $u_{\text{то}}^+(T_k)$, $c_{\text{уд}}^+(T_k)$, $T_0^+(T_k)$ and $K_{\text{ти}}^+(T_k)$, obtained at the first step of calculations for the set $E_{\text{то}}^+ = \{132\}$ at $v_i = 0,5$.

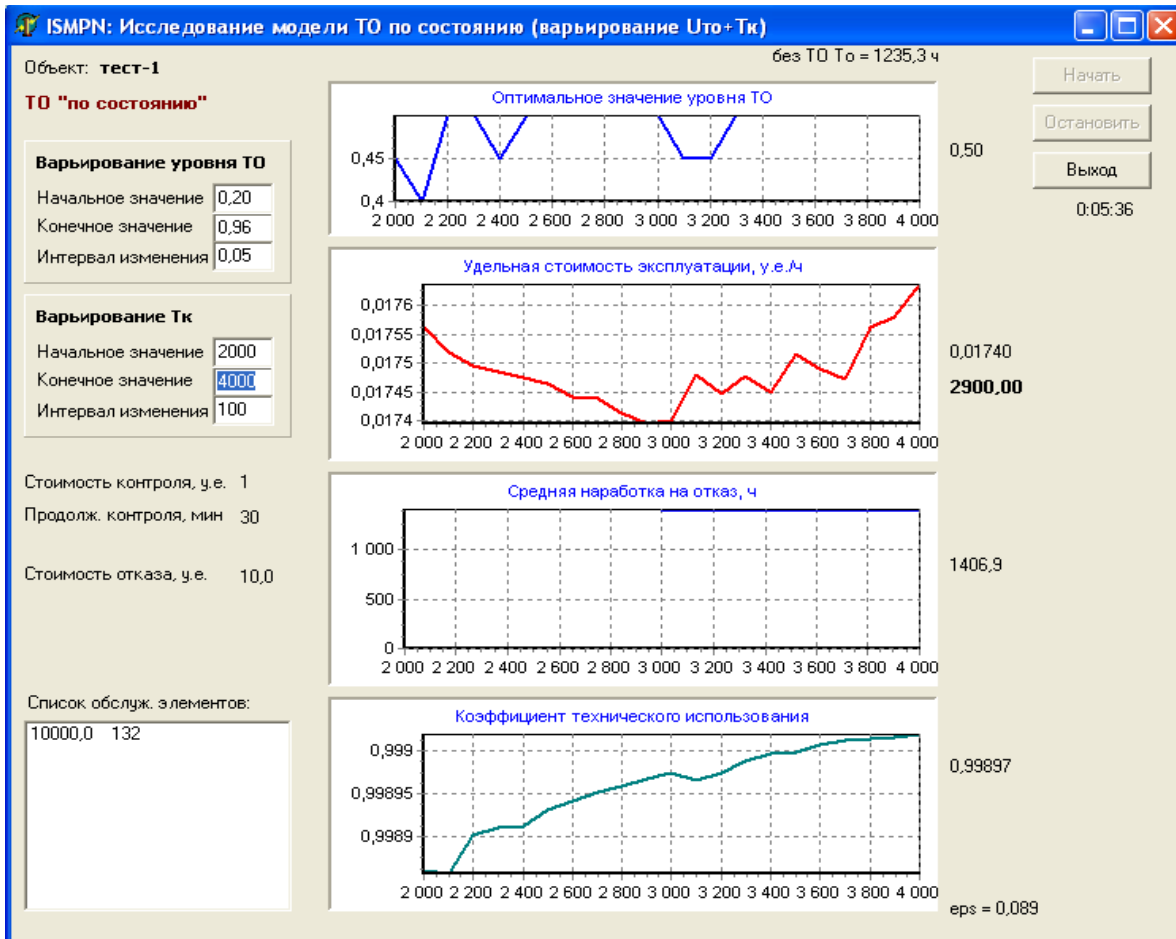


Fig. 5 Graphs of functions $u_{\text{то}}^+(T_k)$, $c_{\text{уд}}^+(T_k)$, $T_0^+(T_k)$ and $K_{\text{ти}}^+(T_k)$ for $E_{\text{то}}^+ = \{132\}$ ($v_i = 0,5$)

Table 3 shows the obtained conditionally optimal MC \mathbf{STO}_S^+ parameters and the corresponding values of the indicators T_0^+ , $c_{\text{уд}}^+$ and $K_{\text{ти}}^+$.

According to the data obtained in table 3, and taking into account that $T_0^{\text{TP}} = 1500$ h, for the case $v_i = 0,5$, we obtain the following solution to problem (4):

$$\mathbf{STO}_S^* = \mathbf{STO}_S^+ = \langle \{132, 12\}; \{0,5; 0,5\}, 2900 \text{h} \rangle .$$

This results in the following values:

$$T_0(\mathbf{STO}_S^*) = 1553 \text{ h};$$

$$c_{\text{уд}}(\mathbf{STO}_S^*) = 0,01541 \text{ c.u./h};$$

$$K_{\text{ти}}(\mathbf{STO}_S^*) = 0,99892 \quad (\epsilon = 0,099).$$

Using the Test-1 test object as an example, let's consider another question: what is MC process in the case of a strategy with a constant control frequency, and what are the characteristics of this process.

Table 3

Calculation results of conditionally optimal MC parameters for object Test-1 ($\nu_i = 0,5$)

Step number k	Conditionally optimal parameters STO_S^+			Values of indicators obtained with conditionally optimal parameters STO_S^+			
	E_{TO}^+	$u_{\text{TO}k}^{++}$	$T_k^+, \text{ч}$	$T_0^+, \text{ч}$	$c_{\text{yд}}^+, \text{y.e./ч}$	$K_{\text{тн}}^+$	ε
1	{132}	0,5	2900	1405	0,01740	0,99897	0,089
2	{132, 12}	0,5	2900	1553	0,01541	0,99892	0,099
3	{132, 12, 11111}	0,5	3000	1738	0,01340	0,99888	0,100
4	{132, 12, 11111, KE-131-1}	0,65	2700	1896	0,01248	0,99884	0,107
5	{132, 12, 11111, KE-131-1, KE-131-2}	0,45	2900	2086	0,01154	0,99881	0,113

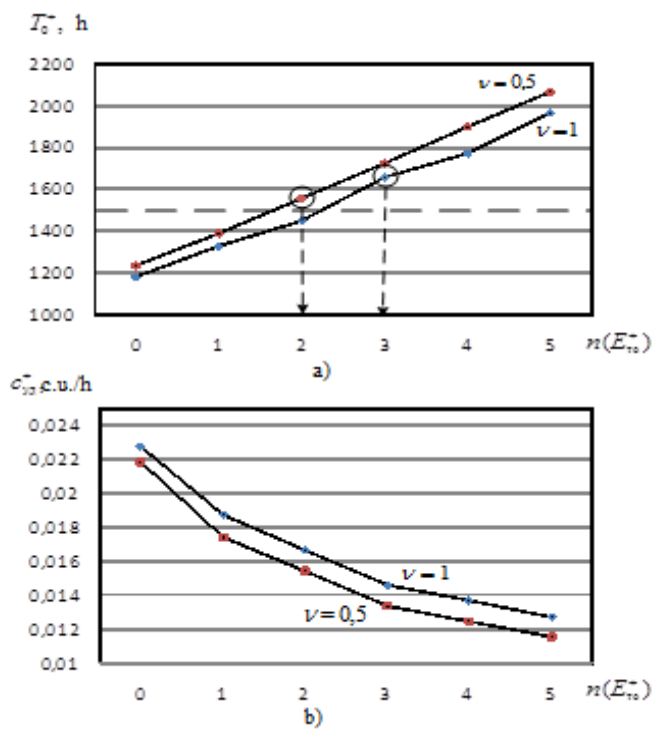


Fig. 6 Graphs of the dependence of indicators T_0^+ and $c_{\text{yд}}^+$ on the number of serviced elements $n(E_{\text{TO}}^+)$ for various values ν_i

It is obvious that this is a random process that occurs at discrete times, multiple of the frequency of control T_k . At each of these moments of time, TC of i -th element from the set E_{TO}^* is performed $p_{\text{TO}i}$ with probability.

For research purposes, ISMPN program has built-in procedures that allow accumulating statistics on the number and frequency of maintenance of various elements over a given period of operation of the facility. According to the accumulated statistics, estimates of indicators are calculated:

\bar{T}_{toi} - average frequency of maintenance i -th element;

ν_{toi} - coefficient of variation randoms periodicity of TO i -th element;

\bar{n}_{toi} - average number of maintenance of i -th element, which is performed during a given period of operation of the object T_s .

In table 4 shows the estimates of these indicators obtained in the simulation example under consideration for the object Test-1.

Table 4

Characteristics of the random process MS of object Test-1 with optimal parameters of the maintenance strategy STO_s^*

Service items	$\nu_i = 1$			$\nu_i = 0,5$		
	$\bar{T}_{\text{toi}}, \text{h}$	ν_{toi}	\bar{n}_{toi}	$\bar{T}_{\text{toi}}, \text{h}$	ν_{toi}	\bar{n}_{toi}
132	5533	0,83	30,2	6480	0,40	25,9
12	7447	0,86	22,2	8501	0,41	19,7
11111	7420	0,86	22,3	-	-	-

Conclusions

1. Optimized parameters of MC strategies are:

- set of serviced elements E_{to} ;

- vector of TC U_{to} levels, in which each element $e_i \in E_{\text{to}}$ is assigned the optimal TC $u_{\text{toi}} \in U_{\text{to}}$ level;

- fixed periodicity of control T_k (for conditional maintenance) or coefficient γ (for adaptive maintenance).

2. The parameter γ has the meaning of a relative value that links the changing frequency of control T_k with the current estimate of the average time to failure of the object \tilde{T}_{cp} . With adaptive MC, the frequency of control T_k is calculated by the formula $T_k = \gamma \tilde{T}_{\text{cp}}$, where the score \tilde{T}_{cp} is determined by the results of measuring determining parameters.

3. Parameters E_{to} and U_{to} are common for MC strategies. The difference between the “state maintenance” and “adaptive maintenance” strategies is only in the method of determining the frequency of control T_k .

4. The optimal number of serviced elements has decreased. Instead of 3 elements to be served at $\nu_i = 1$, now if $\nu_i = 0.5$, it is enough to serve only 2 elements;

5. Significantly increased the optimal frequency of control T_k^* (instead of $T_k^* = 1200$ hours obtained value $T_k^* = 2900$ hours).

Figure 7 shows graphs of the functions of indicators T_0^+ and c_{yd}^+ depending on the number of serviced elements $n(E_{\text{to}}^+)$. The graphs clearly illustrate the trend of improving performance T_0^+ and c_{yd}^+ with a decrease in the coefficient of variation ν_i .

References

- [1] Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, ets. (2002) Forecasting to reliability complex object radio-electronic texnology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical modelsю. *Monograph in English. Odessa: Publishing house “VMV”, 252 p.*
- [2] Jason Brown, Lucas Mol (2017) On the roots of all-terminal reliability polynomials. *Discrete Mathematics, Volume 340, Issue6, June, 1287-1299.*
- [3] Lirong Cui, Yan Li, Jingyuan Shen, Cong Lin (2016) Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods. *Applied Mathematical Modtlling, Volumt 40, Issues 23-24, December, 10783-10799.*

- [4] Iris Tien, Armen Der Kiureghian (2016) Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems. *Reability Engineering & System Safety, Volume 156, December*, 134-147.
- [5] Volokh O.P. (2005) Methods of substantiation rational values operiodicity of maintenance of machines of engineering armament during operation. *Collection of scientific works of Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 29-32.
- [6] Boryak K.F (2009) Faultlessness model of a complex recoverable object of electronic equipment. *Collection of scientific works of Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 33-41.
- [7] Mikhalevich V.S., Volkovich V.L. (1982) Computational methods of research and design of complex systems. *M.: Science*, 286 p.
- [8] Braun V.O., Boryak K.F., Lantvoyt O.B., TSytsarev V.N. (2008) Modeling of maintenance processes of complex reconstructed objects of radio-electronic equipment. *News of the Engineering Academy of Ukraine*. K., №1. 47 – 52.
- [9] Boryak K.F. (2008) Research of the process of maintenance of complex renewable objects of electronic equipment with the help of simulation statistical model. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*. K., №2. 85 – 91.
- [10] Banzak H.V., Banzak O.V., Vozikova L.M. (2020) Simulation of technical maintenance process with adaptive change of control period. *The 1st International scientific and practical conference “The world of science and innovation” Cognum Publishing House, London, United Kingdom*. 10-14.
- [11] Banzak H.V., Boryak K.F., TSytsarev V.N. (2010) Reliability database of complex objects of radio-electronic equipment. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. № 27. 89 – 97.
- [12] Banzak O.V., Sieliykov O.V., Olenov M.V., Dobrovolskaya S.V., Konovalenko O.I. (2010) Research processes of gamma radiation detector for developing a portable digital spectrometer. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. № 69. 5 - 13.
- [13] Nataliya Lytvynenko, Serhii Lienkov, Olexander Lytvynenko, Hennadii Banzak, (2020) Development of Geoinformation Technology for Monitoring Events on the Basis of Data from Unstructured Web Resource Text. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-9 Issue-5, 1160-1165*

к.т.н., с.н.с. Ленков Є.С. (ЦНДІ ЗСУ), к.т.н., доц. Банзак Г.В. (ДУІТЗ),
к.пед.н., доц. Толук І.В. (ВІКНУ), д.т.н., проф. Братченко Г.Д. (ДУІТЗ),
к.т.н., доц. Оленєв М.В. (ДУІТЗ)

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ «ПО СТАНУ» З ПОСТІЙНОЮ ПЕРІОДИЧНІСТЮ КОНТРОЛЮ

Анотація

У цій статті проводиться оптимізація параметрів стратегії технічного обслуговування «за станом» з постійною періодичністю контролю. У процесі експлуатації складних технічних об'єктів, зазвичай, проводиться технічне обслуговування (ТО) підтримки необхідного рівня безвідмовності об'єкта. Відомо, що найефективнішим принципом організації ТО є «ТО станом» (ТОС), відповідно до яким операції ТО проводяться лише тому випадку, якщо цього вимагає фактичний технічний стан (ТС) об'єкта. Для того, щоб у процесі експлуатації була можливість визначати фактичний ТС об'єкта, необхідно ще на етапі його створення розробити та вбудувати в об'єкт засоби для вимірювання параметрів, що визначаються найбільш ненадійних елементів. Для цього розробнику необхідні математичні моделі, за допомогою яких можна було б оцінити очікувані витрати на вбудовування засобів вимірювання та очікуваний виграш від проведення ТО у процесі експлуатації об'єкта.

В даний час відсутні задовільні моделі, що дають змогу отримувати такі оцінки. У цій статті зроблено спробу частково заповнити цю прогалину – запропоновано моделі, що дозволяють прогнозувати показники надійності та вартості експлуатації об'єкта з урахуванням ТГС. У статті також розроблено методики, що дають змогу визначати оптимальні параметри різних стратегій ТО.

Проблема полягає в тому, що при розробці таких об'єктів усі питання, пов'язані з ремонтпридатністю та технічним обслуговуванням, повинні вирішуватися вже на ранніх

етапах проектування об'єкта. Якщо не передбачити заздалегідь необхідні апаратні та програмні засоби вбудованого контролю технічного стану (ТС) об'єкта, не розробити і не вбудувати в об'єкт технологію проведення ТО, то реалізувати в майбутньому можливий виграш у безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО не вдасться. Оскільки всі ці питання повинні вирішуватися на етапі створення об'єкта (коли об'єкта ще немає), необхідні математичні моделі процесу ТО, за допомогою яких можна було б прорахувати можливий виграш у рівні безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО, оцінити необхідні вартісні витрати. Потім на підставі таких розрахунків прийняти рішення про необхідність проведення ТО для цього типу об'єктів і, якщо таке рішення прийнято, розробити структуру системи ТО, вибрати найбільш прийнятну стратегію ТО, визначити її оптимальні параметри.

Ключові слова: технічне обслуговування, фактичний технічний стан, оптимізація параметрів стратегії, контроль технічного стану

**Shuaib Mohammed Sharif
Al-Qalam University College**

THE EFFECT OF INTELLIGENT DESIGN SYSTEM STRATEGY ON THE SERVICE MANAGEMENT SYSTEM DEVELOPMENT: A CASE STUDY IN IRAQI TELECOM COMPANIES

ABSTRACT

The customers' various requirements prompted organizations to change the process of designing their products and services from standard design to diversified one by using digital technologies. In this concern, the main objective of the study is to reveal the effect of the intelligent design system strategy in enhancing service management system development through a field study in Iraqi telecom companies. After reviewing the reality of the companies, the data was collected by means of a questionnaire and analyzed by relying on the (SPSS) program. On the basis of the results of the analysis, the study reached many conclusions and suggestions that are commensurate with its nature. Keywords: Intelligent Design Strategy, Management Service Systems.

INTRODUCTION

Using digital technologies and algorithms is one of the key methods that organizations adopt in intelligent designing a product (good or service), which enhances the quality of its services provided to the customer. Thus, it achieves a large market share as a result of providing services that meet the aspirations of different customers, as well as the superiority that the organization will achieve at the expense of competitors in terms of speed, quantity and cost. From this point of view, the current study is divided into four axes: the first axis includes the methodology of the study. The second includes the theoretical aspect, while the third deals with the field aspect, and the fourth concerns conclusions and suggestions.

THE FIRST AXIS: THE METHODOLOGY OF THE STUDY

First: Research Problem

Most business organizations encounter the problem of changing the design of their products and services, due to poor knowledge and lack of modern technology, or lack of customer information, which negatively affects the organization service systems. To address this problem, organizations have turned towards intelligent technologies because of their active role in designing the product in an intelligent way that responds to the various customers' requirements. Iraqi telecommunications companies suffer from this problem of (lack of possession of advanced technologies, limited knowledge, and weak feedback). To address this problem, the following questions were asked: (Do companies have intelligent design techniques? What are the elements of service systems that companies own? How does the intelligent design system affect service systems?)

Second: Research Importance

The importance of the study lies in the benefits it brings to the companies under study:

- 1- Helping companies to learn about intelligent design techniques and their contribution to improving the quality of their products and services.
- 2- Making the company service systems provide services that meet the customer's ambition.
- 3- Gaining a larger market share at the expense of competitors through the application of intelligent design technologies in the design of its services.

Third: Research Objective

The main objective of the study is to reveal the impact of the intelligent design system strategy in enhancing service management system development through a field study in Iraqi telecommunications companies, and from this main objective we define the following objectives:

- 1- Diagnosing the problems of applying the intelligent design system strategy in the study sample companies.
- 2- Determining the obstacles faced by companies when implementing service systems.
- 3- Addressing the problems of intelligent design and reducing the obstacles that affect the service systems in companies based on the theoretical and practical aspects of the study.

Fourth: Research Hypothesis

The study starts from one hypothesis: there is an effective relationship for the intelligent design system in the service systems.

Fifth: Statistical Scale: The study adopted the following statistical methods (Duai, 2010, 6):

- Frequencies, percentages, mean and standard deviation
- The percentage of conformity through the equation (conformity percentage = arithmetic mean / highest degree of measurement).
- Gap ratio (gap = 1- matching ratio).

THE SECOND AXIS: THE THEORETICAL SIDE

First: The Intelligent Design System Strategy

1- The concept of the intelligent design system strategy: (Zhang et al., 2017) sees the completion of the product design process using advanced digital technologies such as geometric modeling, kinetic simulation, and dynamics. Human-computer interaction achieves a design that meets individual and diverse customer requirements as quickly as possible and at the lowest possible cost. (LI et al., 2020) shows that the intelligent design system is one of the digital technologies used in advanced design and manufacturing chains that achieves the best production advantages, quality, low production cost and short time for marketing and development. (Tsang et al., 2021) indicates that the use of technology by humans to design a product with a high degree of quality, safety, ease of manufacture, use and maintenance achieves customer satisfaction and superiority over competitors.

2- Factors affecting intelligent design system strategy: Intelligent design is affected by many factors, the most important of which are (Wang et al., 2019):

- Unclear design requirements resulting in product design difficulty and reduced efficiency.
- Changing design goals and the weakness of the design system.
- The complexity of users' requirements when they cannot describe the requirements themselves makes it difficult for designers to understand the basic needs of users. Design failures often result from deviations in user orientation.

3- Functions of the intelligent design system strategy: There are many functions associated with intelligent design system strategy (Jamshidi et al., 2020):

- Product design using CAD computer system.
- Extracting engineering and design features.
- Converting product information into facts for inference purposes.
- Inference and suggestion of design rate and materials for production.
- Automatically correct design flaws and enter them into the model.

4- The mechanism of work of the intelligent design system strategy: The work of the intelligent design system depends on several steps (Wang et al., 2019):

- A knowledge base that contains coded expertise from one or more experts in the field.
- The inference provides strategies for manipulating the encoded knowledge in order to arrive at the ultimate solutions.
- Providing a user interface for interaction between the system and the user.
- Providing links to a traditional database for importing data and using it for inference.

5- Elements of the intelligent design system strategy: The intelligent design system consists of several elements:

- Expert system or knowledge base: It is one of the most useful elements of the intelligent design system, as it embodies the expert information available in the virtual design and reflects it on the design of the product or service in reality. This role is performed by the designer engineers, technical specialist or external consultant, using many high-level intelligent functions such as intuition, creativity, correlation, induction, recognition, and inference. It is to analyze these functions accurately in order to reach the point at which an algorithm was obtained to achieve these functions, as knowledge helps to address the problem of constructing the design to be able to fully perform its functional tasks. When the availability of many sources of knowledge makes conflicting design solutions, expert systems wrappers must be used along with knowledge bases (Zhang et al., 2017), to generate logical inferences that give the design space acceptable solutions. This is called a Knowledge-Based Approach (KBS) which usually takes the form of an intelligent computer program. Knowledge and inference procedures are used to solve complex decision problems, and knowledge of a knowledge-based system consists of facts and inference.

Facts constitute a set of widely shared, publicly available, and generally agreed-upon information by experts in a field. As for “inference” it is mostly private information that characterizes decision-making at the expert level in the field (LI et al., 2020).

- Information control: The effectiveness of the intelligent design system depends on the quality of the information used in the design, as the design status is published in the blackboard system database. When the degree of information required to implement the unit is present, the unit is activated, and the units can be analysis units, design performance data or procedures for evaluating or checking whether the design meets requirements and constraints such as manufacturing, cost, environmental impact, etc. Within this framework, the design process is controlled by engineers or is done by an intelligent design system, whereby the design engineer uses all the functions that it provides system for design development. In this case the intelligent design system interacts with the human designer as the ultimate arbiter of the state of the design. Then the design checks are performed automatically and the user is informed of the results and based on these results the system is allowed to modify the design state to reach the required performance level (LI et al., 2020).

- Designer’s Intentions: Recognizing the intentions of an expert designer during the design process is a very difficult process, and the difficulty is that the design intent is not a clearly defined quantity and is difficult to measure. It is possible to identify the designer's intention by recording the reasons and circumstances that led him to change the original design. The designer's intention can be identified when using the intelligent design system that facilitates this process, through which the deviation from the proposed design is recorded with some information or explanations provided for it. This information is useful in developing new alternatives if a similar situation arises in the future (Jamshidi et al., 2020). Recording the design goal in the first place requires attention towards developing all necessary design features and functions present in the product using the experimental method. The error is in the following steps: (1) building a temporary model (2) evaluating the model and comparing the results to the design requirements (3) modifying the model and then returning to step 2 to see if the model fails to meet the requirements. If not, the process is terminated. Therefore, the intelligent design system supports engineering information to represent the product shape, features, property behaviors, and product functions, depending on two types of data, one for dealing with a large amount of formal data and the other for processing a small amount of very complex information while giving enough flexibility to adapt to the dynamic environment (Roy et al., 2014).

- Design model: In order to obtain the required integration between the design functions, a reference model must be chosen on which the design support tools are based, and the model should be tested on the computer in order to evaluate the design automatically. The CAD system is an important factor when doing intelligent design which consists of three main components: the first is the knowledge base that contains design guidelines and material selection information, and the second is the feature extractor which extracts the features of the designed product and then recognizes them using the developed algorithms. The third successfully extracts and manages product design information, and these components are developed for this work using Microsoft NET Technologies as a Relational

Database Management System (RDBMS) in order to arrive at an appropriate design (Zhang et al., 2017).

- Design testing: For design testing, the model designed by the product design system is called to analyze the current state of the design, point out problem areas and indicate possible improvements, and this paragraph is done before major decisions about product and process characteristics (Jamshidi et al., 2020).

Second: Service Management System Development

1- The concept of service systems: It is an integrated combination of product and service systems that allow the creation of value for the customer when used (Akbar & Hoffmann, 2019); (Haber & Fargnoli, 2017) see that these systems use the innovation strategy to be able to provide services that meet specific customer's requirements. (Totzek, 2020) indicates that it is a system that engages in the implementation of its functions, workers and machines, relying on information, technology, and other resources to produce products and services for internal or external customers. (Fonsecaa & Pintob, 2014) show that it is a complex socio- technical system that focuses on interoperability between people, technology and other resources in order to provide excellent customer service.

2- Parts of service systems: Service systems are based on three parts:

a- Science: related to knowledge of service systems and how to understand their evolution. Organizations must recognize how services are performed and how services change over time. The method of understanding and analyzing service systems accurately will achieve a distinct service from others, as well as achieve knowledge, as the density of knowledge is increasingly being part of the systems and value of modern service. Almost all service industries show a growth in the density of knowledge, whether through skilled labor or an increase The use of advanced technology, in addition to that, the roles of employees, technology, and information shared, as well as the role of customer input in service production processes must be understood, described and defined (Fonsecaa & Pintob, 2014).

b- Management: It is related to investment management to improve service systems and understand service system improvements, because it will enable management to invest successfully in this important sector, and there are three steps adopted by the manager in evaluating the return on investments aimed at improving service systems (Totzek, 2020):

- Efficiency (plans) getting things done the right way.
- Effectiveness (objectives) getting the right things done.
- Sustainability (relationships) Finding the right relationships with other service systems.

It also requires management to compare its service systems with each other according to the dimensions of efficiency, effectiveness and sustainability using its own internal information, or compare its current status with previous cases and identify historical trends in key performance indicators to enhance service performance from year to year. The service systems can also be compared using benchmarking with the systems of similar organizations (Qi et al., 2020).

c- Engineering: related to the creation of new technologies that improve and expand the scope of service systems under various circumstances, as organizations improve the service system because electronic commerce has changed the business landscape that enjoys economies of scale. Organizations use customer information to provide standard customer service regardless of location. This is done by introducing innovative technologies to provide the service new and different from others in the market, and this responsibility lies with the design and operations engineers in cooperation with the marketing department. Engineers develop current technologies to suit the design idea and customer requirements, and in the event that engineers are unable to do so, they must go towards purchasing advanced technologies from a third party to ensure the provision of services with the required specifications. In addition, the organization must have an engineering team to provide maintenance service to the organization and its customers alike (Haber & Fargnoli, 2017).

Third: The theoretical relationship between intelligent design and service systems: the intense competition in the market has prompted business organizations to think about abandoning traditional design methods and resorting to intelligent design methods in designing their products and services and making those products attract the customer's attention and push him towards buying and using

them, and this is what enables the organization to Easily access the market and dominate it before competitors. The more the organization increases its activities related to intelligent design, the more impact this will have on enhancing its products and services systems, as service systems need an intelligent design that enables them to be within acceptable quality standards and meet customer needs. In light of this, we have indicated that there is a strong theoretical relationship between the intelligent design and service systems, and on this basis we propose the following scheme that illustrates that relationship.

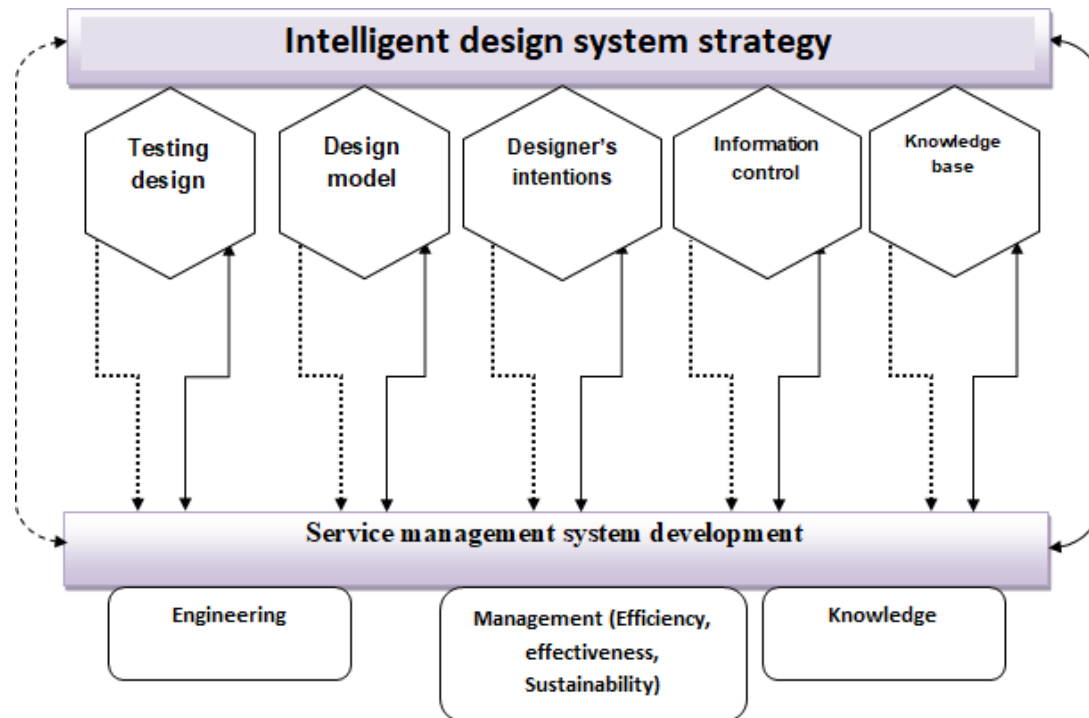


Fig 1 Intelligent Design And Service Systems

THE THIRD AXIS: THE FIELD SIDE

First: About the Iraqi telecommunications companies (study sample): Communication and postal services in Iraq were available at a very early period, as the Internet was available through the centers, but its use is very limited due to the restriction of the ruling regime on the use of the Internet, as well as the availability of wireless communications, which were allowed to be used only in a narrow range only such as Thuraya satellite phones. Since 2003, the Internet and wireless communications have entered Iraq and become accessible to everyone. There are now many Internet service providers via satellite, and the number of Internet users in Iraq is increasing significantly. The number of landline subscribers in Iraq is about one and a half million subscribers, while mobile phone users are about 14 million users. The most important telecommunications companies in Iraq are (Asiacell, Zain, Korek & Fanous et al.), but in our study we will focus on Asiacell because it is The largest telecommunications company in Iraq, where Asiacell Mobile Communications Company was established in 1999 in northern Iraq, to be the first Iraqi cellular telecommunications company in Iraq. In 2012, the French marketing research company Altai announced that Asiacell was the number one brand in Iraq not only in the field of mobile communications, but in all sectors, which reflects the strong presence of the Asiacell brand. It is considered the main provider of high-quality mobile telecommunications services in Iraq and has more than 12 million subscribers. It is the first network in Iraq as it is the first mobile telecommunications service provider in Iraq and has achieved coverage of all its parts. The company provided its services in all eighteen Iraqi governorates, including the capital, Baghdad, and all major Iraqi cities. Asiacell network covers 99.09% of the Iraqi population, making its coverage the widest among mobile operators in Iraq

Second: Description and analysis of the results of the dimensions of intelligent design system strategy: It includes the following:

1- Expert system (knowledge base): the results contained in Table (1) indicate that the answers of the respondents on this dimension and its variables extending from (X1 - X3) tend towards agreement with a modest percentage (42.6%) and an arithmetic mean (1.93) and a standard deviation (0.79), while the percentage of neutral answers was (29.3%), while the percentage of disagreement was (28%), and although the measure of agreement got the largest percentage, there is a gap in the implementation of the experts system estimated at (36%), which means that The company's ability to meet the requirements of the experts' system is (64%), and this percentage is small and needs to be strengthened by the company.

2- Control of information: The results presented in Table (1) show that the answers of the respondents about this dimension and its variables (X4 - X6) tend towards agreement at a rate of (62%) and with arithmetic mean (2.38) and a standard deviation (0.75). The percentage of neutral answers (14.6%), while the percentage of disagreement was (23.3%). The measure of agreement obtains the largest percentage, but there is a gap in implementation after controlling information estimated at (21%), which means that the company's ability to match the requirements of information control by (79%) and this percentage is good and needs to make more efforts before The company has access to accurate information that can be easily controlled.

3- The designer's intentions: the results in Table (1) indicate that the respondents' answers about this dimension and its variables (X7 - X9) tend towards agreement with a percentage of (50.6%), an arithmetic mean of (2.26) and a standard deviation of (0.79), while the percentage formed Neutral answers (25.3%), while the percentage of disagreement (24%). The measure of agreement obtained the largest percentage, and this does not indicate that there is no gap in the implementation of the designer's intentions in the company, as the percentage of the gap is estimated at (25%), which means that the company knows the intentions of the designer in advance through a percentage (75%). This percentage is acceptable and requires the company management strengthened it to know the intentions of the designer in all.

4- Design model: The results in Table (1) show that the answers of the respondents about this dimension and its variables (X10 - X12) tend towards agreement at a rate of (55.3%) and with an arithmetic mean (2.24) and a standard deviation (0.83), as the neutral answers formed (13.3%), while the percentage of disagreement (31.3%). Since the measure of agreement got the largest percentage, but there is a gap in the implementation of the design model of (25%), which indicates that the company has the ability to match the requirements of the design model by (75%). This percentage requires scaling weaknesses in order to reach to a suitable design model.

5- Design test: The results presented in Table (1) show that the answers of the respondents about this dimension and its variables (X13 - X15) took the direction of agreement (42%), mean (1.87) and standard deviation (0.80), while the percentage of answers formed Neutral (28.6%), and the percentage of disagreement (29.3%). Although the measure of agreement obtained the largest percentage of the respondents' answers, there is a gap in the implementation of the design test estimated at (38%), which means that the company's ability to meet the requirements of the design test by (62%). This percentage pushes the company's management to continuously search for Reasons for poor testing of the initial design model.

Table1

FREQUENCIES, PERCENTAGES, MEANS, STANDARD DEVIATIONS, MATCHING RATIO AND GAP FOR INTELLIGENT DESIGN STRATEGY DIMENSIONS

No	Variants	Response scale			Arithmetic mean	standard deviation	Match ratio	Gap
		Agree %	Neutral %	Disagree %				
	Intelligent design system strategy dimensions							
	Expert system or knowledge base							
1	The product or service in our company is designed based on the ideas of creative workers	50	26	24	2.26	0.82	0.75	0.25
2	Our company uses intelligent functions such as intuition and creativity to come up with the right design	22	38	40	1.18	0.77	0.39	0.61
3	Our company relies on knowledge when solving the problem of installing the design to be able to perform its functional tasks	56	24	20	2.36	0.8	0.78	0.22
	the average	42.6	29.3	28	1.93	0.79	0.64	0.36
	Information control							
4	Our company has a design database and publishes it using the Blackboard system	56	16	28	2.28	0.88	0.76	0.24

5	Analyze design data to verify that the design meets requirements for manufacturing , cost, and environmental impact	40	24	36	2.04	0.87	0.68	0.32
6	The intelligent design system interacts with the human designer for final judgment on the state of the design	90	4	6	2.84	0.5	0.94	0.06
	the average	62	14.6	23.3	2.38	0.75	0.79	0.21
	Designer's intentions							
7	The designer's intent can be identified by recording the reasons that lead him to change the current design	32	58	10	2.22	0.61	0.74	0.26
8	The designer develops new alternatives to face any situation in the future	50	10	40	2.1	0.95	0.7	0.3
9	Supports intelligent design system designed with information to represent product form and function	70	8	22	2.48	0.83	0.83	0.17
	the average	50.6	25.3	24	2.26	0.79	0.75	0.25
	Design model							

10	Our company has a reference design model to base on when preparing a new design	74	8	18	2.56	0.78	0.85	0.15
11	When our company designs the product or service, it takes into account the quality factor in it	26	24	50	1.76	0.84	0.59	0.41
12	After the design is completed, our company creates a prototype and tests it on the computer in order to evaluate the design automatically	66	8	26	2.4	0.88	0.8	0.2
	the average	55.3	13.3	31.3	2.24	0.83	0.75	0.25
	Design test							
13	The model that is designed to test and detect problem areas is called in	40	18	42	2.02	0.91	0.67	0.33
14	Address problems in the design to be perfect	66	10	24	1.58	0.85	0.53	0.47
15	Introducing the new model to the market	20	58	22	2.02	0.65	0.67	0.33
	the average	42	28.6	29.3	1.87	0.8	0.62	0.38

Third: Description and analysis of the results of the service management system development: They include:

1- Knowledge or knowledge: The results shown in Table (2) indicate that the answers of the respondents about this dimension and its variables (X16 - X18) tend towards agreement at a rate of (58%) and with an arithmetic mean (2.32) and a standard deviation (0.84), while it formed The percentage of neutral answers (16.6%), while the percentage of disagreement was (25.3%). Although the measure of agreement obtained the largest percentage, there is a gap in the implementation of the dimension of knowledge estimated at (23%), which means that the company's ability to match the requirements of the design model is (77%), and this percentage requires strengthening by the company.

2- Administration: Table (2) shows the results of the answers of the respondents on this dimension and its variables (X21 - X19), where these answers were directed towards agreement with a percentage (59.3%), arithmetic mean (2.60) and a standard deviation (0.77), while the percentage of answers formed Neutral (18.6%), and the percentage of disagreement (22%). Since the measure of agreement obtained the largest proportion of the answers, but there is a gap in the implementation after management, which was (47%), indicating that the company has the ability to implement the requirements of the design model, which is indicated by the conformity, which is (53%). This percentage is weak and needs the company have taken good administrative measures that enable it to reach a high quality service system.

3- Engineering: The results in Table (2) refer to the respondents' answers about this dimension and its variables (X24 - X22), which tended towards limited agreement at a rate of (36.6%), arithmetic mean (1.96) and standard deviation (0.82), while the percentage of answers formed Neutral (28%), and the percentage of disagreement (35.3%). Although the measure of agreement obtained the largest percentage, there is a gap in engineering implementation estimated at (35%), which means that the company has the ability to match the requirements of the design model by (65%). This percentage requires strong support before the company by providing all requirements service engineering.

Table2

FREQUENCIES, PERCENTAGES, MEANS, STANDARD DEVIATIONS, CONFORMITY RATIO AND GAP FOR SERVICEMAN AGEMENT SYSTEM DEVELOPMENT DIMENSIONS

No	Variants Dimensions ofservicesyste ms	Response scale			Arithmetic mean	standard deviation	Match ratio	Gap
		agree %	Neutral%	Disagree %				
	Knowledge							
16	Our companyhass ufficient knowledge ofservicesyste ms	68	10	22	2.46	0.83	0.82	0.18
	and how to perform services							
17	The intensity of knowledge that our company possesses enables it to achieve value	40	32	28	2.12	0.82	0.71	0.29

	for the customer							
18	Knowledge of service systems helps our company's management understand the roles of employees, and technology, in the service production processes	66	8	26	2.4	0.88	0.8	0.2
	the average	58	16.6	25.3	2.32	0.84	0.77	0.23
	Administratio n							
19	Our company invests in service systems to achieve a return on targeted investments	82	8	10	2.72	0.64	0.91	0.09
20	Our company's management makes plans with efficiency by doing the work in the right way	38	34	28	2.1	0.81	0.7	0.3
21	The administratio n compares service systems with each other according to the dimensions of efficiency, effectiveness and sustainability	58	14	28	2,30	0.88	0.77	0.23

	the average	59.3	18.6	22	2.6	0.77	0.53	0.47
	Engineering							
22	Our engineers innovate new technologies that improve service systems	30	14	56	1.74	0.89	0.58	0.42
	under any conditions							
23	Where engineers develop current technologies in cooperation with the production and marketing departments so that the design idea is suitable for customer requirements	46	30	24	2.22	0.81	0.74	0.26
24	In the event that engineers are unable to develop service systems, our company uses a third party to ensure the provision of services with the required specifications	34	40	26	1.92	0.77	0.64	0.36
	the average	36.6	28	35.3	1.96	0.82	0.65	0.35

Fourth: The general indicator of the study variables: The results of Table (3) indicate that all dimensions of the intelligent design achieved a percentage of agreement (50.5%), while the percentage of neutral answers (22.2%), while the answers of disagreement got a percentage of

(27.1%) at arithmetic mean (2.13) and a standard deviation (0.792). The percentage of matching answers was (71%), which means, that the percentage of the gap in the answers was (29%). This result indicates that the company applies the dimensions of intelligent design by (50.5%), and this percentage is limited and needs to be strengthened by the company's management. Table (3) also shows the results of all dimensions of service systems that achieved a percentage of agreement (51.3%), as for the percentage of neutral answers (21%), while the answers of disagreement got a percentage of (27.5%) at an arithmetic mean (2.2) and a standard, deviation (0.81). The matching of the answers was (65%), which means that the, percentage of the gap in the answers was (35%). This result indicates that the company has implemented service systems in its activities at a rate of (51.3%). This percentage is limited and needs to be strengthened by the company management.

Table3
THE GENERAL INDICATOR OF THE RESULTS OF THE STUDY VARIABLES

No	Variants	responsescale			Arithmetic mean	standard deviation	Match ratio	Gap
		agree %	Neutral %	Disagree %				
	The general indicator of the study variables							
	Intelligent design dimensions							
1	Expert system or knowledge base	42.6	29.3	28	1.93	0.79	0.64	0.36
2	information control	62	14.6	23.3	2.38	0.75	0.79	0.21
3	designer's intentions	50.6	25.3	24	2.26	0.79	0.75	0.25
4	design model	55.3	13.3	31.3	2.24	0.83	0.75	0.25
5	design test	42	28.6	29.3	1.87	0.8	0.62	0.38
	general indicator	50.5	22.2	27.1	2.136	0.792	0.71	0.29
	Dimensions of service systems							
1	Science and knowledge	58	16.6	25.3	2.32	0.84	0.77	0.23
2	Administration	59.3	18.6	22	2.6	0.77	0.53	0.47
3	Engineering	36.6	28	35.3	1.96	0.82	0.65	0.35
	general indicator	51.3	21	27.5	2.2	0.81	0.65	0.35

Fifth: The effect of the intelligent design system on service systems: The results of Table (4) indicate the existence of a statistically significant relationship for the intelligent design system in service systems (in general), in terms of the value (R²) of (70%), which is a significant value according to the test, the estimated calculated F (14.3) is greater than its tabulated value. This means that 70% of the change in the dependent variable (service systems) is the result of independent variables. The validity of the model was also proven by following the coefficients (B) and T-test with a value (8.961) which is greater than its tabular value, which means that if the value of the intelligent design system increases by one unit, this leads to an increase in the value of the dependent variable (service systems)

by (51%) with the rest of the variables being proven for other years, thus accepting the hypothesis of the study.

Table4
THE EFFECT OF THE INTELLIGENT DESIGN SYSTEM ON SERVICE SYSTEMS

Variables	servicemanagementsystemdevelopment					
	R ²	F	T	B ₀	B ₁	R
intelligentdesign	0.70	14.3	8.961	0.38	0.51	0.836

FOURTH AXIS: CONCLUSION AND SUGGESTIONS

First: Conclusion: The study reached several conclusions, the most important of which are:

- 1- The results of the study indicate that all dimensions of intelligent design achieved a percentage of agreement among the respondents in the company, and this agreement stipulated that there is a gap in the implementation of the requirements of intelligent design, and this gap has a negative impact on the quality of intelligent design.
- 2- The study showed that all dimensions of service systems obtained a modest agreement between the answers, as this indicated that there is a gap in the application of the dimensions of service systems in the company, and this negatively affects the quality of service provided to customers.
- 3- The study revealed that there is a correlation and impact between the intelligent design system and the service systems, which led to the acceptance of the study hypothesis.

Second: Suggestion: In light of the conclusions, we suggest the following:

- 1- The need for the company to pay attention to the intelligent design system by investing human and engineering efforts as well as using modern technologies in order to reach an intelligent design that fits the company's technical ability and suits the needs of customers.
- 2- Developing the company's current service system to be a high quality system by applying service quality standards to all company operations.
- 3- Allocating funds within the company's budget, and the aim is to improve intelligent design activities in a way that contributes to supporting the company's service systems and thus is effectively reflected on customer service.
- 4- Training working individuals to develop their design skills so that they can design intelligent products and services that the company will excel over competitors.

REFERENCES

- [1] Akbar, P., Stefan, H. (2019). Creating value in product service systems through sharing. *Journal of Business Research*, 9.
- [2] Jassim, M.D. (2010). Using the checklist to determine the size of the gap in health services. An applied study in the Baghdad Health Department – Karkh-*Journal of Baghdad College of Economic Sciences*, University.
- [3] Fernando, F.J., & Carlos, P.S. (2014). Health and social care information systems and technologies from the classical concept of services to service systems. *International Conference on Project management*.
- [4] Haber, Nicolas., & Mario, F. (2017). Designing product-service systems: A review towards a unified approach. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Rabat, Morocco*.
- [5] Jamshidi, P., Mansour, S., & Behdad, S. (2021). Development of an intelligent product design support system.
- [6] LI, H., YANG, J., & LIU, W. (2020). Towards intelligent design optimization: Progress and challenge of design optimization theories and technologies for plastic forming, *Journal of Chinese Aeronautics*, 34(2), 104-123.
- [7] Qi, X., Mei, G., & Lei, X. (2020). A network-based method with privacy-preserving for identifying influential providers in large healthcare service systems. *Journal of future generation computer systems*, 109, 293-305.
- [8] Roy, U., Balaji, B., Sriprakash, S., Patrick, G. (2014). Development of intelligent product design system: Integration strategies. *Journal of International for Applied Artificial Intelligence*, 9(6), 563-585.

- [9]Eva-KroppDirk, T. (2020). How institutional pressures and systems characteristics shape customer acceptance of intelligent product-service systems. *Journal of Industrial Marketing*, 91, 468-482.
- [10] Tsang, P., Wu, H., & Lee, K. (2021). Unlocking the power of big data analytics in new product development: An intelligent product design framework in the furniture industry. *Journal of Manufacturing Systems*.
- [11] Wang, W., Ting, W., Zhang, Y., & Yi, W. (2019). A method of intelligent product design cue construction based on customer touch point correlation analysis and positive creativity theory. *Journal of advances in mechanical engineering*, 11, 1–11.
- [12] Shuyou, Z., Jinghua, X., & Jianrong, T. (2017). A research review on the key technologies of intelligent design for customized products. *Journal of Engineering*, 3(5), 631-640.

Шуайб Мохаммед Шаріф

**ВПЛИВ СТРАТЕГІЇ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДИЗАЙНУ НА РОЗВИТОК
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОСЛУГАМИ: ПРИКЛАД ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
КОМПАНІЙ ІРАКУ**

Анотація

Різноманітні вимоги клієнтів спонукали організації змінити процес розробки своїх продуктів і послуг від стандартного дизайну до диверсифікованого за допомогою цифрових технологій. У зв'язку з цим головною метою дослідження є виявлення впливу стратегії інтелектуальної системи проектування на покращення розвитку системи управління послугами за допомогою польового дослідження в іракських телекомунікаційних компаніях. Після перегляду реальних даних компаній дані були зібрані за допомогою анкети та проаналізовані за допомогою програми. На основі результатів аналізу в дослідженні зроблено багато висновків і пропозицій, які відповідають його природі.

Ключові слова: стратегія інтелектуального проектування, системи управління сервісом.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

УДК 355.5

к.військ.н., доц. Георгадзе О.А. (НУОУ)

к.т.н., доц. Пампуха І.В. (ВІКНУ)

к.військ.н. Шевчук В.В. (НУОУ)

к.військ.н. Пехота С.Г. (НУОУ)

Чайковська О.Є. (НУОУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/76-11>

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ОФІЦЕРСЬКОГО СКЛАДУ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ У ВИЩИХ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Необхідність впровадження нових підходів щодо організації і проведення індивідуальної підготовки з офіцерським складом науково-педагогічних працівників у вищих військових навчальних закладах на основі принципів та стандартів прийнятих у збройних силах держав-членів НАТО, зумовлено збройною агресією Російської Федерації проти України. Зазначене вимагає обґрунтованого підходу до питань удосконалення системи індивідуальної підготовки офіцерського складу науково-педагогічних працівників у вищих військових навчальних закладах, що не можливо без використання відповідного науково-методичного апарату з оцінювання її ефективності.

На основі науково-методичних підходів з оцінювання ефективності індивідуальної підготовки військовослужбовців та досвіду її проведення у вищих військових навчальних закладах, в статті викладено методичний підхід до оцінювання ефективності індивідуальної підготовки офіцерського складу науково-педагогічних працівників у вищих військових навчальних закладах, який побудований на основі розрахунку багатокритеріальної безрозмірної оцінки, що дає змогу не тільки оцінити рівень компетентностей офіцерського складу науково-педагогічних працівників, але й врахувати вплив суб'єктів підготовки під час організації індивідуальної підготовки. До показників, які характеризують рівень компетентностей офіцера науково-педагогічного працівника віднесено рівень його методичної майстерності, освіти, стаж роботи на займаній посаді, наявність у нього вченого звання та проходження курсів підвищення кваліфікації. До показників, які характеризують рівень організації індивідуальної підготовки суб'єктами підготовки віднесено якість планування індивідуальної підготовки та рівень забезпечення заходів індивідуальної підготовки. Якість планування індивідуальної підготовки залежить від впливу суб'єктів підготовки на зміст програми індивідуальної підготовки офіцерського складу. Рівень забезпечення заходів індивідуальної підготовки залежить від достатності забезпечення матеріально-технічними засобами та навчальною матеріально-технічною базою.

Даний методичний підхід дозволяє провести кількісну оцінку ефективності індивідуальної підготовки офіцерського складу науково-педагогічних працівників у вищих військових навчальних закладах, а також виявити проблемні питання під час її організації та проведення, що зумовлює необхідність розроблення рекомендацій з її удосконалення.

Ключові слова: індивідуальна підготовка, оцінювання, показники, компетентності, організація підготовки, суб'єкти підготовки.

Вступ та постановка проблеми. Досвід застосування Збройних Сил (ЗС) України у ході проведення операції Об'єднаних сил, антитерористичної операції та в ході відсічі збройної агресії Російської Федерації свідчить, що успішне виконання бойових завдань військами (силами) залежить від рівня їх боєздатності. Безпосередній вплив на боєздатність військ (сил) здійснює рівень їх підготовленості. Саме на досягнення високого рівня підготовленості військ (сил) спрямована підготовка ЗС України, яка включає в себе: оперативну підготовку, бойову підготовку та підготовку персоналу [1]. Однією із складових підготовки персоналу являється підготовка у вищих військових навчальних закладах (ВВНЗ), яка включає індивідуальну підготовку (ІП) офіцерського складу науково-педагогічних працівників. Від ефективності проведення ІП буде залежати і професійний розвиток офіцерського складу науково-

педагогічних працівників, вдосконалення рівня їх компетентностей за напрямом діяльності, що безпосередньо впливає на підвищення якості навчання слухачів (курсантів). Усе це спонукає до пошуку та реалізації нових підходів щодо проведення індивідуальної підготовки у ВВНЗ.

Недосконалість існуючих методичних підходів з оцінювання ефективності індивідуальної підготовки військовослужбовців та обмежені можливості повноцінного застосування для оцінювання ефективності ІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ спонукає до удосконалення науково-методичного апарату та обґрунтування запропонованих змін. Таким чином існує потреба у науковому обґрунтуванні методичного підходу до оцінювання ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ. Зазначене свідчить про актуальність теми, яка розглядається.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз попередніх досліджень та публікацій з даного напрямку [2-10] свідчить про те, що єдиного методичного підходу до оцінювання ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників не існує. Підходи, які використовувались, стосуються переважно питань оцінювання окремих предметів ІІІ і не враховують зміни існуючої системи підготовки ЗС України та особливостей її проведення у ВВНЗ. Так, у роботі [2] розглядався підхід щодо оцінювання компетентностей військовослужбовців. Стаття [3] присвячена оцінюванню рівня методичної діяльності кафедри військової підготовки. Запропоновані в роботі [4] аналітичні залежності дозволяють оцінити рівень кваліфікації науково-педагогічних працівників. У попередній роботі авторів [5] розглянуто сукупність показників оцінювання ефективності підготовки підрозділів територіальної оборони. У статтях [6-8] викладені часткові методики оцінювання рівня навченості бригади тактичної авіації, підготовленості танкової бригади у ході відновлення боєздатності та організації підготовки бригади територіальної оборони. У роботі [9] викладено методичний підхід до оцінювання якості програм індивідуальної підготовки артилерійських підрозділів. Запропоновані в роботі [10] аналітичні залежності дозволяють визначити потребу у підготовці наукових, науково-педагогічних працівників.

Таким чином, наведені вище методичні підходи можуть бути використані тільки частково під час оцінювання ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ.

Виклад основного матеріалу. Індивідуальна підготовка офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ розглядається як процес, який спрямований для досягнення кінцевої мети ІІІ – набуття офіцерським складом індивідуальних спроможностей для виконання завдань за призначенням, як у мирний час так і в особливий період.

Тому, в якості узагальненого показника ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ використовуємо величину, яка характеризує рівень досягнутих ними індивідуальних спроможностей до виконання $P_{IC}(t)$ завдань за призначенням.

Узагальнений показник $P_{IC}(t)$ носить імовірнісний характер, тому значення його може бути записано таким чином:

$$0 < P_{IC}(t) \leq 1 \quad (1)$$

Пропонується мати систему показників, яка буде складатися з узагальненого показника, часткових показників та показників. Часткові показники і показники також носять імовірнісний характер, тому їх значення також приймаються в межах від 0 до 1.

До часткових показників оцінки ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ пропонується віднести: “компетентності офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ” та “організація ІІІ суб’єктами підготовки”.

Тоді цільова функціональна залежність матиме наступний вигляд:

$$P_{IC}(t) = f_{IC} \{M_K(t); M_{Op}(t)\} \quad (2)$$

де $M_K(t); M_{Op}(t)$ – часткові показники “компетентності офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ” та “організація ІІІ суб’єктами підготовки” на дискретний момент часу.

Багатокритеріальну задачу можна звести до однокритеріальної методом згортки часткових показників. Зазначені показники усіх рівнів можуть мати як рівну, так і різну значимість або вагомість. Тому під час їх згортки будуть застосовані відповідні “вагові” коефіцієнти. Розрахунок “вагових” коефіцієнтів проводився методом експертного оцінювання.

Так, як компетентності офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ не залежать від організації ІІІ суб’єктами підготовки, а отже і їх показники не залежні, то для оцінювання ефективності ІІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ $P_{IC}(t)$ пропонується використовувати адитивну агрегацію [11]:

$$P_{IC}(t) = M_K(t) \cdot q_K + M_{Op}(t) \cdot q_{Op}, \quad (3)$$

де $q_K; q_{Op}$ – “вагові” коефіцієнти часткових показників.

Кожен з часткових показників складається із сукупності показників, які характеризують і розкривають їх фізичний зміст та визначатимуть відповідний рівень безрозмірною величиною.

Частковий показник “компетентності офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ” $M_K(t)$ пропонується розраховувати за функціональною залежністю, яка враховує рівень компетентностей j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ. Так, як компетентності кожного окремого офіцера науково-педагогічного працівника не залежать від компетентностей іншого, а отже і їх показники не залежні один від одного, то для оцінювання сукупного рівня компетентностей офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ пропонується використовувати адитивну агрегацію:

$$M_K(t) = \sum_{j=1}^J M_{Kj}(t) \cdot q_j; \sum_{j=1}^J q_j = 1, \quad (4)$$

де $M_{Kj}(t)$ – рівень компетентностей j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ на дискретний момент часу;

q_j – “ваговий” коефіцієнт важливості j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ;

J – кількість офіцерів науково-педагогічних працівників у ВВНЗ.

“Вагові” коефіцієнти важливості j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ q_j розраховуються шляхом нормування порівняльних рангів посад офіцерського складу науково-педагогічних працівників ВВНЗ $R_{j\epsilon}$ у відповідності з виразом, який наведено у роботі [12]:

$$q_j = \frac{R_{j\epsilon}}{\sum_{j=1}^N R_{j\epsilon}}, \quad (5)$$

де $R_{j\epsilon}$ – порівняльний ранг j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ;

$\sum_{j=1}^N R_{j\epsilon}$ – сума всіх рангів офіцерського складу науково-педагогічних працівників ВВНЗ;

N – загальна кількість посад офіцерів науково-педагогічних працівників у ВВНЗ.

Порівняльний ранг j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ визначається за залежністю:

$$R_{j\theta} = 1 - \frac{N_{j\theta} - 1}{N_{\theta}}, \quad (6)$$

де $N_{j\theta}$ – порядковий номер j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ;

N_{θ} – кількість офіцерів науково-педагогічних працівників у ВВНЗ.

До показників, які характеризують рівень компетентностей j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ $M_{kj}(t)$ пропонується віднести: рівень методичної майстерності, рівень освіти, наявність у нього вченого звання, стаж на займаній посаді та проходження курсів підвищення кваліфікації.

Так, як зазначені показники не залежні один від одного, то для розрахунку рівня компетентностей j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ $M_{kj}(t)$ пропонується використовувати адитивну агрегацію:

$$M_{kj}(t) = \sum_{k=1}^5 C_{kj}(t) \cdot q_k; \quad \sum_{k=1}^5 q_k = 1, \quad (7)$$

де $C_{kj}(t)$ – показники, які характеризують рівень компетентностей j -го офіцера науково-педагогічного працівника у ВВНЗ на дискретний момент часу: “рівень методичної майстерності” $C_{mj}(t)$; “рівень освіти” $C_{oj}(t)$; “наявність вченого звання” $C_{zj}(t)$; “стаж на займаній посаді” $C_{cj}(t)$; “наявність курсів підвищення кваліфікації” $C_{kj}(t)$;

q_k – вагові коефіцієнти показників $C_{kj}(t)$.

Розрахунок рівня методичної майстерності офіцера $C_{mj}(t)$ пропонується оцінювати, як наведено у роботі [13].

Показник “рівень освіти” $C_{oj}(t)$ характеризує наявність у науково-педагогічного працівника диплому про вищу освіту відповідного ступеню. Для оцінки показника “рівень освіти” пропонується використовувати розроблену нами шкалу оцінки, яку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінка рівня освіти науково-педагогічного працівника

Рівні освіти	Значення показника
Доктор наук	1,0
Доктор філософії (кандидат наук)	0,8
Магістр	0,6
Бакалавр	0,3

Показник “вчене звання” $C_{zj}(t)$ характеризує наявність у офіцера науково-педагогічного працівника привоєного вченого звання відповідного рівня кваліфікації. Для оцінки наявності вченого звання пропонується використовувати розроблену нами шкалу оцінки, яку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка наявності у науково-педагогічного працівника вченого звання

Вчене звання	Значення показника
Професор	1,0
Доцент	0,7
Старший науковий співробітник (старший дослідник)	0,4

Показник “стаж на займаній посаді” j -го офіцера науково-педагогічного працівника $C_{cj}(t)$ характеризує його здатність якісно виконувати визначені завдання, який залежить від набутого ним практичного досвіду на займаній посаді.

Дослідження, які проведені [3, 7], засвідчують, що для досягнення стійких навичок необхідний середній термін перебування на займаній посаді становив не менше трьох років. Таким чином, для оцінки стажу на займаній посаді пропонується використовувати шкалу оцінки, яку наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка стажу на займаній посаді офіцера науково-педагогічного працівника ВВНЗ

Термін перебування на посаді	Значення показника
понад 3 роки	1,0
від 2 до 3 років	0,8
від 1,5 до 2 років	0,6
від 1 до 1,5 року	0,4
до 1 року	0,2

Показник “наявність курсів підвищення кваліфікації” у j -го офіцера науково-педагогічного працівника $C_{kj}(t)$ характеризує наявність у нього курсів підвищення кваліфікації за напрямом діяльності. Для оцінки показника пропонується використовувати розроблену шкалу оцінки, яку наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Оцінка наявності у науково-педагогічного працівника курсів підвищення кваліфікації

Пройдення курсів підвищення кваліфікації	Значення показника
протягом останнього року	1,0
протягом двох років	0,8
протягом трьох років	0,6
протягом чотирьох років	0,4
понад чотири роки	0,2
не приймав участі	0

Частковий показник “організація ІІІ суб’єктами підготовки” $M_{Op}(t)$ пропонується розраховувати за функціональною залежністю, яка враховує діяльність суб’єктів ІІІ спрямовану на продумане, планове навчання об’єктів підготовки. Найважливішими заходами з організації ІІІ суб’єктами підготовки являється планування ІІІ та забезпечення заходів ІІІ. Отже, до показників нижчого рівня, які характеризують рівень організації ІІІ суб’єктами підготовки пропонується віднести: планування ІІІ та забезпечення заходів ІІІ.

Зважаючи на те, що зазначені показники сильно корельовані, оцінку рівня організації ІІІ суб’єктами підготовки $M_{Op}(t)$ пропонується розраховувати за допомогою нормованої мультиплікативної агрегації:

$$M_{Op}(t) = L_{IIII}(t)^{q_{IIII}} \cdot L_3(t)^{q_3}, \quad (8)$$

де $L_{IIII}(t); L_3(t)$ – показники, які характеризують планування ІІІ та забезпечення заходів ІІІ на дискретний момент часу;

$q_{IIII}; q_3$ – “вагові” коефіцієнти показників планування ІІІ та забезпечення заходів ІІІ.

Оцінку рівня планування ІІ пропонується визначати показником, який характеризує вплив суб'єктів підготовки на зміст програми ІІ офіцерського складу. Він залежить від якості програми r -го предмету ІІ.

Оцінку рівня планування ІІ $L_{II}(t)$ розраховуємо за формулою:

$$L_{II}(t) = \sum_{r=1}^R Q_{IIr}(t) \cdot q_r, \quad (9)$$

де $Q_{IIr}(t)$ – коефіцієнт якості програми r -го предмету ІІ;

q_r – “ваговий” коефіцієнт r -го предмету в програмі ІІ;

R – кількість предметів у програмі ІІ.

Тобто, коефіцієнт якості програми r -го предмету ІІ $Q_{IIr}(t)$ та “ваговий” коефіцієнт предмету q_r будуть визначати внесок r -го предмету, заняття з якого проводяться, в оцінку рівня планування ІІ.

Коефіцієнт якості програми r -го предмету ІІ $Q_{IIr}(t)$ пропонується визначати виходячи з досвіду проведення ІІ. Зробимо припущення, що:

де $Q_{IIr}(t) = 0,95$ – якщо зміст програми r -го предмету ІІ з урахуванням часу на проведення занять та кінцевої мети відповідає ходу проведення ІІ;

$Q_{IIr}(t) = 0,8$ – якщо зміст програми r -го предмету загальновійськової підготовки з урахуванням часу на проведення занять та кінцевої мети не повністю відповідає ходу проведення ІІ;

$Q_{IIr}(t) = 0,6$ – якщо зміст програми r -го предмету фахової підготовки з урахуванням часу на проведення занять та кінцевої мети не повністю відповідає ходу проведення ІІ.

Оцінку рівня забезпечення заходів ІІ пропонується визначати показником, який враховує достатність забезпечення заходів ІІ матеріально-технічними засобами та навчальною матеріально-технічною базою.

Так, як забезпечення матеріально-технічними засобами не залежить від навчальної матеріально-технічної бази, а отже і їх показники не залежні один від одного, то для оцінювання рівня забезпечення заходів ІІ $L_3(t)$ пропонується використовувати адитивну агрегацію:

$$L_3(t) = \sum_{z=1}^2 B_{3z}(t) \cdot q_z, \quad (10)$$

де $B_{3z}(t)$ – показники, які характеризують рівень забезпечення заходів ІІ на дискретний момент часу: “рівень забезпеченості заходів ІІ матеріально-технічними засобами” $B_{3мтз}(t)$, “рівень забезпеченості заходів ІІ навчальною матеріально-технічною базою” $B_{3мтб}(t)$;

q_z – вагові коефіцієнти показників $B_{3z}(t)$.

Рівень забезпеченості заходів ІІ матеріально-технічними засобами $B_{3мтз}(t)$ пропонується розраховувати за залежністю, яка враховує матеріально-технічні засоби які використовуються під час проведення заходів ІІ з їх необхідною потребою, із урахуванням важливості x -го виду матеріально-технічного засобу:

$$B_{3m3}(t) = \frac{\sum_{x=1}^{X_6} Q_{Bx}(t) \cdot q_x}{\sum_{x=1}^{X_n} Q_{Hx}(t) \cdot q_x}, \quad (11)$$

де $Q_{Bx}(t)$ – показники, які характеризують кількість матеріально-технічних засобів, які використовуються під час проведення заходів ІІ на дискретний момент часу;

$Q_{Hx}(t)$ – показники, які характеризують необхідну кількість матеріально-технічних засобів для якісного проведення заходів ІІ на дискретний момент часу;

q_x – “вагові” коефіцієнти x -го виду матеріально-технічного засобу

X_6 – кількість x -го виду матеріально-технічного засобу, які використовувалися під час проведення заходів ІІ;

X_n – кількість x -го виду матеріально-технічного засобу, яке необхідно для проведення заходів ІІ.

Рівень забезпеченості заходів ІІ навчальною матеріально-технічною базою $B_{3mтб}(t)$ пропонується розраховувати за залежністю, яка враховує здатність d -го виду навчального об’єкту (засобу навчання), із урахуванням його важливості, забезпечити підготовку офіцерського складу до виконання визначених завдань:

$$B_{3mтб}(t) = \frac{\sum_{d=1}^{D_3} H_{нмтбd}(t) \cdot q_d}{\sum_{d=1}^{D_n} H_{нмтбd}(t) \cdot q_d}, \quad (12)$$

де $H_{нмтбd}(t)$ – показник, який характеризує кількість d -их навчальних об’єктів (засобів навчання) на дискретний момент часу здатних забезпечити підготовку офіцерського складу до виконання визначених завдань;

q_d – “ваговий” коефіцієнт важливості d -го навчального об’єкта (засобу навчання) навчальної матеріально-технічної бази;

D_3 – кількість навчальних об’єктів (засобів навчання) навчальної матеріально-технічної бази здатних забезпечити підготовку офіцерського складу до виконання визначених завдань;

D_n – загальна кількість навчальних об’єктів (засобів навчання) навчальної матеріально-технічної бази визначена нормативними документами.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, у статті наведено розроблений методичний підхід до оцінювання ефективності ІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ, який побудований на основі розрахунку багатокритеріальної безрозмірної оцінки, що дає змогу оцінити не тільки рівень компетентностей офіцерського складу науково-педагогічних працівників, але й врахувати вплив суб’єктів підготовки під час організації індивідуальної підготовки.

Результати проведеного дослідження можуть бути використані у ході оцінювання ефективності ІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ, а також у ході подальших дослідженнях з даного питання у наукових установах.

Перспективами подальших наукових досліджень у даному напрямі може бути обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності ІІ офіцерського складу науково-педагогічних працівників у ВВНЗ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Доктрина з організації підготовки у Збройних Сил України: за станом на 03 лип. 2020 р. – К.: Генеральний штаб Збройних Сил України, 2020. – 34 с. (Нормативний документ Генерального штабу Збройних Сил України. Доктрина).
2. Vynokurov D., Neorhadze O. Partial methodology for assessing the younger specialists competence level in the training center. *Journal of Scientific Papers "VUZFREVIEW"*. 2020 – Vol. 5. № 1. – P. 50-53. <https://doi.org/10.38188/2534-9228.20.1.07>.
3. Георгадзе О.А., Петров В.А. Часткова методика оцінювання рівня методичної діяльності кафедри військової підготовки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ : НУОУ, 2022. № 1 (43). С. 99–104. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-43-1-99-104>.
4. Neorhadze O., Kamalov Y. Methods for assessing the readiness level of an educational institution for military training of citizens according to the program of reserve officers. *Political Science and Security Studies Journal*. Vol. 1. № 2. – 2020 – P. 90 – 97. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4521176>.
5. Георгадзе О.А., Шевчук В.В., Пампуха І.В., Нікіфоров М.М., Баргилевич А.В. Обґрунтування узагальненого показника оцінювання ефективності підготовки окремої бригади територіальної оборони Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка*, – 2020. – № 68 – С. 100 – 109.
6. Piekhota, S., Neorhadze, O., Kharabara, V. (2021). Partial methodology for assessing the level of learning of tactical aviation brigade personnel. *Political Science and Security Studies Journal*, Vol. 2. № 1. – 2021 – P. 68-73. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4818549>.
7. Георгадзе О.А., Харабара В.І. Часткова методика оцінювання рівня підготовленості танкової бригади у ході відновлення боєздатності. *Journal of Scientific Papers "Social development and security"*. – 2019. – 9(4). – С. 131 – 142. <https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.4.10>.
8. Neorhadze O., Barhylevych A. Separate brigade of territorial defence level of training organization assessment methodology. *Political Science and Security Studies Journal*. Vol. 1. № 1. – 2020 – P. 71 – 75. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4399732>.
9. Георгадзе О.А., Харабара В.І., Горбенко С.В. Методичний підхід щодо оцінювання якості програми індивідуальної підготовки артилерійських підрозділів. *Науковий журнал Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Системи озброєння і військова техніка"*. – 2015. – № 2 (42). – С. 68–70.
10. Maistrenko O., Artamoshchenko V., Petushkov V., Shcherba A., Balandin M., Stetsiv S., Neorhadze O., Kharabara V., Sivak O. Improving the methodological approach to determining the number of postgraduates planned for admission. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – Vol. 3 No. 3 (117). – P. 43 – 56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259707>.
11. Шевченко В.Л. Якісна схожість згорток в математичних моделях процесів розвитку складних систем. *Збірник наукових праць "Телекомунікаційні та ІТ"*. – 2014. – № 3. – С. 32–38.
12. Георгадзе О.А., Макаліш О.В. Методичний підхід до оцінювання рівня навченості органів військового управління тактичного рівня. *Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського* – 2016. – № 3(58). – С. 104–108. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2016-3-58/104-108>.
13. Vynokurov D., Neorhadze O. Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of training the variable composition of the training center. *Political Science and Security Studies Journal* – Vol. 2. № 2. – 2021 – P. 77 – 85. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5071081>.

REFERENCES:

1. Doktryna z organizacii' pidgotovky u Zbrojnyh Syl Ukrai'ny: za stanom na 03 lyp. 2020 r. – К.: General'nyj shtab Zbrojnyh Syl Ukrai'ny, 2020. – 34 p. (Normatyvnyj dokument General'nogo shtabu Zbrojnyh Syl Ukrai'ny. Doktryna).
2. Vynokurov D., Neorhadze O. Partial methodology for assessing the younger specialists competence level in the training center. *Journal of Scientific Papers "VUZFREVIEW"*. 2020. Vol. 5. № 1. Pp. 50-53. <https://doi.org/10.38188/2534-9228.20.1.07>.
3. Georgadze O.A., Petrov V.A. (2022). Chastkova metodyka ocinjuvannja rivnja metodychnoi' dijial'nosti kafedry vijs'kovoї' pidgotovky. *Suchasni informacijni tehnologii' u sferi bezpeky ta oborony*. Kyi'v : NUOU, № 1 (43). Pp. 99–104.
4. Neorhadze O., Kamalov Y. Methods for assessing the readiness level of an educational institution for military training of citizens according to the program of reserve officers. *Political Science and Security Studies Journal*. Vol. 1. № 2. – 2020 – P. 90 – 97. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4521176>.

5. Georgadze O.A., Shevchuk V.V., Pampuha I.V., Nikiforov M.M. and Bargylevych A.V. (2020) Obgruntuvannja uzagal'nenogo pokaznyka ocinjuvannja efektyvnosti pidgotovky okremoi' brygady terytorial'noi' oborony Zbrojnyh Syl Ukrainy. *Zbirnyk naukovyh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo Nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, № 68, Pp. 100 – 109. <https://doi.org/10.17721/2579-481X/2020/68-11>.

6. Piekhota, S., Heorhadze, O., Kharabara, V. (2021). Partial methodology for assessing the level of learning of tactical aviation brigade personnel. *Political Science and Security Studies Journal*, Vol. 2. № 1. – 2021 – P. 68-73. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4818549>.

7. Georgadze O.A., Harabara V.I. (2019) Chastkovametodykaocinjuvannjarivnjapidgotovlenositankovoi' brygadyuhodividnovlennjabojezdatnosti. *Journal of Scientific Papers "Social development and security"*. № 9(4). Pp. 131 – 142. <https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.4.10>.

8. Heorhadze O., Barhylevych A. Separate brigade of territorial defence level of training organization assessment methodology. *Political Science and Security Studies Journal*. Vol. 1. № 1. – 2020 – P. 71 – 75. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4399732>.

9. Georgadze O.A., Harabara V.I. and Gorbenko S.V. (2015) Metodychnyj pidhid shhodo ocinjuvannja jakosti programy indyvidual'noi' pidgotovky artylerijs'kyh pidrozdiliv. *Naukovyj zhurnal HUPSI imeni Ivana Kozheduba "Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika"*. № 2 (42), Pp. 68–70.

10. Maistrenko O., Artamoschenko V., Petushkov V., Shcherba A., Balandin M., Stetsiv S., Heorhadze O., Kharabara V., Sivak O. Improving the methodological approach to determining the number of postpostgraduates planned for admission. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. Vol. 3, no. 3 (117). Pp. 43 – 56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259707>.

11. Shevchenko V.L. (2014) Jakisna shozhist' zgotok v matematychnyh modeljah procesiv rozvytku skladnyh system. *Zbirnyk naukovyh prac' "Telekomunikacijni ta informacijni tehnologii"*. № 3, Pp. 32–38.

12. Georgadze O.A., Makalish O.V. (2016) Metodychnyj pidhid do ocinjuvannja rivnnja navchenosti organiv vijs'kovogo upravlinnja taktychnogo rivnnja. *Zbirnyk naukovyh prac' Centru vijs'kovo-strategichnyh doslidzhen' Nacional'nogo universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Chernjahovs'kogo*. No 3(58), Pp. 104–108. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2016-3-58/104-108>.

13. Vynokurov D., Heorhadze O. Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of training the variable composition of the training center. *Political Science and Security Studies Journal*. Vol. 2, № 2, 2021, Pp. 77 – 85. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5071081>.

**PhD Heorhadze O.A., PhD Pampukha I.V., PhD Shevchuk V.V.,
PhD Piekhota S.H., Chaikovska O.E.**

METHODOLOGICAL APPROACH TO EVALUATING THE EFFICIENCY OF THE INDIVIDUAL TRAINING OF FACULTY MEMBERS COMMISSIONED OFFICERS IN HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

The necessity of introducing new approaches to individual training organization and implementation for the faculty members commissioned officers in higher military educational institutions under the NATO principles and standards is justified by the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine. Therefore, a substantiated approach to improving the individual training system for the faculty members commissioned officers in higher military educational institutions is required. It is impossible without a relevant scientific methodological instrument of efficiency evaluation.

Proceeding from the scientific methodological approaches to the evaluation of the individual training efficiency for military personnel and the experience of its conduct in higher military educational institutions, the article provides a methodological approach to evaluating the efficiency of the individual training of faculty members commissioned officers in higher military educational institutions based on a calculation of a multicriteria dimensionless evaluation enabling not only to evaluate the competence level of faculty members commissioned officers but also to consider the trainees' influence in the course of the individual training organization. The indicators describing the level of faculty members commissioned officers' competence include the level of their methodological skills, education, length of service in a given position, availability of academic titles and advanced training courses. The indicators describing the level of individual training organization by the trainees include the quality of individual training planning and the level of individual training activities' support. The quality of the individual training planning depends on the trainees' influence on the content of the commissioned officers' individual training curriculum. The level of support of individual training activities depends on the sufficiency of the provision of material and

technical assets and training facilities. The given methodological approach enables the quantitative evaluation of the individual training efficiency for faculty members commissioned officers in higher military educational institutions and reveals challenges during its organization and implementation, resulting in the necessity to develop recommendations on individual training improvement.

Keywords: individual training, evaluation, indicators, competencies, training organization, trainees.

Дані про авторів

Ахрамович Володимир Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри систем інформаційного та кібернетичного захисту Державного університету телекомунікацій, ORCID: 0000-0002-6174-5300.

Банзак Геннадій В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0003-1684-3785.

Банзак Оксана Вікторівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0002-6649-5013.

Барабаш Олег Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0003-1715-0761.

Берков Юрій Миколайович, старший викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, ORCID: 0000-0001-9704-1121.

Братченко Геннадій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, проректор по міжнародним відносинам Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0002-6649-5013.

Габер Антоніна Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету метрології, автоматизації та електроніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0001-7670-9911.

Гахович Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-9135-6568.

Георгадзе Олександр Аміранович, кандидат військових наук, доцент, заступник начальника кафедри керівництва військами (силами) в мирний час Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, ORCID: 0000-0002-9306-6660.

Гунченко Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та технологій, Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, ORCID: 0000-0003-4423-8267.

Добровольська Світлана Василівна, старший викладач кафедри електроніки та мікросистемної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0001-6897-9022.

Жиров Геннадій Борисович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-7648-7992.

Кравченко Олександр Іванович, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-7865-5870.

Коренець Олександр Володимирович, кандидат географічних наук, молодший науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-6352-9591.

Коцюруба Володимир Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, ORCID: 0000-0001-6565-9576.

Кривцун Володимир Іванович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри інженерної техніки Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0002-3907-5320.

Лаптів Олександр Анатолійович, доктор технічних наук, с.н.с., доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-4194-402X.

Ленков Євген Сергійович, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник наукового центру Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, ORCID: 0000-0001-5819-2656.

Ленков Сергій Васильович, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-7689-239X.

Литвиненко Наталія Ігорівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-2203-2746.

Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-3224-4061.

Мартинович Лариса Ярославівна, аспірантка кафедри комп'ютерних систем та технологій Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, ORCID: 0000-0001-7351-1467.

Мірошніченко Олег Вікторович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-3969-9758.

Мусієнко Андрій Петрович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID: 0000-0002-1849-6716.

Нанівський Роман Антонович, кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-організаційного відділу Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID: 0000-0001-6504-1178.

Оленєв Микола Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроніки та мікросистемної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID 0000-0003-3351-1184.

Охрамович Михайло Миколайович, кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу-заступник начальника управління Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID:0000-0002-8776-3937.

Пампуха Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-4807-3984.

Пехота Сергій Григорович, кандидат військових наук, професор кафедри керівництва військами (силами) в мирний час Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0002-5175-449X.

Сєлюков Олександр Васильович, доктор технічних наук, професор, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри Київського національного університету будівництва та архітектури, ORCID: 0000-0001-7979-3434.

Солодєєва Людмила Василівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-7979-8443.

Степанов Михайло Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ORCID:.

Толок Ігор Вікторович, кандидат педагогічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, Лауреат Державної премії України в галузі освіти, начальник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-6309-9608.

Чайковська Олена Євгенівна, старший викладач кафедри керівництва військами (силами) в мирний час Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0002-0656-9105.

Трофимчук Вікторія Миколаївна, старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії, Національного авіаційного університету.

Шевченко Валерій Віталійович, заступник начальника науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Шевчук Віталій Вікторович, кандидат військових наук, доцент кафедри стратегії національної безпеки та оборони Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, ORCID: 0000-0002-8532-739X.

Шуайб Мохаммед Шаріф, асистент кафедри ділового адміністрування, університетський коледж Аль-Калам, ORCID: 0000-0002-7662-1511.

Шугайло Юрій Борисович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та технологій Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, ORCID: 0000-0003-2144-093X.

Алфавітний покажчик

Ахрамович В.М.	54	Лаптев О.А.	54	Толок І.В.	102
Банзак Г.В.	102	Ленков Є.С.	102	Чайковська О.Є.	130
Банзак О.В.	76	Ленков С.В.	76	Трофимчук В.М.	69
Барабаш О.В.	54	Литвиненко Н.І.	45	Шевченко В.В.	5
Берков Ю.М.	88	Лукова- Чуйко Н.В.	54	Шевчук В.В.	130
Братченко Г.Д.	102	Мартинович Л.Я.	88	Шуайб М.Ш.	115
Габер А.А.	76	Мірошніченко О.В.	16	Шугайло Ю.Б.	88
Гахович С.В.	5	Мусієнко А.П.	54		
Георгадзе О.А.	130	Нанівський Р.А.	28		
Гунченко Ю.О.	88	Оленєв М.В.	102		
Добровольська С.В.	76	Охрамович М.М.	5		
Жиров Г.Б.	69	Пампуха І.В.	130		
Кравченко О. І.	5	Пехота С.Г.	130		
Коренець О.В.	45	Сєлюков О.В.	76		
Коцюруба В.І.	16	Солодєєва Л.В.	16		
Кривцун В.І.	16	Степанов М.М.	69		

Наукове видання



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Військового інституту

**Київського національного університету
імені Тараса Шевченка**

№ 76

Усі матеріали надруковані в авторській редакції.

Підписано до друку 10.08.22р.
Авт. друк. Арк. 11. Формат 60х90/8
Безкоштовно. Замовлення № 10-2012

Надруковано у навчальному картографічному комплексі ВІКНУ

03189, Київ, вул. Ломоносова 81

т. 521-32-89