



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

1(59) ' 2020

Заснований  
у 2007 році

Наукове періодичне видання,  
в якому відображені результати  
наукових досліджень з розробки та  
удосконалення систем управління,  
навігації та зв'язку у різних  
проблемних галузях.

**Засновник:**  
Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

**Адреса редакційної колегії:**  
Україна, 36011, м. Полтава,  
Першотравневий проспект, 24

**Телефон:** +38 (050) 302-20-71  
(консультації, прийом статей).

**E-mail:**  
kuchuk\_nina@ukr.net

**Інформаційний сайт:**  
<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

**Реферативна інформація**  
зберігається: у загальнодержавній  
реферативній базі даних  
„Україніка наукова” та публікується  
у відповідних тематичних серіях  
УРЖ „Джерело”.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор  
Журнал індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: Index Copernicus (Польща),  
General Impact Factor (СС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (СС), Scientific Indexed Service (США).

Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету  
імені Юрія Кондратюка (протокол від 26 лютого 2020 року № 10)

Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися  
результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук” (технічні науки)  
(від дати включення наказом Міністерства освіти і науки України) від 24.10.2017 № 1413 (додаток 7, п. 31)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### Голова:

КОСЕНКО Віктор Васильович (д-р техн. наук, проф., Полтава)

### Заступник голови:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Київ)

ШЕФЕР Олександр Віталійович (д-р техн. наук, доц., Полтава)

### Члени:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ГАВРИЛКО Євген Володимирович (д-р техн. наук, доц., Київ)

ГЛИВА Валентин Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Київ)

КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Харків)

КОРОБКО Богдан Олегович (д-р техн. наук, доц., Полтава)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Харків)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Харків)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Київ)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна, (д-р техн. наук, доц., Київ)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф., Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Київ)

ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Харків)

СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович (д-р техн. наук, проф., Харків)

СТАНКУНАС Йонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Харків)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Полтава)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф., Київ)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф., Кременчук)

ШЛОМЧАК Георгій Григорович (д-р техн. наук, проф., Дніпро)

### Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна (канд. пед. наук, доц., Харків)

# З М І С Т

## КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Бережний А. О., Крижанівський І. М.</i> Комплекс задач системи підтримки прийняття рішення на планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів .....	3
<i>Тимочко О. І., Самокіш А. В., Аросланкін О. О.</i> Методика формування навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі при автоматизації процесу прийняття рішення в задачах наведення авіації на наземні (морські) цілі .....	7

## УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Borozdin M., Nepochatov S., Primachenko N.</i> Improvement of drilling rig electrical equipment .....	12
<i>Гаєвський С. В., Балакірева С. М., Комаров Д. В., Явтушенко В. О.</i> Аналіз радіоелектронної системи літака як об'єкта продовження терміну експлуатації .....	15
<i>Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Буркун Я. Р., Гончаров А. Г.</i> Розроблення сучасної системи автоматичного керування електроприводом бетонодозатора .....	21
<i>Кійко С. Г., Дружинін С. А., Прохоров О. В.</i> Модель планування енергоспоживання металургійного підприємства .....	27
<i>Kononov V., Kushnyeruk Yu., Rak S.</i> Development gauge for control parameters radiation electromagnetic fields .....	33
<i>Kopashynskii S., Serpukhov O., Makogon H., Guba S., Isakov O., Babkin Yu., Klimov O.</i> Justification of recommendations for improving the functioning of the armored weapons and military equipment recovery system based on the study of the graphical network model .....	36
<i>Nesterenko K., Rahulin S., Sharabaiko A.</i> Human factor in the quality improvement system of aircraft maintenance .....	41

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Денисенко О. В.</i> Новий підхід до визначення пропускної здатності нерегульованих перехресть .....	45
<i>Зеленюх О. М., Тимко А. Ю., Пинчук М. В.</i> Обґрунтування напрямків підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин .....	50
<i>Ковба М. В., Рій В. Б.</i> Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення живучості автомобільної техніки Збройних Сил України .....	54
<i>Ковцур К. Г., Птиця Н. В., Федоров В. Ю.</i> До питання визначення часу знаходження автомобілів у пунктах навантаження та розвантаження .....	59

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Главчева Ю. М., Главчев М. І.</i> До питання оцінки якості науки .....	63
<i>Гороховатський В. О., Запороженко А. П., Сірик Т. О., Тарасенко О. П.</i> Дослідження результативності застосування ознак розподілів даних для обчислення релевантності описів зображень .....	68
<i>Ічанська Н. В., Улько С. І.</i> Основні аспекти створення мобільних додатків та вибір інструментів їх розробки .....	74
<i>Кошель Т. А.</i> Вибір метода лінгвістичної стенографії для виконання завдань з реєстрації сейсмічних подій .....	79
<i>Кучук Н. Г.</i> Синтез мережевої моделі комп'ютерної системи на гіперконвергентній платформі .....	86
<i>Лада Н. В., Рудницький С. В., Зажома В. М., Рудницька Ю. В.</i> Дослідження і синтез групи симетричних модифікованих операцій правостороннього додавання за модулем чотири .....	93
<i>Руденко О. А., Одаруценко О. М., Руденко З. М., Одаруценко О. Б.</i> Оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів шляхом комплексування модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона .....	97
<i>Рудницький В. М., Дзюба В. А.</i> Спеціалізована комп'ютерна система для розрахунку з підвищеною точністю механічних характеристик задач напружено-деформованого стану тонкостінних циліндричних оболонок змінної товщини ...	101
<i>Ткачук М. В., Гамзаєв Р. О., Товстокоренко О. Т., Мартінкус І. О., Нагорний К. А.</i> Аналіз та експериментальне дослідження case - засобів для моделювання варіабельності в процесах розробки лінійок програмних продуктів .....	105

## ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Данова К. В., Малишева В. В.</i> Інформаційна ентропія як показник невизначеності у забезпеченні безпеки на робочих місцях працівників із інвалідністю .....	111
<i>Тихенко О. М.</i> Загальні засади проектування електромагнітних екранів та екрануючих конструкцій .....	116
<i>Третьяков О. В., Гармаш Б. К., Халмурадов Б. Д., Білецька Є. С.</i> Ризик-орієнтований підхід до визначення умов праці окремих категорій працівників транспортної галузі .....	120
<i>Триснюк В. М., Шумейко В. О., Триснюк Т. В., Куріло А. В., Голован Ю. М., Мирончук В. В.</i> Екологічна безпека Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря .....	127

## ЗВ'ЯЗОК ТА РАДІОЛОКАЦІЯ

<i>Зінченко А. О., Пікуль Р. В., Зінченко К. А., Любарчук К. В., Юсухно Є. А., Максименко О. М., Сокіл Ю. М., Риндін Ю. І.</i> Методичний підхід з оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення .....	132
<i>Kovalevskii S.</i> Study of detection and radar stealth pinpoint air objects .....	137
<i>Krasnobayev V., Koshman S.</i> Control and correction of data errors in a residue class .....	141
<i>Москаленко А. О., Сокол Г. В., Глуховець Ю. В., Варич В. В.</i> Математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць .....	147
<i>Невлюдов І. Ш., Малик Б. О., Токарева О. В., Невлюдова В. В.</i> Підвищення ефективності оптоволоконних каналів зв'язку .....	151
<i>Серков О. А., Трубочанінова К. А., Лазуренко Б. О.</i> Метод забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку при виникненні внутрішньосистемних завад .....	155

<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	160
----------------------------------	-----

# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 621.865.1+519.7

doi: 10.26906/SUNZ.2020.1.003

А. О. Бережний, І. М. Крижанівський

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## КОМПЛЕКС ЗАДАЧ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ НА ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ ПОЛЬОТІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

**Анотація.** Впровадження інформаційно-аналітичних систем у практику людської діяльності в умовах стрімкого розвитку інформаційних і телекомунікаційних технологій забезпечує рішення ключової для керівника задачі - здійснення ефективного управління в масштабах визначених повноважень. Використання в роботі сучасних технологій підтримки прийняття рішень дозволяє знизити ризики, які пов'язані з прийняттям необґрунтованих рішень, корегувати плани застосування безпілотних авіаційних комплексів в умовах мінливої обстановки і ситуаціях невизначеності. У статті доведено, що широке застосування безпілотних літальних апаратів дозволяє вирішувати різні задачі в умовах, у яких застосування пілотованої авіації недоцільно. Низька вартість, простота і доступність технології виробництва, тактико-технічні характеристики безпілотних літальних апаратів дозволяють використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань, у тому числі з пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів. Дані завдання вимагають ретельного планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для пошуку та моніторингу стану різних об'єктів, прийняття оптимальних рішень щодо дій з урахуванням різноманітних факторів впливу на безпілотний літальний апарат, формування управляючих рішень з високою оперативністю та обґрунтованістю, що може бути забезпечено створенням інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення. Застосування безпілотних літальних апаратів передбачає виконання планування маршрутів польотів, що характеризується значною часовою та обчислювальною складністю. На теперішній час значна увага дослідників присвячена розробкам інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення оператора безпілотного літального апарату по управлінню технічним засобом з урахуванням можливих впливів на апарат, однак моделі та задачі системи прийняття рішення на планування маршрутів безпілотних літальних апаратів не розкриті в у повній мірі. У статті розроблена структура комплексу задач планування маршрутів польоту безпілотного літального апарату, яку доцільно застосувати при створенні автоматизованої системи управління підрозділами безпілотних літальних апаратів.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, інформаційні технології, маршрут, планування, система підтримки прийняття рішення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Науково-технічний прогрес, особливо в області інформаційних технологій, забезпечує швидкий розвиток техніки і розширення її функціональних можливостей. Однак переважна більшість сучасних технічних систем залишаються орієнтованими на людину, як ключову ланку в управлінні цими системами. Виходом з такої ситуації є перехід до застосування систем, у яких негативний вплив людського фактору був би зведений до мінімуму. Такими є безпілотні літальні апарати (БПЛА). Вони дозволяють вирішувати різні задачі в умовах, у яких застосування пілотованої авіації недоцільно. Низька вартість, простота і доступність технології виробництва, тактико-технічні характеристики БПЛА дозволяють використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань з пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів, а також моніторингу їх стану. Серед основних цивільних завдань БПЛА слід відзначити: моніторинг і контроль об'єктів критичної інфраструктури, пожеж, сільськогосподарських угідь та лісних масивів, контроль морської акваторії, залізничних та автомобільних магістралей, отримання планів місцевості та кадастрових фотопланів. Основними завданнями в сфері забезпечення національної безпеки держави є ведення повіт-

ряної, хімічної, радіаційної розвідки, вогневе ураження об'єктів противника, контроль за скупченнями народу, пошук злочинців та терористичних груп, припинення контрабанди. Дані завдання вимагають ретельного планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для пошуку та моніторингу стану різних об'єктів, прийняття оптимальних рішень щодо дій з урахуванням різноманітних факторів впливу на БПЛА, формування управляючих рішень з високою оперативністю та обґрунтованістю, що може бути забезпечено створенням інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідно відмітити значну кількість публікацій як вітчизняних, так і закордонних авторів відносно принципів побудови, управління БПЛА, що свідчить про значний інтерес до цього нового наукового напрямку. Літературні джерела, що були використані в даній статті, умовно розділимо на декілька груп:

До першої групи віднесемо роботи з інтелектуальної обробки зображень на борту БПЛА. У роботі [1] для автоматичного виявлення динамічних об'єктів на знімках застосовується адаптивний метод віднімання фону. В статті [2] розробляється алгоритм виявлення і моніторингу рухомих транспортних засобів БПЛА з використанням обробки фонові сцени і фі-

льтрації Кальмана. У статті [3] вирішувалася проблема ефективної обробки зображень з більшою роздільною здатністю за допомогою CNN для інтелектуального UAV у режимі реального часу програми для камер. Дані методи відносяться до системи розпізнавання образів та формування сцени на борту БПЛА.

До другої групи джерел віднесемо роботи з оптимального планування польотів БПЛА. Слід відзначити значний інтерес до групового застосування БПЛА в ході виконання завдань за призначенням (місії).

У [4] розглядається координація групи безпілотних літальних апаратів, що розгорнуті для пошуку динамічної мети в безперервному просторі за допомогою алгоритму максимальної суми. У [5] представлений підхід до розподілу задач UAV, що беруть участь у місії пошуку і дії. Описано три алгоритми колективного пошуку неоднорідної команди UAV на просторово розширеному полі бою. У [6] представлена методика планування повітряної розвідки незаконних збройних формувань, а в [7] показники та критерії оцінювання ефективності повітряної розвідки.

До третьої групи джерел слід віднести роботи щодо побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. В роботі [8] розглядається підхід по формуванню рекомендацій для своєчасного прийняття обґрунтованих рішень оператором при дистанційному керуванні безпілотним літальним апаратом при рішенні різних задач. В [9] розкривається підхід до побудови системи підтримки прийняття рішень щодо управління БПЛА.

Таким чином, можна відмітити, що дані роботи розв'язують задачу обґрунтування структури системи підтримки прийняття рішення саме для управління БПЛА (групою БПЛА) при виконанні місії, однак не враховують комплекс завдань планування маршрутів польоту БПЛА по виконанню завдань місії.

**Метою статті** є розробка структури комплексу задач системи підтримки прийняття рішень на планування маршрутів польоту БПЛА.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо алгоритм рішення задачі планування маршрутів польоту БПЛА для пошуку динамічних об'єктів [8, 9]. Існуюча схема формування маршрутів пошуку динамічних об'єктів з застосуванням БПЛА вимагає внесення змін оскільки маршрут польоту БПЛА повинен враховувати дії протилежної сторони, допускати застосування прийомів і способів протидії розвідці для прихованого виходу

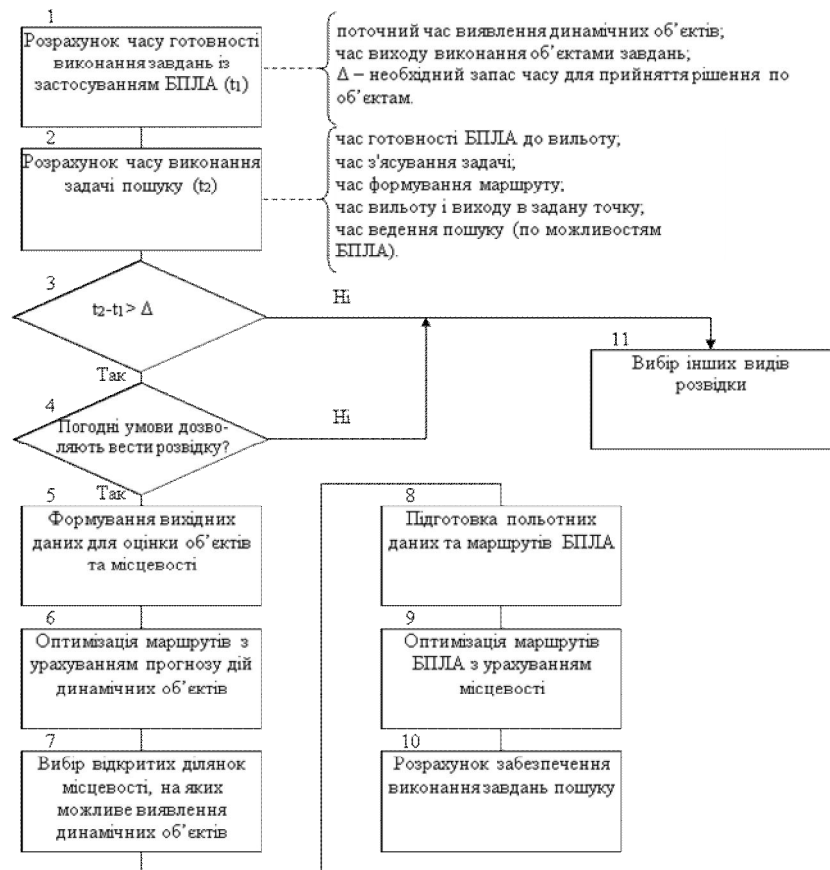


Рис. 1. Загальний алгоритм рішення задачі планування маршрутів польоту БПЛА для пошуку динамічних об'єктів

на об'єктів впливу. Запропонована схема (рис. 1) включає основний елемент - порядок формування маршруту ведення повітряної розвідки.

Відмінною рисою розробленого алгоритму є необхідність урахування множини варіантів дій динамічного об'єкту і множини маршрутів польоту БПЛА, що потребує рішення задачі оптимізації варіантів з використанням критеріїв ефективності дій динамічних об'єктів та ведення повітряної розвідки.

Розроблена методика обґрунтування вибору раціонального маршруту польоту БПЛА для пошуку динамічних об'єктів вимагає застосування сучасних інформаційних технологій.

Оскільки робота з картою, оцінкою місцевості займає при плануванні маршрутів польоту БПЛА значний час, то необхідно застосовувати геоінформаційні системи (ГІС), що використовують не тільки електронні бази даних про характер місцевості, але і алгоритми, що забезпечують проведення розрахунків по електронній карті, автоматичну прив'язку елементів системи в єдиній системі координат. Це дозволяє поєднати географічну або топографічну карти і великий масив вираженою в цифровій формі різномірної інформації, систематизованою і прив'язаною до відповідної точки картографічного зображення.

Для забезпечення візуалізації органам управління при формуванні множини варіантів дій динамічних об'єктів і варіантів маршруту польоту БПЛА доцільно використовувати електронні карти, що полегшує інтерактивну роботу користувача при роботі безпосередньо з картою та шарами карти.

Зараз усе більша увага приділяється розвитку інструментальних засобів, що являють собою великий набір модулів, з яких можна побудувати складну систему для конкретних завдань, при цьому спираючись на загальний інформаційний фундамент у виді стандартів, обмінних форматів, класифікаторів.

Для реалізації функцій планування необхідно створювати і підтримувати цифрові моделі як оперативної, так і тактичної обстановки, для чого доцільно використовувати типову структуру ГІС, приведену на рис. 2.

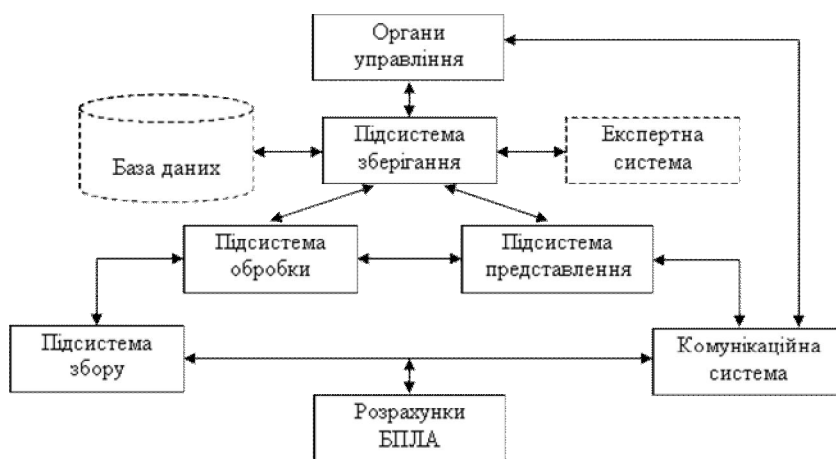


Рис. 2. Типова структура ГІС для планування повітряної розвідки

Наявність показаних на рис. 2 підсистем визначає глибину інтеграції даних і методів їх обробки, дозволяє в одному форматі приймати органами управління рішення і реалізовувати їх. Комплекс задач планування маршрутів БПЛА є складовою частиною системи підтримки прийняття рішення на застосування БПЛА і складається із сукупності взаємозалежних задач (рис. 3).

Задача збору інформації і формалізації даних призначена для отримання інформації про можливий район пошуку, її формалізації для автоматизо-

ваної обробки. Дана задача нерозривно зв'язана з задачею управління інформаційним забезпеченням, що призначена для формування інформації для прийняття рішення, для обміну необхідною інформацією між елементами структури, для формалізації польотного завдання БПЛА.

Центральною задачею комплексу задач планування маршрутів дій БПЛА є задача моделювання можливих варіантів дій динамічних об'єктів та польотів БПЛА. Результат моделювання використовується в задачі №5 (рис. 3).

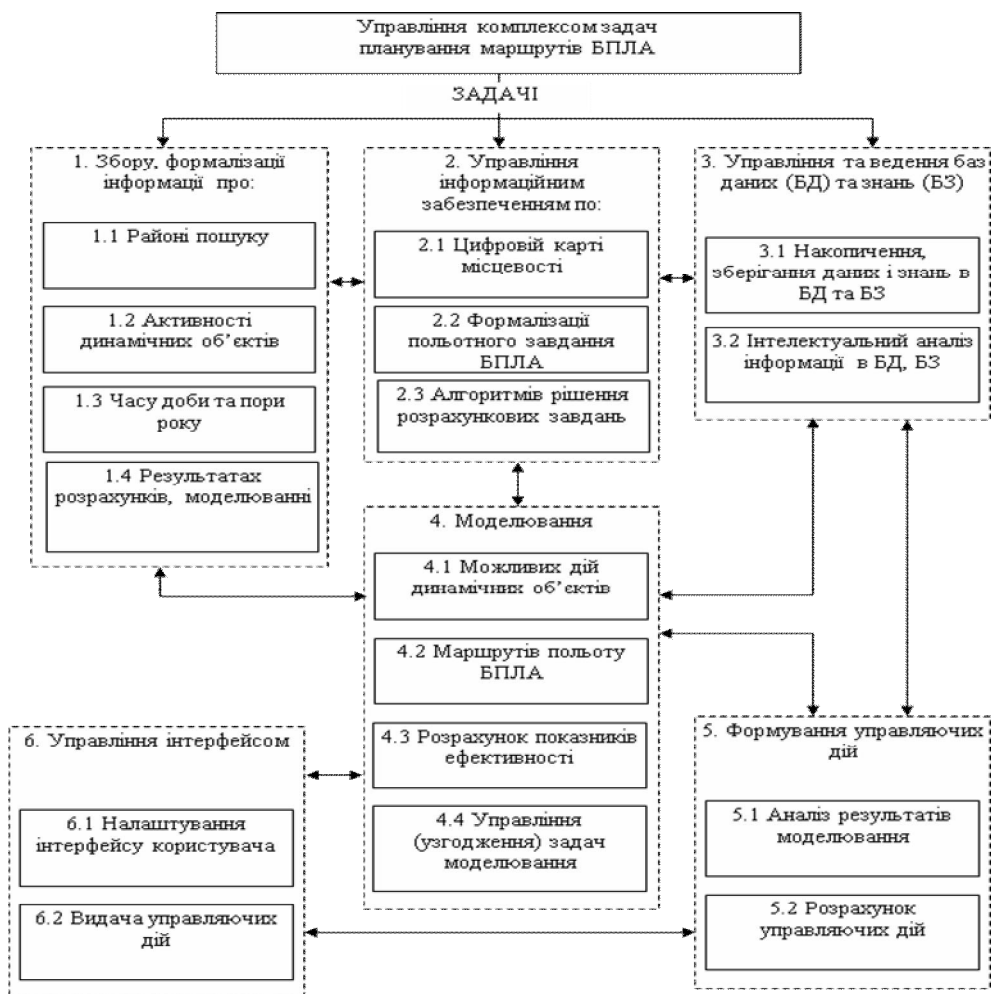


Рис. 3. Структура комплексу задач планування маршрутів польоту БПЛА

Із задачі №5 (рис. 3) (формування управляючого впливу), обгрунтований варіант маршруту передається оператору БПЛА.

Таким чином, запропоновану схему доцільно застосувати при створенні автоматизованої системи процесів прийняття рішення планування маршрутів БПЛА.

### Висновки

Таким чином, на основі проведених досліджень можна зробити ряд висновків.

1. Широке розповсюдження та застосування БПЛА визначаються необхідністю виконання пла-

нування маршрутів польотів, що характеризується значною часовою та обчислювальною складністю.

2. На теперішній час значна увага дослідників присвячена розробкам інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення оператора БПЛА по управлінню технічним засобом з урахуванням можливих впливів на апарат, однак моделі та задачі системи прийняття рішення на планування маршрутів БПЛА не розкриті в у повній мірі.

3. В статті розроблена структура комплексу задач планування маршрутів польоту БПЛА, яку доцільно застосувати при створенні автоматизованої системи управління підрозділами БПЛА.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shreyamsh Kamate, Nuri Yilmazer, «Application of Object Detection and Tracking Techniques for Unmanned Aerial Vehicles», Texas A&M University – Kingsville, Kingsville, TX 78363, USA
2. Min-Hyuck Lee and Seokwon Yeom «Detection and Tracking of Multiple Moving Vehicles with a UAV» International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems Vol. 18, No. 3, September 2018, pp. 182-189 <http://doi.org/10.5391/IJFIS.2018.18.3.182>
3. George Plastiras, Christos Kyrkou, and Theocharis Theocharides. «Efficient ConvNet-based Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles by Selective Tile Processing», 2018. In Proceedings of International Conference on Distributed Smart Cameras, Eindhoven, Netherlands, September 3–4, 2018 (ICDSC '18), 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3243394.3243692>
4. Francesco M. Delle Fave, Zhe Xu, Alex Rogers & Nicholas R. Jennings «Decentralised Coordination of Unmanned Aerial Vehicles for Target Search using the Max-Sum Algorithm»
5. Yan Jin, Student Member, IEEE, Yan Liao, Ali A. Minai, Member, IEEE, and Marios M. Polycarpou, Fellow, IEEE «Balancing Search and Target Response in Cooperative Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Teams» CYBERNETICS, VOL. 36, NO. 3, JUNE 2006
6. Чернавина О.Е. Методика обоснования рационального решения на ведение воздушной разведки незаконных вооруженных формирований в лесистой местности / О.Е. Чернавина. – Х.: ХУПС, 2010. – С. 49-54.
7. Городнов В.П. Выбор показателей и критериев для оценки эффективности ведения воздушной разведки по выявлению НВФ / В.П. Городнов, Е.Б. Смирнов, А.В. Тристан, О.Е. Чернавина // Наука і техніка Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип.1(7). – С. 58-62.
8. Королюк Н. А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами на наземном пункте управления / Н.А. Королюк, С.Н. Еременко // Системи обробки інформації. – 2015. – № 8(133). – С. 31-36.
9. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // Транспортное дело России. - 2015 - №6. – С.22-26.

Received (Надійшла) 21.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Complex of tasks of the system of support of decision-making for planning the route of unmanned aerial vehicles

A. Berezhnoj, I. Kryzhanivskyi

**Abstract.** The implementation of information and analytical systems in the practice of human activity in the context of the rapid development of information and telecommunication technologies provides a solution to the key task for the leader - the implementation of effective management on the scale of certain powers. The use of modern technologies for decision support helps reduce the risks associated with making unreasonable decisions, and adjust plans for the use of unmanned aerial systems in a changing environment and situations of uncertainty. The article proves that the widespread use of unmanned aerial vehicles makes it possible to solve various problems in conditions in which the use of manned aircraft is inappropriate. The low cost, simplicity and availability of production technology, the tactical and technical characteristics of unmanned aerial vehicles allow them to be used to solve a wide range of tasks, including the search for stationary and dynamic objects. These tasks require careful planning of flight routes of unmanned aerial vehicles for searching and monitoring the status of various objects, making optimal decisions regarding actions, taking into account various factors affecting the unmanned aerial vehicle, and forming control decisions with high efficiency and validity, which can be ensured by the creation of intelligent A decision support system. The use of unmanned aerial vehicles provides for the implementation of flight route planning, which is characterized by significant time and computational complexity. Currently, significant attention of researchers is devoted to the development of intelligent decision support systems for the operator of an unmanned aerial vehicle to manage technical equipment taking into account possible effects on the device, however, the models and tasks of the decision system for planning routes of unmanned aerial vehicles are not fully disclosed. The article has developed the structure of a set of tasks for planning flight routes of an unmanned aerial vehicle, which is advisable to apply when creating an automated control system for unmanned aerial vehicle units.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, information technology, route, planning, decision support system.

О. І. Тимочко, А. В. Самокіш, О. О. Аросланкін

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДЛЯ НАВЧАННЯ НЕЧІТКОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ В ЗАДАЧАХ НАВЕДЕННЯ АВІАЦІЇ НА НАЗЕМНІ (МОРСЬКІ) ЦІЛІ

**Анотація.** В статті розроблено методика формування навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі при автоматизації процесу прийняття рішення в задачах наведення авіації на наземні(морські) цілі. Для навчання нечіткої нейронної мережі необхідно використовувати навчальну вибірку. При підготовці навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі процесу наведення авіації на наземні (морські) цілі існує проблема збору даних. Збір статистики на основі прикладів прийняття рішень в процесі наведення в реальних умовах застосування авіації по наземних (морських) цілях, займає багато часу, не дозволяє зібрати необхідну кількість статистичних даних для формування навчальної вибірки. Тому слід застосовувати імітаційне моделювання. Але складність, динамічність процесу наведення, та невизначеність, що зумовлена характером параметрів, які використовуються при вирішенні задачі наведення, не дозволяють застосовувати імітаційні моделі побудовані на основі традиційних методів. Це зумовлено тим, що навчальна вибірка не враховує невизначеність. Також імітаційні моделі побудовані на основі традиційних методів не враховують досвід та знання передового авіанавідника, тому отримана в результаті моделювання навчальна вибірка, не дозволить побудувати нечіткої нейронної мережі та навчити її відповідно до процесу прийняття рішення передового авіанавідника при наведенні авіації на наземні (морські) цілі. Тому при побудові імітаційної моделі слід застосовувати моделі на основі математичного апарату нечіткої логіки та нечітких множин. В результаті проведеної роботи розроблено методика формування навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі при автоматизації процесу прийняття рішення в задачах наведення авіації на наземні (морські) цілі та побудовано імітаційну модель. Дана модель дозволяє на основі вхідних даних отримувати параметри наведення, що визначаються передовим авіанавідником при вирішенні задачі наведення авіації на наземні (морські) цілі. Застосування даної методики дозволило отримати навчальну вибірку, на основі якої можливе навчання ННМ для отримання інформаційної технології автоматизованої виробки рекомендацій щодо параметрів наведення авіації на наземні (морські) цілі на основі ННМ.

**Ключові слова:** нечіткі множини, нечіткі нейронні мережі, наведення, авіація, передовий авіанавідник.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід застосування ударної та армійської авіації в ході виконання бойових завдань під час збройних конфліктів показує, що ефективне ураження наземних (морських) цілей (Н(М)Ц) досягається при точному наведенні (цілевказанні) передовим авіанавідником (ПАН). Звідси випливає, що ПАН при наведенні авіації на Н(М)Ц повинен добре знати систему бойового управління, маневрені і бойові можливості літаків і вертольотів, правила безпеки польотів при застосуванні озброєння, тактику противника, його бойову техніку і засоби ППО, тактику підрозділів і частин сухопутних військ, а також способи цілевказання і наведення і мати стійкі навички в управлінні літаками і вертольотами. Напружений і наполегливий характер бойових дій вимагає від ПАН ухвалити сміливе грамотне рішення, утримати в своїх руках керівництво екіпажами (групами) в районі об'єкту удару і добитися виконання завдання в будь-якій складній обстановці. Динаміка і швидкоплинність бою обмежують особу, що приймає рішення (ОПР), за часовими параметрами. Фактично, неавтоматизований на даний час процес прийняття рішень ОПР при наведенні авіації на Н(М)Ц зумовлює необхідність розробки відповідних засобів автоматизації та їх математичного і програмного забезпечення.

Формалізація знань на основі нечітких множин та нечіткої логіки є основою побудови моделі прийняття рішень, яка дозволяє враховувати невизначеність при автоматизації процесу наведення авіації.

Але інтелектуальні системи на основі ієрархічних нечітких продукційних моделей потребують налаштування великої кількості параметрів. Тому для формалізації процесу наведення авіації необхідно застосовувати нечіткі системи на основі нечіткої нейронної мережі. Одним із етапів побудови нечіткої нейронної мережі процесу прийняття рішень ПАН в завданнях наведення авіації на Н(М)Ц є її навчання. Для цього застосовуються навчальна вибірка, на основі якої відбувається настроювання нечіткої мережі. Проблема викликана неможливістю збору великої кількості даних для формування навчальної вибірки за результатами реальних спостережень. Звідси випливає необхідність розробки методики формування навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі процесу наведення авіації на Н(М)Ц.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз літератури показує [1-3], що процес наведення авіації на Н(М)Ц є фактично не автоматизованим. Але математично описаний процес прийняття рішень ПАН дозволяє формалізувати розв'язання задачі наведення. В літературі [4-17] представлено процес побудови нечітких нейронних мереж для систем управління та показані алгоритми їх навчання. Але етап формування навчальної вибірки при побудові ННМ фактично не описаний. Запропоновані ж методики, які базуються на побудові матриць відношень або графів стану на основі статистичних даних або результатів імітаційного моделювання, не дозволяють вирішувати завдання формування навчальної вибірки для ННМ процесу прийняття рішень при наведенні авіації на Н(М)Ц.

Метою статті є представлення методики формування навчальної вибірки для навчання ННМ процесу прийняття рішень при наведенні авіації на Н(М)Ц.

### Виклад основного матеріалу

Головною перевагою нечітких нейронних мереж є можливість їх навчання та адаптації. Для її побудови необхідно мати повні знання про об'єкт управління. На основі вхідних та заданих (стандон-

них) значень ННМ може навчитися видавати рекомендації з управління об'єктом.

Загальну структуру ННМ процесу прийняття рішень наведено на рис. 1.

Звідси випливає, що для навчання ННМ необхідно знати лише базові залежності та основні величини процесу наведення авіації на Н(М)Ц. ПАН у процесі наведення авіації на Н(М)Ц повинен оцінити бойову обстановку та прийняти рішення про метод наведення.

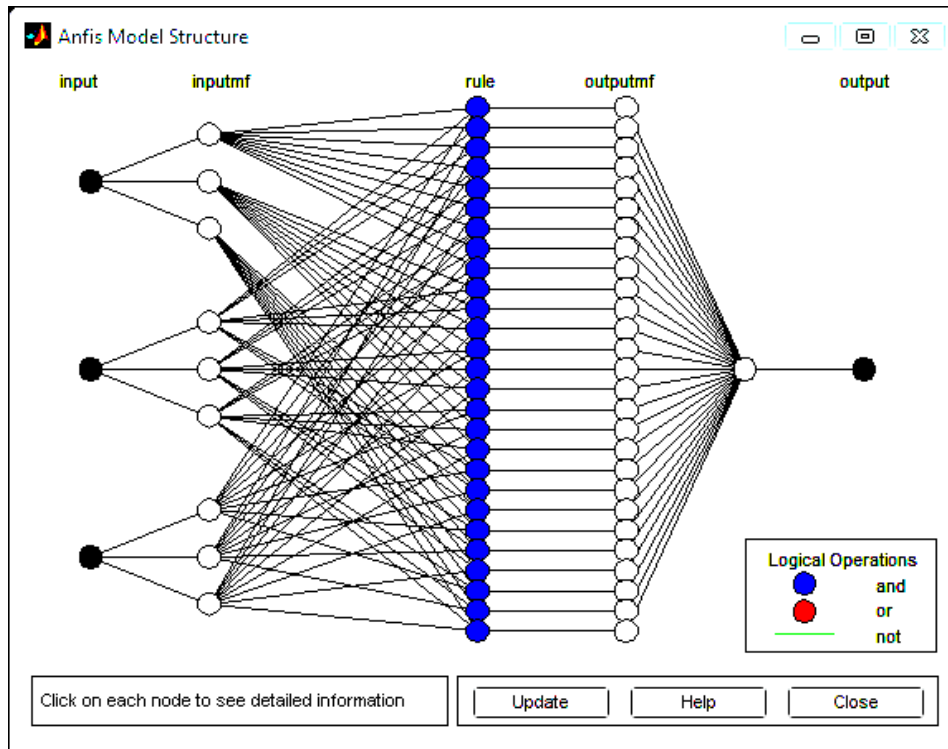


Рис. 1. Нечітка нейронна мережа процесу прийняття рішень при наведенні авіації на наземну(морську)ціль

Суть методів наведення авіації на Н(М)Ц полягає у визначенні орієнтиру або відповідної точки на земній поверхні або карті, відносно якої здійснюється виведення авіації на Н(М)Ц та формування параметрів наведення (бойовий курс, дальність до цілі, характерні ознаки Н(М)Ц, прогноз напрямків відходу від цілі та ін). Визначення цих параметрів має забезпечити високу імовірність знищення об'єкта. У загальному випадку імовірність знищення об'єкта дорівнює:

$$W = Q_{ППО} + W_{вих} + W_{ур}, \quad (1)$$

де  $Q_{ППО}$  - імовірність подолання ППО противника;  $W_{вих}$  - імовірність виходу на ціль і її виявлення;  $W_{ур}$  - імовірність ураження цілі.

Імовірність ураження цілі визначається як:

$$W_{ур} = 1 - (1 - P/\omega)^{N_p}, \quad (2)$$

де  $N_p$  - кількість ракет (снарядів в черзі);  $\omega$  - кількість необхідних влучань.

З формули (2) видно, що  $W_{ур}$  залежить від параметрів, на які не впливає точність наведення авіа-

ції на Н(М)Ц. Тому  $W_{ур}$  не залежить від процесу прийняття рішення ПАН.

ПАН при наведенні авіації на Н(М)Ц має враховувати ППО противника в районі цілі. Тому для розрахунку імовірності знищення об'єкта буде використовуватися імовірність подолання ППО ( $Q_{ППО}$ ) в районі цілі.  $Q_{ППО}$  розраховується як:

$$Q_{ППО} = 1 - \frac{n}{N} W_{зрк}, \quad (3)$$

де  $N$  - кількість літаків в групі;  $n$  - кількість атак які здійснить ЗРК;  $W_{зрк}$  - імовірність ураження літака з однієї атаки.

Імовірність виходу на ціль  $W_{вих}$  дорівнює:

$$W_{вих} = \Phi\left(\frac{D_{вияв}^2 - D^2}{2 \cdot R \cdot E}\right), \quad (4)$$

де  $D_{вияв}$  - фактична дальність виявлення об'єкта (цілі);  $D$  - необхідна дальність виявлення для використання авіаційних засобів ураження;  $R$  - радіус розвороту вертольота;  $E$  - ймовірне лінійне бокове відхилення.



Імовірність виходу на ціль залежить від багатьох факторів:

- умови спостереження за місцевістю з кабіни (видимість, час доби, висота польоту);
  - контрастність, рухливість, розміри і демаскуючі ознаки об'єктів;
  - фізико-географічні та кліматичні умови району дій;
  - ефективність ППО противника;
  - склад групи, бойового порядку і режим польоту;
  - характеру застосовуваних засобів ураження (визначають потрібну дальність виявлення);
  - рівень підготовки та бойового досвіду екіпажів.
- Точність виходу на ціль характеризується імовірним лінійним відхиленням, яке можна обчислити як:

$$E = 0,118 \cdot \sigma \cdot S_{k.o.}, \quad (5)$$

де  $\sigma$  – середня квадратична помилка відліку і витримання курсу екіпажем (для добре підготовленого екіпажу вона не перевищує  $3^\circ$ );  $S_{k.o.}$  – відстань від контрольного орієнтира до цілі.

З формули (5) випливає, що чим ближче до цілі обраний характерний контрольний орієнтир, тим точніше буде вихід на ціль, а отже, і вища ймовірність її виявлення. Однак в умовах ночі і в складних метеорологічних умовах, а так само при польоті над безорієнтирною місцевістю вихід за курсом від обраного орієнтира не завжди забезпечує високу ймовірність виявлення цілі.

З формул (2–5) можна зробити висновок, що ПАН при наведенні авіації на Н(М)Ц має визначити контрольний орієнтир та курс від нього на ціль так, щоб  $D_{вияв}$  і час роботи в районі цілі забезпечували високу ймовірність знищення об'єкта.

Але застосування традиційних підходів до моделювання удару не дозволяє враховувати невизначеність. Це зумовлюється тим, що значна частина вхідних даних доступна у вигляді інтервально-оцінюючих та лінгвістичних значень. Тому для формування навчальної вибірки слід застосовувати методику, основані на застосуванні нечітких множин та нечіткої логіки.

Структура методики зображена на рис. 2.

Тому було розроблено нечітку продукційну модель (НПМ) на основі нечітких множин типу 1 (НМТ1) визначення ймовірності знищення цілі для моделювання удару.

Структура моделі зображена на рис. 3.

Для визначення продукційних правил було визначено основні залежності вихідних величин від вхідних. Залежність дальності виявлення цілі з заданою ймовірністю від метеоумов і висоти польоту наведено на рис. 4.

Залежність ймовірності подолання ППО одним літаком, парою, ланкою від часу знаходження у зоні поразки ЗРК ближньої дії зображено на рис.5.

Для визначення правил щодо параметрів контрольного орієнтиру розглянуто залежність  $W_{вих}$  від дальності виявлення та відстані контрольного орієнтиру від цілі. Залежність зображена на рис. 6.

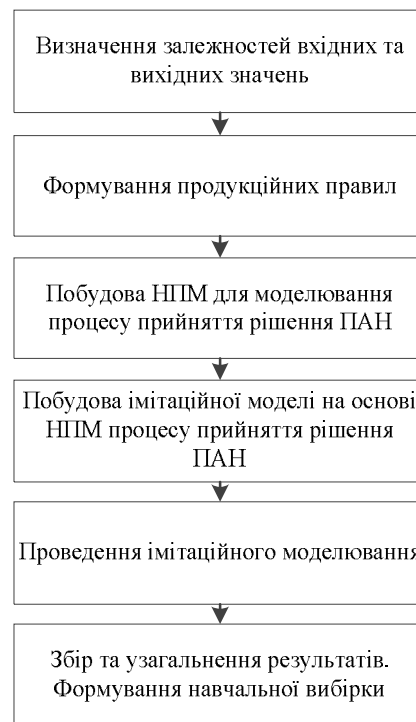


Рис. 2. Структура методики формування навчальної вибірки для навчання нечіткої нейронної мережі

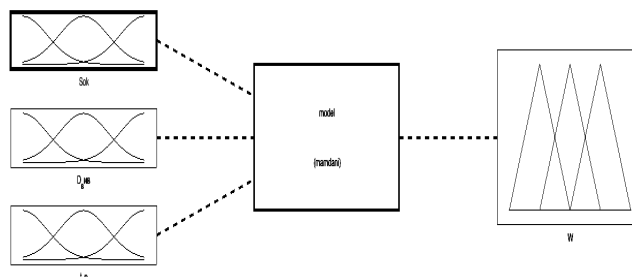


Рис. 3. НПМ визначення ймовірності знищення цілі

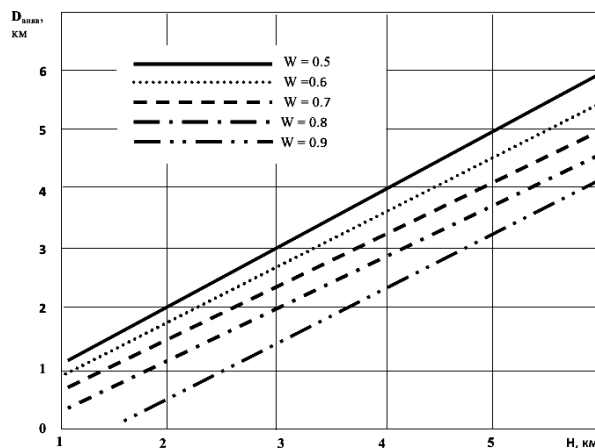


Рис. 4. Графік залежності дальності виявлення цілі з заданою ймовірністю від метеоумов і висоти польоту

На основі отриманих результатів були розроблені правила для формування бази продукційних правил НПМ, рис. 7.

Поверхня рішення зображена НПМ визначення ймовірності знищення цілі на рис. 8.

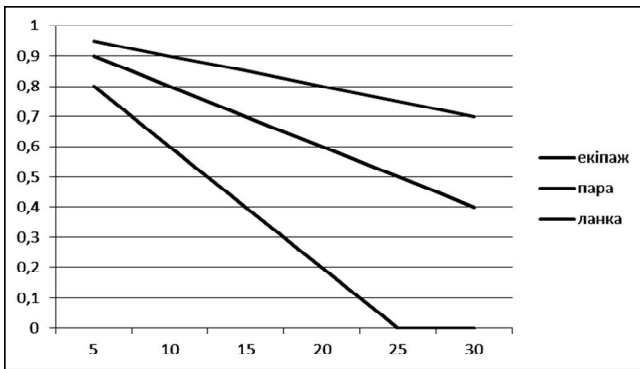


Рис. 5. Графік залежності  $Q_{пто}$  від часу знаходження у зоні враження ЗРК

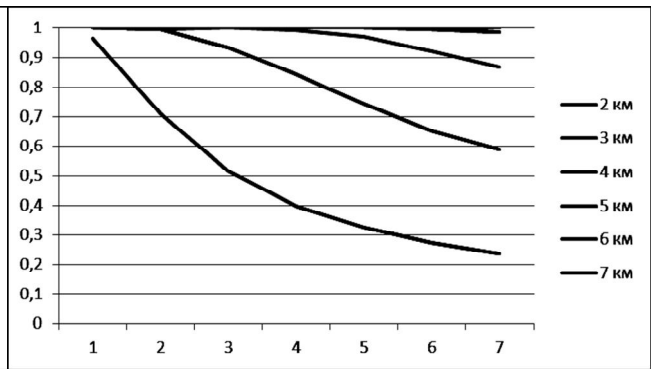


Рис. 6. Графік залежності  $W_{вих}$  від дальності виявлення та відстані контрольного орієнтуру від цілі

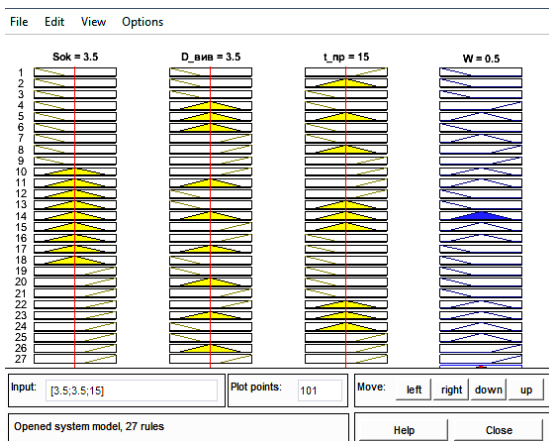


Рис. 7. База продукційних правил НПМ визначення імовірності знищення цілі

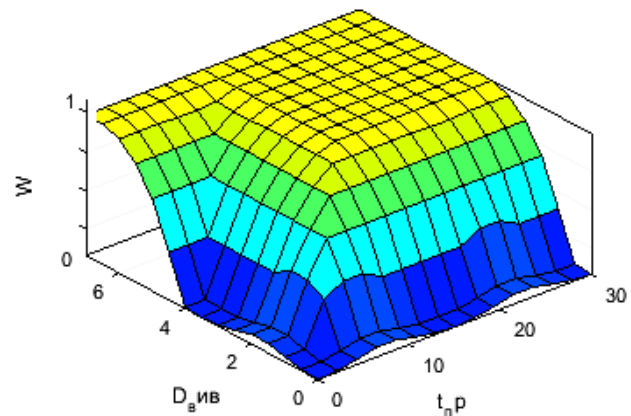


Рис. 8. Поверхня рішення зображена НПМ визначення імовірності знищення цілі

На основі отриманої НПМ визначення імовірності знищення цілі побудовано модель прийняття рішення ПАН щодо наведення авіації на Н(М)Ц. Структура отриманої моделі зображено на рис. 9.

Побудована модель дозволяє проводити імітаційне моделювання. В результаті отримано дані, які можна застосовувати в якості навчальної вибірки для навчання ННМ.

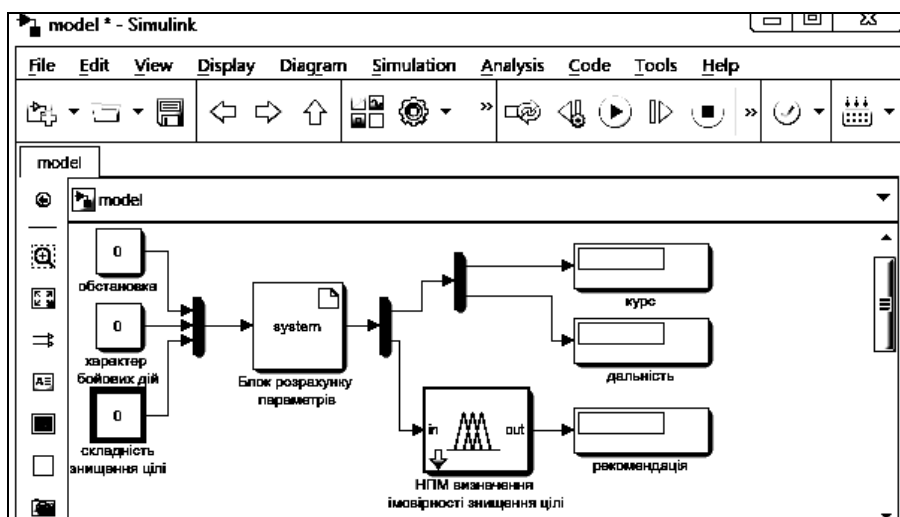


Рис. 9. Структура моделі прийняття рішення

### Висновки

Розроблена методика дозволяє формувати навчальну вибірку для навчання ННМ процесу наведення авіації на Н(М)Ц. Застосування даної методи-

ки дозволяє отримувати дані, що максимально враховують невизначеність, зумовлену складністю та динамічністю, а також характером самого процесу наведення авіації на Н(М)Ц. У результаті використання даної методики отримано модель процесу на-

ведення авіації на Н(М)Ц, за допомогою якої можна проводити імітаційне моделювання та отримувати дані, які можна застосовувати, як навчальну вибірку для навчання ННМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чернов В.Г. Наведення літаків на повітряні та наземні цілі: навч. посіб. / В.Г. Чернов, В.А. Волобуєв, О.К. Желем. – ХУПС, 2004. – 131 с.
2. Каменський В.Н. Наведение на воздушные и наземные цели / В.Н. Каменський, Белоглазов И.Н. – М.: 1972г.
3. Тактика армійської авіації. Ч. 1. Основи тактики армійської авіації : навч. посіб. / А.М. Алімпієв, Ю.М. Корнусь, О.С. Петриченко, С.А. Калкаманов – Х. : ХНУПС, 2016. – 160 с.
4. Wagner, C. Toward General Type-2 Fuzzy Logic Systems Based on zSlices / Wagner C., Hagrais, H. // Fuzzy Systems, IEEE Transactions. – 2010. – vol. 18, № 4. – pp. 637-660.
5. Greenfield S. The Uncertainty Associated with a Type-2 FuzzySet / S. Greenfield, R.I. John // Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives, in 'Studies in Fuzziness and Soft Computing. – 2009. – vol. 243 – pp. 471-483.
6. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхьяева. – М.: Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ", 2016. – 187с.
7. Culloch J.C. Novel methods of measuring the similarity and distance between complex fuzzy sets [PhD thesis] / J.C. Culloch. – Nottingham: University of Nottingham, 2016. – 267 p.
8. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений / А.П. Рыжов. – М.: МГУ, 2003. – 81 с.
9. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
10. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
11. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
12. Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптикоелектронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // Системи обробки інформації, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.
13. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
14. Белоглазов И.Н. Основы навигации по геофизическим полям / И.Н. Белоглазов, Г.И. Джанджгава, Г.П. Чигин. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
15. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения летательных аппаратов / Р.В. Мубаракшин, Н.В. Ким, Ю.А. Саблин, И.П. Шингирий; М.: МАИ, 2003. –380 с.
16. Расчет и анализ движения летательных аппаратов. Инженерный справочник. / Горбатенко С.А., Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф., Шефтель Л.В. – М.: Машиностроение, 1971. – 352 с.
17. Петрушенко Н.Н. Особенности измерения дальности целей, лоцируемых под малыми углами места над морем / Н.Н. Петрушенко, О.Б. Котов, В.Д. Карлов, Е.А. Меленти // Тези доповідей восьмої наук. конф. Харк. ун-ту Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2012. – С. 293.

Received (Надійшла) 28.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

**The methodology for the formation of a training sample for training a fuzzy neural network while automating the decision-making process in the tasks of guiding aviation to ground (sea) targets**

A. Tymockho, A. Samokish, O. Aroslinkin

**Abstract.** The article is devised a methodology for the formation of a training sample for the study of fuzzy neural network when automating the decision making process in the tasks of aviation guidance to ground targets. To study fuzzy neural network, you need to use a training sample. There is a problem of data collection in preparing the training sample for the training of the FNN in the process of guiding AA in the ET. First, collecting statistics on the basis of decision-making examples in the process of giving in real terms the application of the AA on the ET, takes a lot of time, does not allow to collect the necessary amount of statistical data for the formation of the training sample. Therefore, you should use imitation modeling. But the complexity, the dynamism of the process of guidance, and the uncertainty due to the nature of the parameters used to solve the problem of guidance, do not allow the use of simulation models built on the basis of traditional methods. This is due to the fact that the training sample does not take into account uncertainty. Simulation models built on the basis of traditional methods do not take into account the experience and knowledge of the PAN; therefore, the training sample obtained as a result of modeling will not allow to construct the FNN and teach it in accordance with the decision making process of the PAN when the AA on the ET vare given. Therefore, when constructing an imitation model, models based on the fuzzy logic and fuzzy sets mathematical apparatus should be used. As a result of this work, a methodology for forming a training sample for the study of a fuzzy neural network during the automation of the decision-making process in the tasks of aviation guidance to ground targets was developed, and an imitation model was constructed. This model allows using the input data to obtain the guidance parameters determined by the PAN in solving the problem of steering the AA in the ET. The application of this methodology allowed to receive a training sample on the basis of which it is possible to study the FNN for the information technology of automated development of recommendations for the parameters of guidance of the AA in the ET on the basis of FNN.

**Keywords:** fuzzy sets, fuzzy neural networks, guidance, assault aircraft, advanced air gunner.

M. K. Borozdin<sup>1</sup>, S. S. Nepchatov<sup>1</sup>, N. O. Primachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University "Poltava Polytechnic of Yuriy Kondratyuk", Poltava, Ukraine

<sup>2</sup>Poltava College of Food Technology, Poltava, Ukraine

## IMPROVEMENT OF DRILLING RIG ELECTRICAL EQUIPMENT

**Abstract.** The article describes the electrical complex of a modern electric drilling rig. The structure of electrical complexes is caused by a wide range of requirements for the drilling depth, purpose and operating conditions of the drilling rig. The issue of the direct use of the engine, namely, the conversion of various types of energy into mechanical energy, is also considered. Today, in leading industries, the ratio of the installed capacity of electric drives to the total installed capacity of drives with engines of all types (Thermal, hydraulic, pneumatic) is approaching 100%. This is determined by the fact that electric motors are manufactured for various capacities (from hundredths of a watt to tens of thousands of kilowatts) and rotational speeds.

**Keywords:** alternating current, direct current, electrical engineering complex.

### Introduction

Automated electric drive is the main consumer of electricity. In industrialized countries, more than 60% of the electricity produced is converted into mechanical energy by electric drive. Since ancient times, people have tried to replace heavy physical labor, which was a source of mechanical energy. In modern drives, various motors are used as a source of mechanical energy. Solution of all, without exception, technological processes of well construction is provided by electric drive systems.

**Formulation of the problem.** The well construction process requires uninterrupted operation of the drilling rigs, in particular engines and pumps. Interest is the well drilling on the electric drive, the sequence of start-up of all machines and mechanisms, as well as the layout of the DC and AC electrical equipment [1-6]. Therefore, the development and modernization of the electric drive contributes to productivity growth and increase production efficiency. Knowledge of the properties and capabilities of the drive allows the electrical engineer to ensure the rational use of the drive.

### Basic material

The electrotechnical complex of a modern power-driven drilling rig is a collection of subsystems that provide for the generation (in the absence of centralized power supply), the distribution, transformation and use of electrical energy, as well as the control of all these subsystems, and includes:

- high voltage switchgear;
- power and transformer transformers;
- AC and DC electric machines;
- complete thyristor devices;
- complete devices for control, protection and distribution of low voltage electrical energy;
- cables and wires;
- electric light sources;
- mobile power plants.

Structures of electrotechnical complexes, despite the variety of schemes of drilling rigs, due to the wide range of requirements for drilling depths, purposes and conditions of operation, can be reduced to two typical schemes, the application of which on installations of different versions reduces the parameters of used electrical equipment.

A typical structure of an AC drive for plants with centralized power supply (Fig. 1) is focused on the use of partially adjustable actuators of the main mechanisms that allow to form the starting characteristic and to provide economic regulation of the speed of rotation in a limited range.

The typical structure of a direct current drive for plants with centralized and autonomous power supply (Fig. 2) is focused on the use of deeply adjustable actuators of the main mechanisms based on electric motors and power thyristor converters.

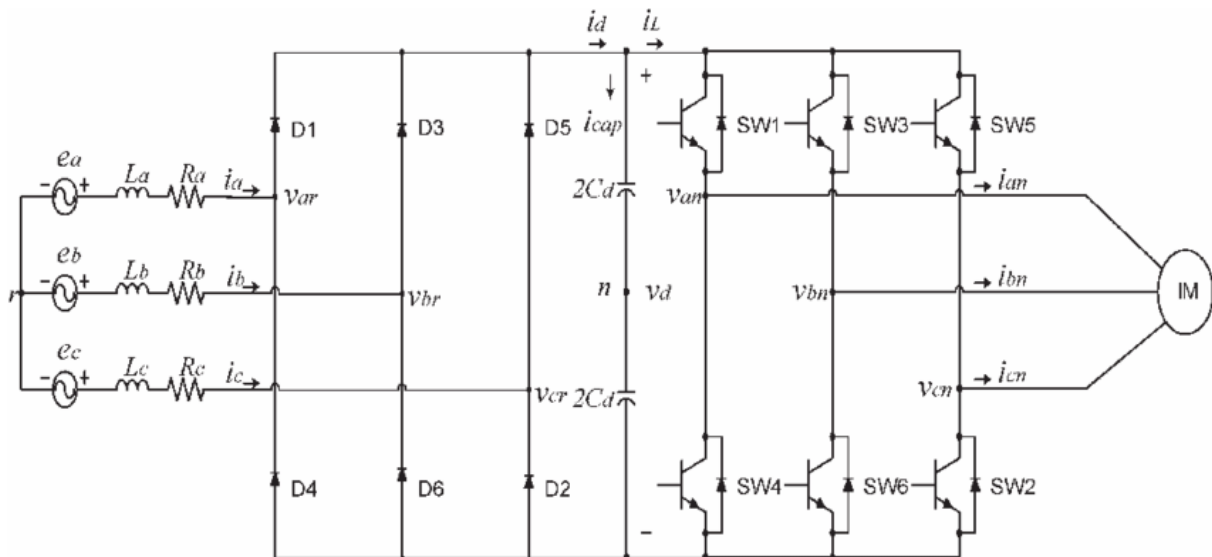
The power block in non-electrified areas represents a set of diesel-electric AC units, and in the electrified ones a set of cells of the complete switchgear and transformers that reduce the voltage to the required level.

Electrical equipment included in the electrotechnical complex are either products of a specific purpose, ie. Designed according to individual technical requirements and having one basic variant of application, or relates to products of general industrial purpose.

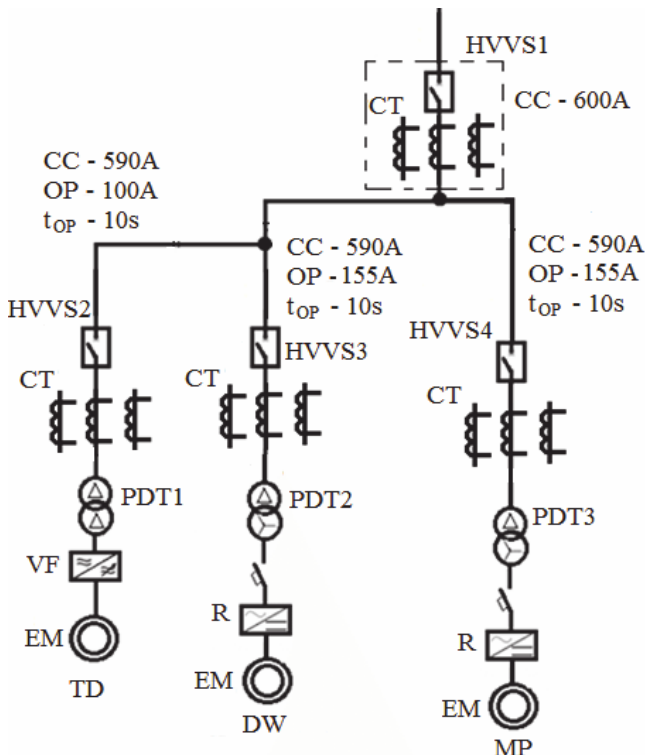
The catalog usually only provides information on the specific purpose electrical equipment

The set of electrotechnical means used on diesel-powered installations of the main mechanisms is fully included in the set of installations of the corresponding class with the electric drive and usually refers to products of general industrial purpose, so information about this electrical equipment is not given in the article.

To power the auxiliary drive mechanisms of a diesel-powered drilling rig, the latter is usually equipped with two 200-kW diesel-electric units each.



**Fig. 1.** A typical single-line diagram of an electrotechnical complex of an AC drilling rig:  
 Ra - complete high-voltage switchgear; SW3,5,1 - power lowering transformers;  
 D1, D2, D3, - electric motors respectively winches, drilling pumps, rotor, bit regulator;  
 TRS - thyristor slider; TPD, TPP are power thyristor converters respectively of the rotor  
 and the feed regulator; Lc - thyristor activators; A2 - control cabinets for auxiliary mechanisms



**Fig. 2.** A typical single-line diagram of an electrotechnical complex of a drilling rig with electric drive: The drill rig's power supply single-line diagram HVVS1...HVVS4 – high-voltage vacuum switches; PDT1...PDT3 – power dry transformers; CT – current transformers; VF – frequency converter; EM – electric motor; R – rectifier; CC – current cutoff; OP – overcurrent protection; TD – top drive; DW – drawwork; MP – mud pump.

The schematic diagram of the electrical equipment provides for the possibility of using the full power of each unit separately to power all electricity consumers, and also provides for the parallel operation of diesel generators. This ensures redundancy of power supply

when necessary to stop one unit, as well as the distribution of load on two diesel generators when connecting additional consumers. One diesel-electric unit is installed for standby power supply of plants with centralized power supply.

The generated electricity from the generator is fed to the control panel and then transmitted to the control cabinets of the actuators of the auxiliary mechanisms. Power is supplied to the consumers through circuit breakers located in control cabinets.

The article does not consider the electrical equipment of individual production facilities for special drilling conditions (except for electric machines for offshore drilling rigs), as well as the equipment built into complete control devices and the electrical equipment of the drilling process control systems.

Electrotechnical products for surface drilling units are available in climatic versions B (for macro-climatic regions with temperate climates) and UHL (for macro-climatic regions with temperate and cold climates) with air temperature during operation (at placement categories 1, 2 and 3) from +40 to -45 °C and from +40 to -60 °C, respectively.

Height above sea level - up to 1000 m, relative humidity 80% at +20°C.

The environment should not contain explosive and fire hazardous, as well as a large amount of corrosive gases and vapors in concentrations that destroy metals, insulation, coatings.

Equipment placement categories (GOST 15150-69) include outdoor operation, in rooms where temperature and humidity fluctuations are not significantly different from outdoor or indoor or indoor fluctuations, with more natural ventilation without artificially controlled climatic conditions.

Table 1 shows the degree of protection, as well as some other features of the operating conditions and design.

Table 1 – Degrees of protection and operation of equipment

Indicators	Category and type			
	КРУ type	Trans-formers	Electric machines	
			АКБ	АОКБ
Altitude, m, no more.	1000	1000	1000	1000
Air temperature, C <sup>0</sup> .				
The maximum	+40	+35	+40	+40
The minimum	-45	-60	-45	-60
The relative humidity of the air at a temperature of 20 C <sup>0</sup> ,%	80	80	80	100
Degree of protection (GOST 14254-80)	1P34*	1P21	1P23	1P44
Resistance to mechanical factors	M18	M25	M18	M18
Climate education and placement category	XJ1	Y1(XJ1)**	Y2	YXJ2

To indicate the degree of protection are used Latin letters 1P and the following two digits (GOST 14254-80). The first figure indicates the degree of protection of personnel against contact with live parts and moving parts. Inside the shell, as well as the degree of protection against entry into solid foreign bodies. The second digit indicates the degree of protection against water ingress. The "dash" in table 1 means that this parameter is not regulated by the specifications.

### Conclusions

This article deals with the issues of operation, selection and scheme of the drilling rig power engineering complex deep wells.

Determined the sequence and correctness of the connection of the main drives with AC and DC. Data on the degree of protection and operation of equipment in different climatic conditions.

A typical single-line diagram of an electrotechnical complex of a drilling rig with a direct-drive electric drive, as well as a typical single-line diagram of an electrotechnical complex of a drilling rig with an electric drive.

The connection sequence and the issue of redundancy of power supply in case of stopping of one unit are determined, as well as the distribution of load on two diesel generators when connecting additional consumers.

### REFERENCES

1. Summary of lectures on the discipline "Automated Electric Drive" (for students of 4 courses of all forms of study specialty 6.090603 - "Electric Power Systems"). Garage VN, Fateev VN - Kharkiv: KhNAGH, 2007.-104 pages.
2. Shefer O.V. Diagnosis of electric motors of complex electromechanical systems - Poltava, PoltNTU, 2015.-issue 2 (34).
3. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
4. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
5. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
6. Shefer O. Synthesis of inventories to the interference of information and telecommunication systems / O. Shefer, B. Topikha, V. Shefer, S. Myhal // Systems of control, navigation and communication. – Poltava: PoltNTU, 2019. – no. 6 (58). – pp. 115-122.

Received (Надійшла) 04.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Удосконалення електрообладнання бурових установок

М. К. Бороздін, С. С. Непочатов, Н. О. Примаченко

**Анотація.** В статті описується електротехнічний комплекс сучасної бурової установки із електроприводом. Структура електротехнічних комплексів, що викликана широким спектром вимог до глибини буріння, призначення та умов експлуатації бурової установки. Також розглядається питання прямого призначення двигуна, а саме перетворення енергії різних видів у механічну енергію. Сьогодні у провідних галузях промисловості відношення встановленої потужності електроприводів до загальної встановленої потужності приводів із двигунами всіх видів (теплових, гідравлічних, пневматичних) наближається до 100 %. Це визначається тим, що електродвигуни виготовляються на різноманітні потужності (від сотих частин ват до десятків тисяч кіловат) та швидкості обертання.

**Ключові слова:** змінний струм, постійний струм, електротехнічний комплекс.

С. В. Гаєвський<sup>1</sup>, С. М. Балакірева<sup>2</sup>, Д. В. Комаров<sup>3</sup>, В. О. Явтушенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup> Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця, Україна

## АНАЛІЗ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА ЯК ОБ'ЄКТА ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процеси функціонування радіоелектронної системи сучасного літака, її комплектуючих елементів та функціональних вузлів як об'єкта експлуатації і визначення залишкового ресурсу. **Метою** є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака. **Завдання:** проаналізувати суперечності в практиці оцінки залишкового ресурсу радіоелектронної системи літака; провести аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для його оцінки. Аналізованими **методами** є: параметричні методи та імовірнісні методи оцінки безвідмовності роботи. Отримані такі **результати**. Проведений аналіз радіоелектронної системи літака та робіт з продовження її ресурсу. **Висновки.** В результаті розгляду існуючих методів розрахунку показників довговічності радіоелектронної системи літака виявлені фактори, які впливають на необхідність вдосконалення існуючого науково-методичного апарату, який застосовується для вирішення цих завдань.

**Ключові слова:** залишковий ресурс, літак, продовження терміну служби, радіоелектронна система, технічний стан.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Науково-технічний прогрес і пов'язане з ним вдосконалення елементної бази істотно змінюють характер експлуатації та технічного обслуговування радіоелектронних систем сучасних літаків. Широке застосування апаратури виготовленої з використанням мікроелектронних компонентів, впровадження сучасних цифрових технологій з високим ступенем інтеграції робить проблематичним застосування існуючого науково-методичного апарату через продукування грубих і завищених прогнозів показників безвідмовності радіоелектронної системи літака. Це обумовлює необхідність критичного аналізу відомих моделей оцінки відмов та розрахунку показників залишкового ресурсу радіоелектронних систем літаків та їх комплектуючих з метою оцінки залишкового ресурсу та продовження призначених термінів служби зі збереженням відповідних показників якості експлуатації [8].

**Аналіз літератури.** Аналіз літератури показав [2, 4, 7], що на сучасному етапі не в повній мірі враховано впровадження в радіоелектронну апаратуру сучасної елементної бази. Широке застосування комплектуючих елементів в мікроелектронному виконанні призводить до кардинальних змін потоків відмов в радіоелектронних системах. Застосування відомих параметричних та імовірнісних методів оцінки надійності та безвідмовності роботи [5, 6] не дає змоги отримати адекватні результати. Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючого науково-методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака.

**Метою статті** є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака

### Основна частина

#### Аналіз РЕС літака як об'єкта експлуатації і визначення його залишкового ресурсу

Радіоелектронна система сучасного літака являє собою складний радіоелектронний комплекс, що складається з функціонально пов'язаних виробів, призначених для цілеспрямованого виконання єдиного завдання або ряду завдань, пов'язаних з передачею, отриманням і перетворенням як польотної інформації, так і інформації про повітряну обстановку. В цілому, в складі РЕС літака можна виділити наступні групи обладнання:

- пілотажно-навігаційне обладнання;
- радіотехнічне обладнання навігації, посадки та управління повітряним рухом;
- радіозв'язне обладнання;
- електротехнічне обладнання;
- світлотехнічне обладнання;
- засоби контролю роботи силової установки;
- бортові інформаційні системи – система відображення інформації, система сигналізації і т.п.

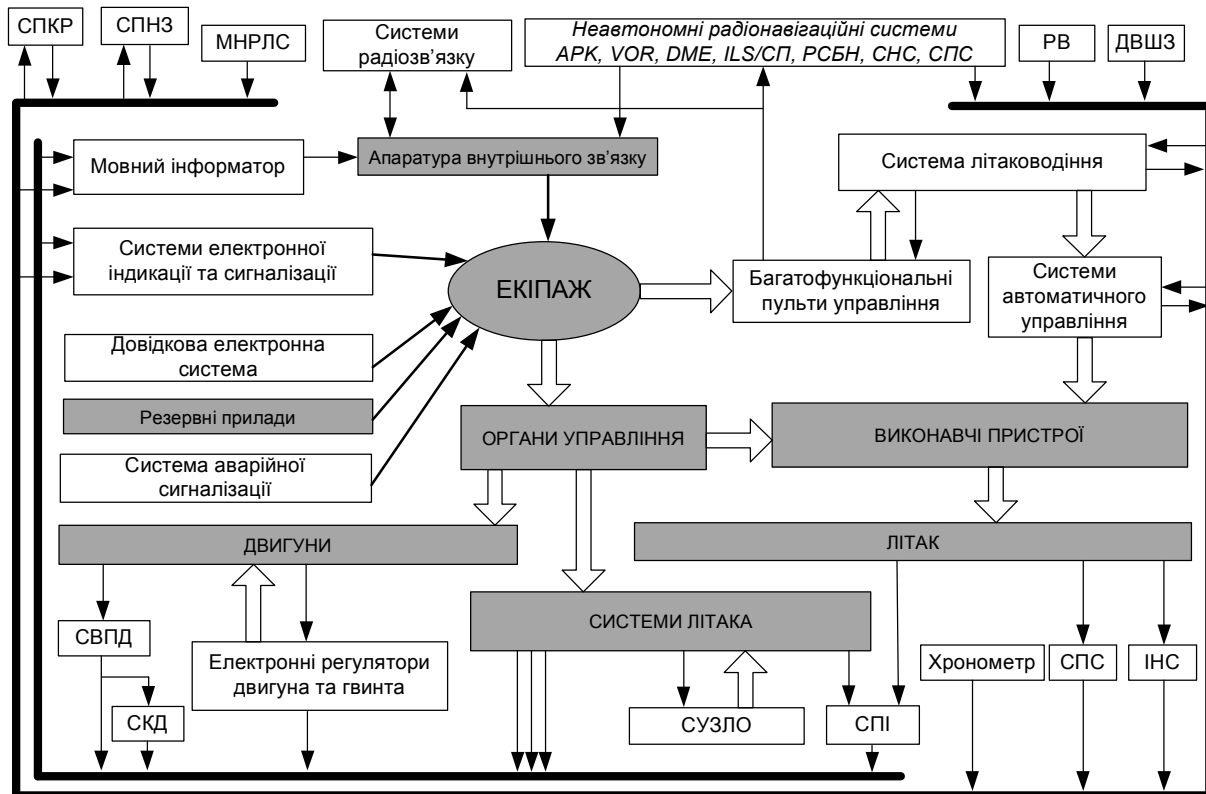
Апаратура й устаткування цих засобів різномірні за складом і виконанням. Можна виділити наступні технологічно однорідні групи апаратури: радіоелектронна апаратура (РЕА) в мікроелектронному виконанні (МЕВ), РЕА з використанням навісних елементів, електромеханічні і механічні вузли і пристрої. Все радіоелектронне обладнання літака, незалежно від приналежності до тієї чи іншої з перерахованих груп, часто називають авіонікою. Бортові інформаційні системи також належать до цієї групи устаткування.

Склад авіоніки різний для різних класів літаків. Розглянемо його на прикладі пасажирських магістральних літаків, таких, як Ту-204, Airbus A-320, Boeing 757, де авіоніка представлена найбільш широко. Її можна розділити на наступні групи:

- системи первинної інформації;
- радіонавігаційні системи;

- радіозв'язкові системи;
- системи автоматичного пілотування;
- бортові інформаційні системи;
- інші пілотажно-навігаційні системи.

В загальному випадку схему взаємодії екіпажу, вузлів, систем і механізмів з радіоелектронною системою літака в загальному вигляді можна представити наступним чином (рис. 1).



**Рис. 1.** Авіоніка сучасного літака: СПНЗ – система попередження про наближення землі, СПКР – система попередження критичних режимів, МНРЛС – метеонавігаційна РЛС, РВ – радіовисотомір, ДВШЗ – доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу, ІНС – інерціальна навігаційна система, СПС – система повітряних сигналів, СПІ – система перетворення інформації, СУЗЛО – система управління загальнолітаковим обладнанням, СКД – система контролю двигуна, СВПД – система вимірювання параметрів двигуна

Використання сучасної елементної бази істотно вплинуло на конструктивні і функціональні особливості побудови апаратури. Якщо в РЕС попередніх поколінь основними елементами для побудови були електрорадіоелементи (резистори, конденсатори, реле, транзистори, електронні лампи і ін.), сукупність яких була укладена в блоки, то в апаратурі РЕС нових типів електрорадіоелементи, що утворюють електричну схему, розміщені в більш дрібних елементах – комірках, субблоках.

На сучасному етапі розвитку різко зросла насиченість апаратури засобами обчислювальної техніки. У нових виробках застосовуються спеціалізовані машини і обчислювальні комплекси, різні обчислювачі. Обробка і передача переважної частини сигналів здійснюється в цифровому вигляді.

У зв'язку із застосуванням ІМС та наявною тенденцією до скорочення габаритів апаратури значно підвищується кількість радіоелектронних елементів, що припадають на кубічний сантиметр об'єму апаратури, що створює додаткові труднощі в дотриманні необхідного теплого режиму при роботі РЕА. Зросла функціональна значимість охолоджувачів повітря в РЕС і вимоги до якості їх функціонування. Свідченням цього може служити частка не-

підтверджених відмов ТЕЗ від загального числа ТЕЗ, які присилаються на ремонт на заводі-виробники.

Таким чином, до складу РЕС сучасних літаків входять різноманітні групи обладнання: РЕА з використанням дискретних елементів, електромеханічні, механічні та інші пристрої, що характеризуються різними механізмами відмов, різними ресурсами і термінами служби.

На сучасному етапі вимірювання безвідмовності виробів електронної техніки зводиться до оцінки інтенсивності відмов або ймовірності безвідмовної роботи в інтервалі (0-1000 годин) або (0-5000 годин), що становить малу частку напрацювання виробів електронної техніки в РЕС літака. При цьому використовується параметричний метод оцінки для  $\lambda(t) = const$ , тобто оцінки параметра  $\lambda$  відбуваються при експоненційній функції розподілу, що призводить до грубих і завищених прогнозів показників безвідмовності та є неприйнятним для вирішення завдань продовження ресурсу РЕС літака.

Більш адекватні двопараметричні моделі відмов також неприйнятні, тому що внаслідок малої статистики оцінки двох параметрів можуть призвести до великих похибок. З викладеного випливає, що



застосування так званих строго імовірнісних методів оцінки високонадійних комплектуючих елементів і комплектуючих виробів для вирішення завдань продовження ресурсів не представляється можливим.

**Аналіз робіт з продовження ресурсів РЕС літака та методик розрахунку показників довговічності.** Сукупність робіт з продовження ресурсів РЕС літака обумовлена необхідністю забезпечити відповідність показників якості РЕС заданим вимогам в процесі тривалої експлуатації при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Сукупність робіт з продовження ресурсів РЕС повинна включати в себе:

- збір, аналіз і узагальнення наявної інформації про довговічність і зберігання виробів;
- оцінку ТС виробів на місцях експлуатації і ремонту;
- проведення досліджень літаків в цілому і оцінку їх ТС в процесі і після випробувань;
- розбирання виробів на складові частини і комплектуючі вироби і оцінку технічного стану (ТС) демонтованих складових частин і комплектуючих виробів;
- проведення випробувань складових частин і комплектуючих виробів і оцінку їх ТС в процесі і після випробувань;

– прогнозування технічного стану виробів на період продовження, оцінка техніко-економічної ефективності продовження і розробку проекту рішення на продовження і плану заходів щодо забезпечення експлуатації літака на період продовження.

В результаті виконання цих робіт приймаються рішення про продовження ресурсів (термінів служби) РЕС і розробляються заходи щодо забезпечення її експлуатації на продовжуваний період.

Під продовженням ресурсів (термінів служби) літаків будемо розуміти роботи, які спільно проводяться підприємствами та організаціями замовника (експлуатанта), розробника і виробника по:

- визначенню можливості експлуатації виробів за межами попередньо встановлених значень призначених ресурсів і термінів служби до ремонту і списання;
- розробці та реалізації заходів щодо забезпечення експлуатації виробів на продовжуваний період.

Для проведення робіт з продовження ресурсів РЕС літака необхідно їх науково-методичне забезпечення.

Перелік основних завдань продовження ресурсів РЕС літака та їх необхідного забезпечення наведено на рис. 2, 3. Так, зокрема, методика розрахунку призначених термінів служби (ресурсів) РЕС літака та інших виробів не опрацьована в достатній мірі, величини призначених ресурсів або термінів служби задаються, як правило, за даними показників довговічності аналогів. При такому підході неможливо врахувати особливості нової конструкції виробу, його нової елементної бази, що дає в цілому, грубі оцінки середнього або гамма-відсоткового термінів служби виробу. В результаті виконання цих робіт встановлюється призначений ресурс (термін служби) до ремонту. Тривалий досвід експлуатації показує, що призначені терміни служби (ресурси)

занижені, що призводить до необхідності виконання певного обсягу робіт з продовження ресурсів, по виведенню літака з експлуатації на час виконання цих робіт, по рішенню завдань розрахунку й оцінки показників залишкового ресурсу. Для вирішення задачі продовження ресурсів необхідна розробка методичного апарату з розрахунку показників залишкового ресурсу на момент вироблення РЕС літака призначених ресурсів (термінів служби) за даними їх експлуатації і апріорної інформації, по розробці програм випробувань і обґрунтування планів випробувань і оцінки показників довговічності за результатами випробувань.

Особливістю завдань продовження ресурсів РЕС є необхідність оцінки не тільки показників залишкового ресурсу і контролю відповідності виробів вимогам надійності, але і визначення заходів щодо забезпечення експлуатації РЕС літака на продовжуваний період (рис. 4). В результаті проведення розрахунків, планування і проведення випробувань і обробки їх результатів повинні бути визначені роботи: по заміні комплектуючих виробів (КВ), функціональних вузлів (ФВ) на вироби поточного випуску, або на їх сучасні аналоги; по ремонту окремих складових частин, функціональних систем (ФС), ФВ і КВ РЕС літака.

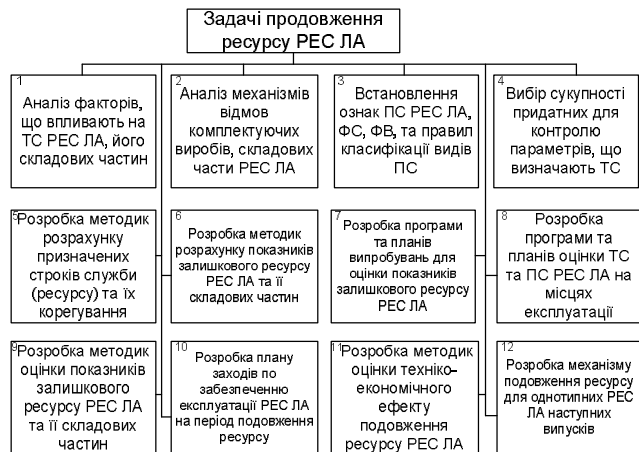


Рис. 2. Перелік основних завдань продовження ресурсів РЕС літака



Рис. 3. Зміст спільного рішення замовника, розробника і виробника на продовження ресурсу

Відомі наукові розробки в цій галузі [5, 6] засновані на строго імовірнісних методах розрахунку показників довговічності РЕС літака. У цих роботах передбачаються відомими щільності розподілу на-

працювань комплектуючих елементів (КЕ) до відмов, або знаходяться параметри цього закону розподілу по накопиченим статистичними даними про відмови за встановлений термін служби.

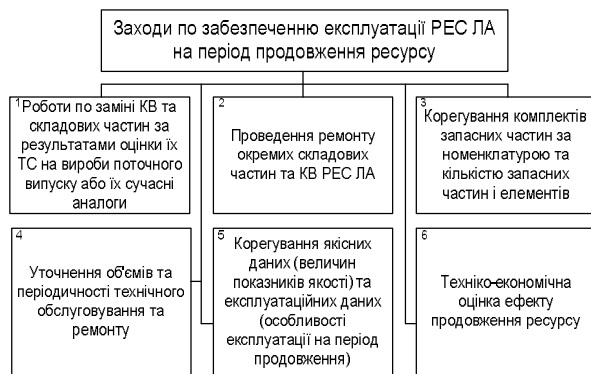


Рис. 4. Склад робіт плану заходів щодо забезпечення експлуатації АЕС літака на продовжуваний період

Далі для відомих щільностей розподілу напрацювань КЕ до відмов (або напрацювань схемних позицій між відмовами) розраховуються параметри потоків відмов. Розрахунок параметра потоку відмов певної схемної позиції АЕС літака здійснюється шляхом вирішення рівняння Вольтерра

$$\omega_i = f_i(t) + \int_0^t f_i(t-\tau)\omega_i(t)dt, \quad (1)$$

де  $f_i(t)$  – щільність розподілу напрацювання  $i$ -ї схемної позиції на відмову.

Такий підхід передбачає необмежене число повних відновлень кожної схемної позиції АЕС літака за призначений ресурс або термін служби. Але ці припущення не виконуються для деяких схемних позицій з наступних причин:

- число відновлень певної схемної позиції на розглянутому інтервалі експлуатації обмежена;
- відновлення ресурсу схемної позиції може бути різної глибини: повним, неповним, мінімальним.

Далі в відомих методиках [1] здійснюється розрахунок параметра потоку відмов однорідних груп КЕ і розрахунок параметра потоку відмов АЕС літака в цілому шляхом підсумовування параметрів потоку відмов всіх груп однотипних КЕ АЕС літака. Такий підхід передбачає структурну схему надійності АЕС літака послідовною. При цьому змінення визначальних параметрів (ВП) ФС або не враховується [3], або здійснюється на рівні КЕ шляхом подання щільності розподілу напрацювань схемних позицій між відмовами вигляді суперпозиції експоненціального і усіченого нормального розподілу

$$f_i(t) = c_i \lambda_i \exp(-\lambda_i t) + \frac{(1-c_i) \exp\left(-\frac{(t-T_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)}{\sqrt{2\pi\sigma_i} \Phi(T_i/\sigma_i)}, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов КЕ  $i$ -го типоміналу;  $T_i$  та  $\sigma_i$  – параметри нормального розподілу

напрацювання КЕ до поступової відмови;  $c_i$  – коефіцієнт відносної кількості раптових і поступових відмов КЕ  $i$ -го типоміналу,

$$\Phi(u) = \left(\sqrt{2\pi}\right)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Значення параметрів  $T_i$  та  $\sigma_i$  знаходяться через математичне очікування і середньоквадратичне відхилення ВП комплектуючих елементів для різних моментів часу в припущенні, що функція зміни ВП лінійна, а його значення в будь-який момент часу розподілені по нормальному закону. Такий метод передбачає наявність і можливість контролю ВП для кожного КЕ або групи однорідних КЕ в відповідних часових перетинах, а також знання величини  $c_i$ , яка, по-перше, є функцією часу, що не враховується у формулі (1.2), і, по-друге, способи оцінки  $c_i$  не відомі, а передбачувані для користування коефіцієнти  $c_i$  [48] є орієнтовними і не придатними для проведення розрахунків показників ЗР. Розрахунок показників довговічності по такій схемі не придатний для вирішення завдань продовження ресурсів АЕС літака, тому що:

- орієнтований, в основному, на послідовну структурну схему надійності (ССН), або на іншу структурну схему надійності але з відомими коефіцієнтами функціональної значущості, точність яких невідома;

- багаторівнева структура АЕС літака враховується спрощено, тобто представляється у вигляді сукупності певним чином з'єднаних з точки зору надійності КЕ;

- має великі похибки розрахунку параметра потоку відмов АЕС літака і показників довговічності.

Основні відмінності підходу до розрахунку показників довговічності АЕС літака до обґрунтування обсягів їх планових ремонтів, запропонованого в [89], полягає в експериментальній оцінці щільності розподілу напрацювання певної схемної позиції на відмову за даними експлуатації у вигляді суперпозиції трьох щільностей розподілу:

$$f_i(t_k) = c_1 f_1(t_k) + c_2 f_2(t_k) + c_3 f_3(t_k), \quad (3)$$

де  $f_i(t_k)$  – щільність розподілу календарної тривалості робіт КЕ до відмови під дією виробничих дефектів ( $i=1$ ), випадкових експлуатаційних навантажень ( $i=2$ ) і старіння ( $i=3$ ) відповідно;

$c_i$  – вагові коефіцієнти, що характеризують частку відмов КЕ по першій, другій і третій причинам відповідно, причому  $\sum_{i=1}^3 c_i = 1$ .

Для відмов, обумовлених дефектами виробництва, щільність розподілу  $f_1(t)$  пропонується апроксимувати розподілом Вейбулла або експоненціальним з параметром  $\lambda_1$ . Для відмов, обумовлених старінням, – нормальний розподіл з математичним очі-

куванням  $m_3$  і середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_3$  або розподіл Вейбулла. Відмови, зумовлені дією випадкових експлуатаційних навантажень, пропонуються описувати експоненціальним розподілом з параметром  $\lambda_2$ .

Теоретична щільність розподілу, представлена у вигляді суміші експоненціального і нормального розподілів, добре апроксимує емпіричну щільність розподілу. Природно, що отримані таким чином щільності розподілу напрацювань КЕ до відмов є усередненими по всій множині однотипних КЕ в кожному виробі і по всіх виробках. Відомо, що умови і режими функціонування однотипних КЕ в різних функціональних вузлах і системах літака відрізняються. Крім цього, для оцінки міжремонтних термінів експлуатації літака при заданій тривалості експлуатації  $t_e$  слід застосовувати коефіцієнт готовності літака, що розраховується за формулою:

$$K_z = \left( 1 + \sum_{i=1}^k T_{ei} \omega_i(t) \right)^{-1} \cdot \exp \left[ -t_e \sum_{i=1}^k \omega_i(t) \right], \quad (4)$$

де характеристика  $\omega(t)$  визначена для однакових напрацювань  $t$ ;  $k$  – кількість однотипних груп комплектуючих елементів;  $T_{ei}$  – середній час відновлення  $i$ -ї групи КЕ.

Для приведення коефіцієнта  $K_z$  до календарних одиниць часу використовуємо наступний вираз:

$$K_z(t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_g} \sum_{i=1}^k T_{ei} \omega_i(t_k)} \exp \left[ -\frac{t_e}{K_g} \sum_{i=1}^k \omega_i(t_k) \right], \quad (5)$$

де  $K_g$  – коефіцієнт використання апаратури під навантаженням, а  $t_k = 1/K_g$ .

З наведених співвідношень випливає, що всі групи КЕ знаходяться однаковий час під навантаженням. Відомо, що річне напрацювання різних ФС відрізняється, що зумовлено їх різною безвідмовністю, різним використанням, різним включенням при відновленні працездатності та з інших причин. Крім цього, інтенсивності використання різних ФВ, блоків, КЕ так само істотно розрізняються.

Слід зазначити, що розрахунки нестационарних коефіцієнтів готовності, що проводяться за формулами (4), (5), так само є наближеними, так як проводяться по співвідношенню для стаціонарного коефіцієнта готовності, для одного режиму функціонування КЕ, при якому відмова одного КЕ призводить до припинення функціонування інших до моменту відновлення КЕ, який відмовив.

Похибки таких розрахунків показника довговічності РЕС літака важко оцінити, і, отже, використання такої методики для розрахунків показників залишкового ресурсу РЕС є проблематичним.

Таким чином, відомим методикам розрахунку показника довговічності РЕС літака та інших технічних систем притаманні наступні недоліки:

– розрахунок параметрів потоку відмов схемних позицій передбачає можливість необмеженого числа повних відновлень за призначений ресурс або термін служби РЕС літака, що не виконується для більшості типів КЕ РЕС;

– розрахунок параметрів потоку відмов РЕС літака, що подається сукупністю КЕ, передбачає в основному, послідовну ССН, або іншу структурну схему надійності але з відомими коефіцієнтами функціональної значущості, точність визначення яких невідома. При цьому багаторівнева структура РЕС літака, різні режими функціонування ФС, вузлів при відновленні працездатності, тренуваннях операторів і інших роботах враховується спрощено;

– при розрахунках показників довговічності параметрична надійність РЕС літака або не враховується, або її вплив враховується орієнтовно з великими похибками на рівні комплектуючих виробів;

– методики розрахунку показників довговічності, як правило, орієнтовані на застосування чисто імовірнісних моделей безвідмовності КВ і накопичених даних про їх відмови за призначений термін служби по всьому парку однотипних систем. Наведені методики мають великі похибки і не дозволяють коректно проводити розрахунки показників ЗР РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного ТС і рівня надійності.

У зв'язку з цим сформульована основна науково-технічна задача розробки науково-методичного апарату для розрахунку показників залишкового ресурсу РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного стану і рівня надійності.

Вирішення цього завдання зводиться до вирішення наступних взаємопов'язаних окремих задач:

1. Аналіз робіт з продовження ресурсів РЕС літаків і розробка загальних положень щодо розрахунку залишкового ресурсу.

2. Розробка математичних моделей потоків відмов КВ РЕС літака, які враховують сформульовані вище особливості його функціонування.

3. Розробка математичних моделей для розрахунку показників залишкового ресурсу і залишкового напрацювання КВ, ФВ і ФС РЕС літака.

4. Розробка методики розрахунку показників залишкового ресурсу РЕС літака та його ФС, що дозволяє вирішувати завдання продовження ресурсів.

Зазначена послідовність рішення наукової задачі визначає структуру дисертаційної роботи.

## Висновки

1. Проведений аналіз РЕС літака як об'єкта експлуатації та визначення залишкового ресурсу дозволив виділити наступні особливості:

– різномірний склад авіоніки літака за конструктивним виконанням та складу з широким застосуванням сучасної елементної бази;

– наявність значних запасів надійності, які витрачаються в процесі тривалої експлуатації, і труднощі вивчення фізичних процесів, що передують

виникненню відмов РЕС, неможливість побудови універсальних математичних моделей витрати параметричної надійності;

– широке застосування апаратури в мікроелектронному виконанні, що обумовлює труднощі вимірювання її безвідмовності та робить неприйнятним застосування строго імовірнісних методів оцінки показників її надійності;

– збільшення частки схемних позицій (комплектуючих елементів) РЕС літака, які протягом призначеного строку служби не відмовляють, або відмовляють не більше одного-двох разів;

– широкий спектр комплектуючих елементів і різноманітність механізмів відмов під впливом комплексу експлуатаційних навантажень.

2. Проведений аналіз робіт з продовження ресурсів літака показує на відсутність в даний час їх досконалого науково-методичного забезпечення. Показано, що для ефективного в нових умовах вирішення завдань продовження ресурсів необхідна розробка методичного апарату:

– з розрахунку показників залишкового ресурсу на момент вироблення призначеного ресурсу;

– по розробці програм випробувань, обґрунтуванню планів випробувань та оцінки показників за-

лишкового ресурсу РЕС літака за результатами випробувань;

– по розробці заходів для підтримки працездатності і надійності літака на подовжений період експлуатації та по оцінці їх техніко-економічної ефективності.

3. Аналіз методик і методів розрахунку показників довговічності РЕС літака вказує на такі недоліки:

– розрахунок параметра потоку відмов РЕС літака передбачає необмежене число повних відновлень схемних позицій за призначений ресурс або термін служби, послідовну ССН, спрощено враховує багаторівневу структуру РЕС літака, режими функціонування його ФС, ФВ при відновленні працездатності, тренуваннях та інших роботах;

– при розрахунках показників довговічності параметрична надійність РЕС літака або не враховується, або її вплив враховується грубо, з великими похибками на рівні комплектуючих елементів;

– методики розрахунку показників довговічності не дозволяють коректно проводити розрахунки показників залишкового ресурсу РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного стану і рівня надійності.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник. Якість, надійність радіоелектронної апаратури: [монографія] / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник; за ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Львівська політехніка, 2013. – 196 с.
2. Бобало Ю.Я. Аналіз методів оцінювання безвідмовності систем сумісно працюючих компонентів електронних пристроїв / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, О.В. Лазько // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 7 (26). – С. 212–214.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность: пер. с англ. И.А.Ушакова, М.: Наука, 1985г.
4. Юрков Н.К. К проблеме моделирования риска отказа электронной аппаратуры длительного функционирования / Н.К. Юрков, И.И. Кочегаров, Д.Л. Петрянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 220-231.
5. Гудков М. В. Методика прогнозування надійності радіоелектронного обладнання при експлуатації авіаційної техніки за станом з контролем параметрів / М.В. Гудков // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 4(24). – С. 32-35.
6. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки / О. М. Добриденко, А. С. Бологін, М. Ф. Хільченко, Р.Б. Белінська // Збірник наукових праць ДНДІА. - 2011. - Вип. 7(14). - С. 163-167.
7. Чернявський В. М. Застосування непараметричних методів для оцінки рівня надійності авіаційної техніки з низькою інтенсивністю експлуатації / В.М. Чернявський // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 3(32). – С. 59-63.
8. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. – [Чинний від 1995-01-25]. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 51 с.

Received (Надійшла) 21.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2020

#### Analysis of the radio electronic system of the airplane as an object for extending the life

S. Haievskiy, S. Balakireva, D. Komarov, V. Yavtushenko

**Abstract.** The **subject matter** of the article is the functioning processes of the electronic system of a modern aircraft, its components and functional units as an object of operation and determination of residual life. The **goal** is the analysis of the existing methodological apparatus used to calculate the durability indicators and the possibility of extending the assigned service life of the aircraft electronic system. The **tasks**: to analyze the contradictions in the practice of assessing the residual life of the aircraft electronic system; to analyze the scientific and methodological apparatus used to evaluate it. The methods analyzed are: parametric methods and probabilistic methods for evaluating the uptime. Analyzed **methods** are: parametric methods and probabilistic methods for evaluating uptime. The following **results** were obtained: The analysis of the aircraft electronic system and work to extend its life. **Conclusions.** As a result of consideration of existing methods for calculating the durability of the aircraft electronic system, factors were identified that affect the need to improve the existing scientific and methodological apparatus used to solve these problems.

**Keywords:** residual life, aircraft, life extension, electronic system, technical condition.

Н. В. Єрмілова<sup>1</sup>, С. Г. Кислиця<sup>1</sup>, Я. Р. Буркун<sup>1</sup>, А. Г. Гончаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

<sup>2</sup>Полтавський автоагрегатний завод, Полтава, Україна

## РОЗРОБЛЕННЯ СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БЕТОНОРОЗДАВАЧА

**Анотація.** Проаналізувавши особливості конструкції, принцип роботи та електропривод бетонороздавача типу СМЖ-69А, автори прийшли до висновку, що найбільш гостро потребує модернізації механізм переміщення цього пристрою та система його керування. Для підвищення ефективності роботи запропоновано застосувати частотно-регульований електропривод механізму переміщення на базі АД з короткозамкненим ротором. Рекомендовано замінити застарілий привод пересування у вигляді двигуна, редуктора і ланцюгової передачі на мотор-редуктор, що дозволить звільнити місце для встановлення контролерів та іншого обладнання системи автоматичного керування. Для механізму пересування бетонороздавача обрано сучасний мотор-редуктор, розроблена схема керування електроприводом на базі ПЛК. Пропонується застосувати тензометричний метод зважування бетонної суміші, для чого бункер з бетонною масою встановлюється на тензодатчиках. При заповненні бункера бетонороздавача до певної маси сигнал з тензодатчиків надходить на контролер, після чого програма починає працювати. Вхідним сигналом є маса бетонної суміші, що подається в бункер, а вихідним – напруга, яка подається на контролер, а потім, через перетворювач частоти, на об'єкт управління – привід пересування бетонороздавача. Керуючим впливом об'єкта керування (ОК) являється напруга, що подається на мотор-редуктор, а збурювальним впливом – сила статичного навантаження від ваги бетонороздавача, ваги бетонної суміші в бункері та сили опору розрівнюючого пристрою. Розроблена математична модель ОК, за допомогою якої проведені дослідження перехідних процесів об'єкта керування шляхом зміни керуючого та збурювального впливів. Аналіз перехідних процесів довів працездатність та якість системи керування. Розроблений алгоритм функціонування системи автоматичного керування бетонороздавачем, на базі якого побудована програма для ПЛК. Проведена технічна реалізація САК, обрані необхідні елементи та пристрої. Розрахована авторами економічна ефективність від проведеної модернізації довела її доцільність.

**Ключові слова:** система керування, бетонороздавач, тензодатчик, математична модель, збурення.

### Постановка проблеми

Механізація та автоматизація процесу укладання бетону в форму дозволяє значно підвищити продуктивність, спростити роботу людини, поліпшити якість виробів, що випускаються. Наш час характеризується широким здійсненням автоматизації виробництва на базі використання програмованих логічних контролерів. Цей прогрес торкнувся й промисловості будівельних матеріалів, зокрема бетонороздавачів і виробництва бетонних виробів.

Приріст виробництва бетонних виробів повинен відбуватися за рахунок ефективнішого використання виробничих потужностей залізобетонного виробництва (ЗБВ), а поліпшення якості продукції – за рахунок вдосконалення технології. Для реалізації цієї мети необхідно оснастити заводи ЗБВ сучасним високопродуктивним технологічним обладнанням.

Оснащення заводів ЗБВ проводиться за рахунок придбання нового високопродуктивного технологічного обладнання та за допомогою модернізації застарілого. Модернізація механічного обладнання з подальшою автоматизацією перетворює застаріле обладнання на сучасне з більш низькою вартістю у порівнянні з новим.

Модернізація проводиться таким чином: встановлюють приводи з меншою енергоємністю але з більшими крутими моментами, тобто замінюють застарілий привод на сучасний з відповідною системою автоматизації. Зміна застарілих приводів дозволяє звільнити місце для встановлення контролерів, датчиків, перетворювачів частоти, тим самим вдосконалити систему.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В дослідженні використана низка джерел, в яких розглянуті основні питання укладання бетону та застосування новітнього електротехнічного обладнання. В роботах [1-3] розкриті питання виготовлення та впровадження в обіг нових видів бетороздавачів, приведені характеристики серійного підйомно-транспортного обладнання. Особлива увага приділяється обладнанню, розробленому в останні роки. В джерелах дані рекомендації по вибору обладнання для механізації трудомістких завантажувально-розвантажувальних та транспортних робіт. В роботах [4-7] досліджені можливості автоматизації технологічного процесу укладання бетону, як одному з важливих для розвитку сучасної будівельної промисловості. При цьому особлива увага приділяється засобам автоматизації для реальних технологічних розчинів та режимів роботи обладнання в процесі виробництва. Наведені сучасні системи керування, в тому числі, з використанням обчислювальної техніки. У підручниках [8-9] розкриваються питання електропривода та автоматизації робочих режимів типових промислових механізмів неперервної та циклічної дії. Загальні положення доповнюються аналізом окремих схем електропривода механізмів різних машин, установок та технологічних комплексів. Викладено особливості електромеханічних систем автоматизації та їх найважливішого виду – електромеханічних систем автоматичного керування; обґрунтовано необхідність застосування системного підходу під час вивчення цих систем з врахуванням особливостей технологічних об'єктів керування, властивостей різних видів електроприводів. Розглянуто

взаємовплив технологічних об'єктів та електроприводів у системі автоматичного керування; класичні та сучасні керовані електроприводи із застосуванням новітніх методів керування; загальні техніко-економічні та експлуатаційні питання: енергозбереження, застосування екстремальних енергозберігаючих систем, захисту, діагностики та моніторингу.

При аналізі літературних джерел по темі можна зробити висновок, що питання процесу укладання бетону недостатньо досліджені, контроль якості бетону або відсутній, або недостатній. Практично відсутні дані про використання частотно-регульованого електроприводу в технології укладання бетону. Мало інформації про залежність надійності укладання бетону від якості керування переміщенням бетонороздавача.

**Мета статті** – аналіз, модернізація та автоматизація ділянки укладання бетону в форми та підвищення продуктивності роботи за рахунок модернізації бетонороздавача типу СМЖ-69А, а саме електропривода механізму його переміщення.

### Основна частина

Бетонороздавач – це пристрій, що видає бетонну суміш у форму та розрівнює її при формуванні багатопустотних панелей перекриттів житлових будівель та інших одношарових залізобетонних виробів. Рама бетонороздавача представляє собою зварну конструкцію порталного типу. Нижня частина її складається з чотирьох поздовжніх швелерів, попарно зв'язаних між собою, що несуть два приводних та два ходових колеса. Верхня частина рами складається з поздовжніх і поперечних балок. На верхню обв'язку рами встановлений бункер та бак для води. У верхній частині змонтовані привод пересування, привод живильника та механізм підйому заслінки.

Привод пересування складається з двошвидкісного електродвигуна, редуктора, гальма та двох ланцюгових передач. Привод живильника скомпону-

ваний з електродвигуна, редуктора, зубчастої пари та ланцюгової передачі. Розрівнюючий пристрій встановлюється під живильником, він являє собою шарнірно-змонтовану на боковинах приводну поворотну лійку. Положення розрівнюючого пристрою регулюється в залежності від товщини формованих виробів. Заслінка бункера відкривається та закривається за допомогою пневмоциліндра, що підвішений до бункера.

Проаналізувавши конструкцію та принцип роботи бетонороздавача, автори прийшли до висновку, що найбільш гостро потребує модернізації механізм переміщення цього пристрою.

Механізм переміщення бетонороздавача має нерегульований електропривод, що приводить до значної перевитрати електроенергії, тому потребує плавного регулювання швидкості. Діапазон регулювання за швидкістю змінюється в широких межах та, залежно від завантаженості бетонороздавача, механізм рухається з різною швидкістю. Суттєво зменшити енергозатрати можливо при застосуванні частотно-регульованого електропривода на базі АД з короткозамкненим ротором. При використанні частотно-регульованого електропривода з'являються наступні технічні можливості: обмеження струму на рівні номінального в пускових, робочих та аварійних режимах; плавний розгін та гальмування бетонороздавача; регулювання швидкості від мінімальної до номінальної та вище номінальної. Крім того, монтаж частотно-регульованого електропривода не потребує значних додаткових витрат.

Враховуючи вищезгадане, було вирішено для реалізації енергозберігаючого режиму роботи механізму переміщення бетонороздавача обрати керований електропривод за схемою ПЧ-АД, який дозволить використовувати найоптимальніший режим роботи цього механізму.

Даний режим реалізується стандартною структурною схемою (рис.1).

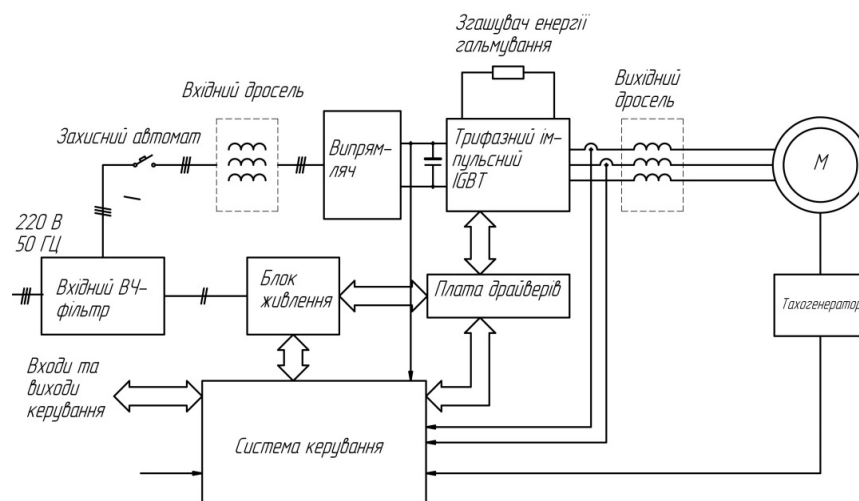


Рис. 1. Структурна схема ПЧ-АД

При модернізації бетонороздавача запропоновано провести заміну застарілого привода пересування у вигляді двигуна, редуктора і ланцюгової передачі на

мотор-редуктор 1, що дозволить звільнити місце для установки контролерів, датчиків, перетворювачів частоти і, тим самим, автоматизувати систему (рис. 2).

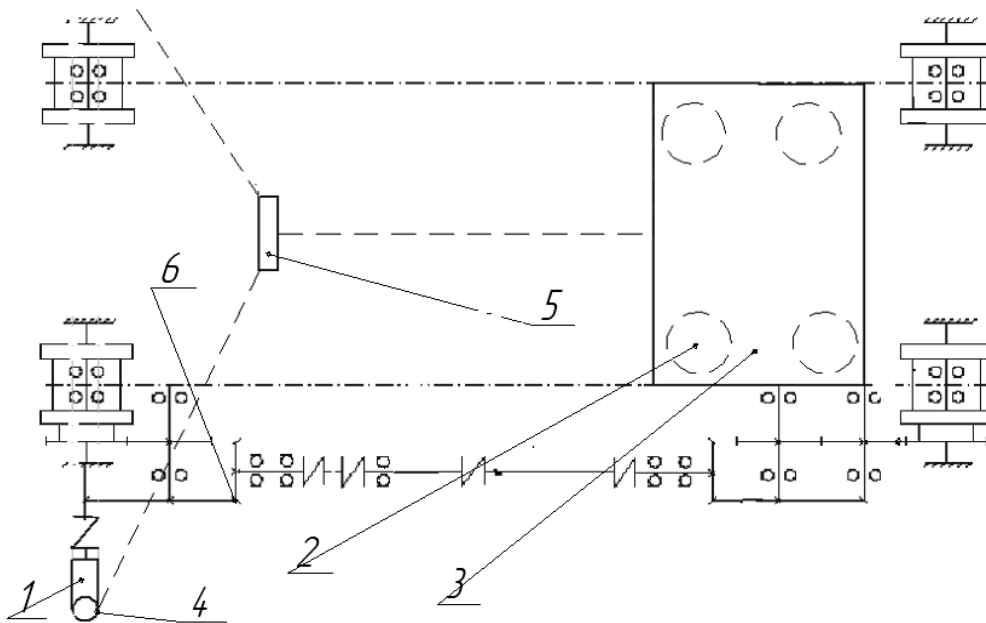


Рис. 2. Запропонована кінематична схема приводу пересування бетонороздавача (1 – мотор-редуктор; 2 – тензодатчики; 3 – платформа; 4 – перетворювач частоти; 5 – контролер; 6 – вал)

Бункер розміщується на сталевій платформі 3, яка буде розташована на тензодатчиках 2, що з'єднуються в ланцюг. При заповненні бункера бетонороздавача до певної маси сигнал з тензодатчиків надходить на програмоване реле та контролер, після чого система починає працювати. Вхідним сигналом тут є маса бетонної суміші, що подається в бункер, а вихідним – напруга, яка подається на контролер, а потім, через перетворювач частоти, на об'єкт керування (ОК). Так як об'єктом керування є привід пересування бетонороздавача, то вихідним параметром буде його лінійна швидкість.

Керуючим впливом ОК являється напруга, що подається на мотор-редуктор, а збурювальним впливом – сила статичного навантаження від ваги бетонороздавача, ваги бетонної суміші в бункері та сили опору розрівнюючого пристрою. Основним обмеженням, що накладається на вихідну координату, є швидкість надходження бетонної суміші зі стрічкового живильника і швидкість розподілу бетонної суміші у формі.

Проведений розрахунок [10, 11] показав, що загальна потужність, необхідна для пересування бетонороздавача, складає  $N_{\Sigma} = 2,2$  кВт. У зв'язку з тим, що моторредукторів у нас буде два, потужність кожного повинна бути не менше, ніж  $N = 1,1$  кВт. Тому для реалізації було обрано двоступеневий циліндричний мотор-редуктор типу ЗМП-40 з двигуном АИР 80В5 потужністю  $N_{д} = 1,5$  кВт, з номінальним крутним моментом на вихідному валу рівним  $M_{н} = 375$  Н·м.

Важливим елементом для контролю маси бетонної суміші є електронно-тензометричні ваги, що складаються з наступних основних елементів: тензодатчиків (первинних приладів, що показують) та вторинних приладів, а також лінії зв'язку. При тензометричному методі зважування використовується явище тензоефекту – зміна електричного опору дротяної решітки, наклеєною на пружний елемент, при

її деформації під навантаженням. Дія електронних тензометричних ваг заснована на існуванні лінійної залежності між деформацією вантажоприймального вимірювального елемента та зміною його опору.

На зварних тумбах, які знаходяться на рамі бетонороздавача під бункером, будуть розташовані тензодатчики, на яких розмістимо платформу для розташування на ній бункера. Використовуємо тензодатчики в комплекті зі спеціальним модулем вводу сигналу тензодатчиків Seneca Z-SG.

Після попереднього оброблення параметрів двигуна та інших елементів системи була розроблена структурна схема математичної моделі асинхронного двигуна з тензодатчиком (рис. 3).

Для проведення досліджень системи на підставі структурної схеми в програмному середовищі Matlab розроблена обчислювальна модель ОК (рис. 4).

За допомогою моделі були проведені дослідження перехідних процесів об'єкту керування шляхом зміни керуючого та збурювального впливів.

При дослідженні керуючого впливу вхідним сигналом на ОК була напруга, що подається на статорну обмотку АД (рис. 5).

Дослідження проводилися для трьох значень частоти 104, 157, 314 рад/с в «малому» та в «великому». При дослідженні в «малому» частота приймалася як 10% від сталого значення в «великому». Стрибок показує збільшення швидкості за рахунок збільшення частоти.

При дослідженні ОК за допомогою зміни збурювального впливу вхідним сигналом ми залишили напруги таких же частот як і в попередньому випадку, а збурювальним впливом тут була зміна маси.

У нашому випадку це буде збільшення маси (вага бетонороздавача з бетонною сумішшю). За рахунок збільшення маси збільшиться сила статичного навантаження та, відповідно, сила тертя. Швидкість бетонороздавача буде падати (рис. 6).

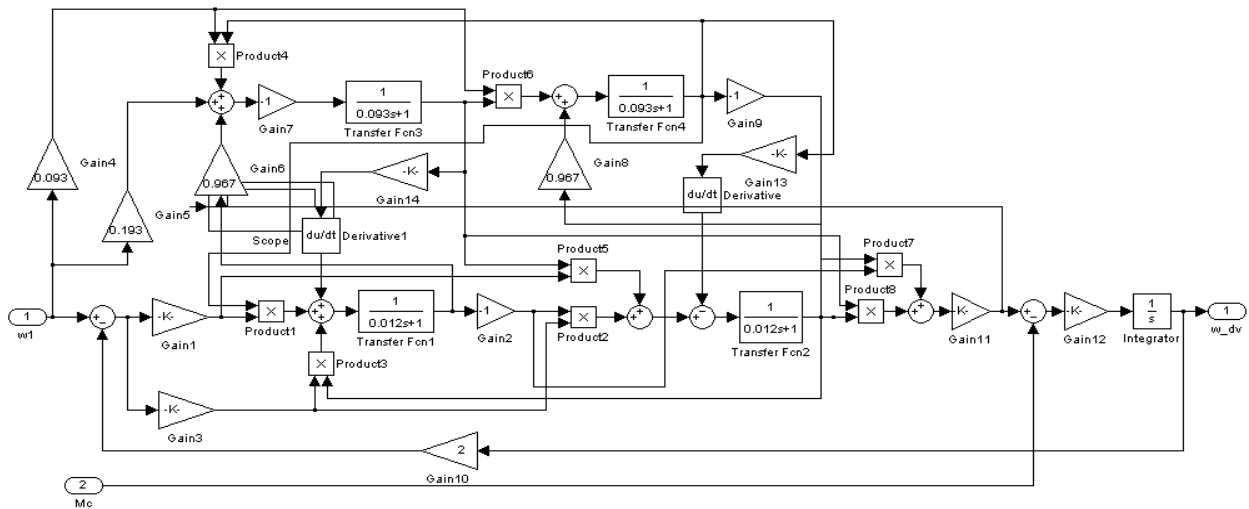


Рис. 3. Структурна схема математичної моделі асинхронного двигуна з тензодатчиком

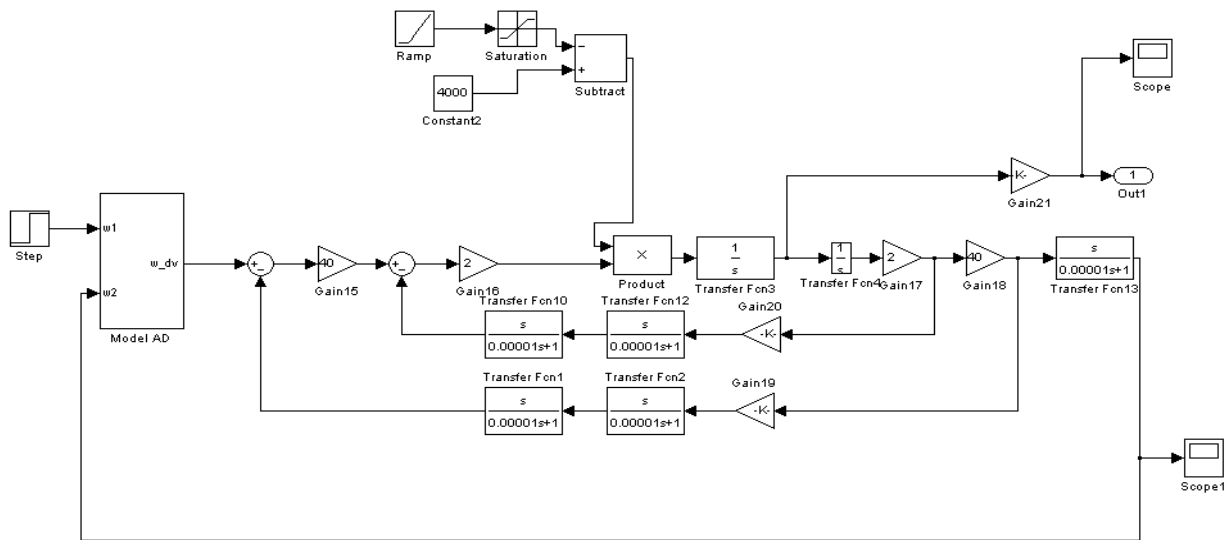


Рис. 4. Обчислювальна модель ОК в програмному середовищі Matlab

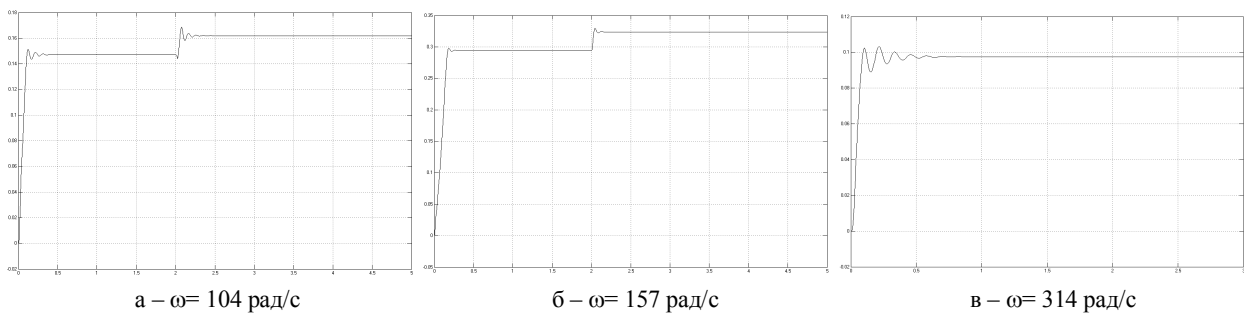


Рис. 5. Дослідження ОК при зміні керуючого впливу

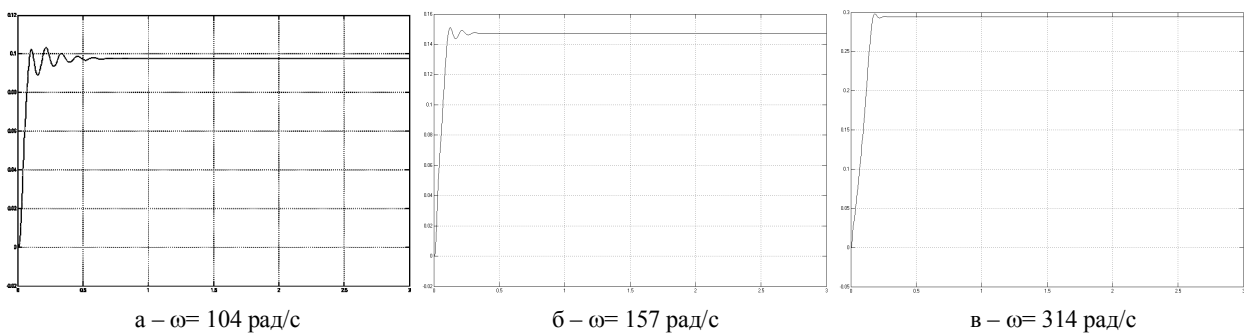


Рис. 6. Дослідження ОК при зміні збурювального впливу



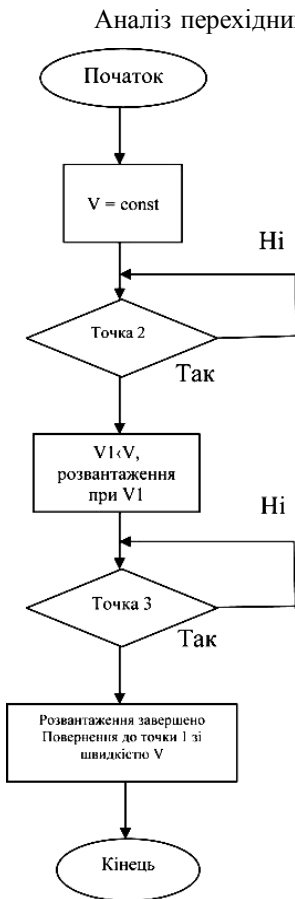


Рис. 7. Алгоритм функціонування САК

розроблено програму для контролера.

### Технічна реалізація розробленої САК

На верхню раму бетонороздавача встановлюються чотири тензодатчики типу ВАМ350-2ЕВ, які з'єднуються в коло. Поверх датчиків встановлюється сталевая платформа, на якій розміщується бункер. Датчики підключаються по мостовій схемі через модуль Z-SG (рис. 8).

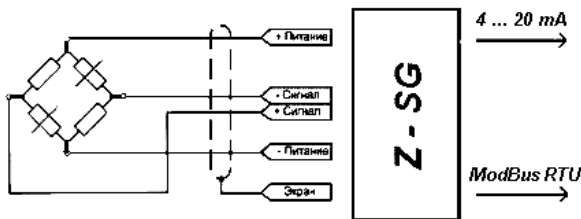


Рис. 8. Схема підключення вагового модуля

Модуль введення сигналів тензодатчиків Seneca Z-SG – це пристрій, що перетворює сигнал від тензодатчика в уніфікований сигнал по струму або напрузі. Додатково передача даних здійснюється по цифровому каналу ModBus RTU, що дозволяє з високою швидкістю (до 115200 біт/с) та на достатньо великі відстані передавати дані тензометричного датчика до програмуючих контролерів. Наявність такого каналу дозволяє здійснювати своєчасний запуск та зупинку виконавчих механізмів в ваговимірювальних дозуючих системах. Похибка перетво-

рювача Seneca Z-SG не перевищує 0,01%. Наявність зовнішніх LED індикаторів (живлення, збій/помилка, передача даних, прийом даних) на модулі введення полегшує контроль стану системи.

З перетворювача сигналів тензодатчиків електричний сигнал йде на програмований логічний контролер (ПЛК) серії Master. Такі спеціалізовані контролери компанії Інсат СПБ застосовуються для безперервного та дискретного вагового дозування сипучих та рідких компонентів. Вузька спеціалізація цих контролерів, вбудовані алгоритми високоточного дозування дозволили досягти дуже гарного співвідношення ціна/функціональність. Дозуючі та вагові контролери Master застосовуються для автоматизації систем дозування: одного- та багатоконпонентного вагового безперервного дозування; вагового введення рідких компонентів як дискретного, так і безперервного.

Сигнал з контролера надходить на перетворювач частоти SEW-EURODRIVE MOVIMOT, що вбудований в спеціальний клемник двигуна, з якого сигнал певної частоти надходить на двигун, виконуючи процес регулювання. MOVIMOT – це базовий компонент для децентралізованих приводних систем, а також гарна заміна механічного варіатора або двохшвидкісного двигуна.

Відмінні особливості цієї серії: номінальна потужність двигуна від 0,37 до 3 кВт, живлення 3-фазна мережа 380 В, діапазон регулювання 1:5 або 1:10 з постійним моментом в режимі S1 100%, оптимальне керування двигуном з гальмом – не потрібні додаткові контактори та гальмівні випрямлячі.

В якості цифрового перетворювача обрано цифровий електронний підсилувач фірми НВМ (Німеччина) AD 105, що має 2-х провідний напівдуплексний послідовний інтерфейс RS-485, здійснює цифрову фільтрацію і масштабування вимірювального сигналу.

Режим роботи двигуна задається початковим налаштуваннями частотного перетворювача та збудовальною дією тензодатчиків, які вмикаються через аналогово-цифрові перетворювачі, що перетворюють аналоговий сигнал в сигнал цифрових кодів, котрі поступають на порт вводу мікроконтролера та вбудованого алгоритму переміщення. При зміні ваги бетонної суміші тензометричні ваги передають сигнал на уповільнення чи збільшення швидкості двигуна, виконуючи тим самим процес регулювання. Це й дає підвищення продуктивності роботи всього бетонороздавача.

Доведена економічна ефективність від проведеної модернізації, очікуваний економічний ефект складає близько 17500 грн, а термін окупності – близько 2 років [10].

### Висновки

1. Проведений аналіз показує, що питання процесу укладання бетону недостатньо досліджені, контроль кількості бетону або відсутній, або недостатній. Практично відсутні дані про використання частотно-регульованого електроприводу в технології укладання бетону. Проаналізувавши конструкцію та принцип роботи бетонороздавача, автори прийшли

до висновку, що найбільш гостро потребує модернізації механізм переміщення цього пристрою.

2. Запропоновано підвищити енергетичну ефективність пристрою шляхом зменшення енергозатрат при застосуванні частотно-регульованого електропривода механізму переміщення на базі АД з короткозамкненим ротором.

3. В роботі по модернізації бетонодозадача проведена заміна застарілого привода пересування у вигляді двигуна, редуктора і ланцюгової передачі на мотор-редуктор, що дозволяє звільнити місце для установок контролерів, датчиків, перетворювачів частоти і, тим самим, автоматизувати систему. Розрахована потужність приводу пересування бетонодозадача, обрано мотор-редуктор, розроблена схема керування електроприводом на базі ПЛК.

4. Розроблена математична модель ОК, за допомогою якої проведені дослідження перехідних процесів об'єкту керування шляхом зміни керуючого та збурювального впливів. Аналіз перехідних процесів показує, що розроблена система на всіх частотах має незначне перерегулювання, малу коливальність, достатньо високу швидкодію та задовольняє вимогам пересування бетонодозадача.

5. Розроблений алгоритм функціонування системи автоматичного керування бетонодозадачем, на базі якого побудована програма для ПЛК.

6. Проведена технічна реалізація САК, обрані необхідні елементи та пристрої.

7. Розрахована авторами економічна ефективність від проведеної модернізації довела її доцільність.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Якименко О. В. Технологія будівельного виробництва : навч. посібник / О. В. Якименко; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ, 2016. – 411 с.
2. Іщук О. О. Конспект лекцій з дисципліни «Організація технологічних процесів на підприємствах будівельної індустрії» / О. О. Іщук, О. В. Безусяк. – Рівне : НУВГП, 2010. – 182 с.
3. Кравцов А. И. Проектирование предприятий по производству бетонных и железобетонных конструкций: учебное пособие / А. И. Кравцов – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2016. – 196 с.
4. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: Підручник / І.В.Ельперін, О.М.Пупена, В.М.Сідлецький – К.: Ліра К, 2017. – 378 с.
5. Кондращенко О. В. Матеріалознавство : навч. посібник / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2007. – 182 с.
6. Колбасин А.М., Либенко А.В. Принципы связанного дозирования многокомпонентных смесей //А.М.Колбасин, А.В. Либенко. Новые технологии в автоматизации управления. Сб. науч. тр. МАДИ. – М. 2006, С. 73-75.
7. Колбасин А.М. Комбинированная система управления дозатора непрерывного действия //А.М. Колбасин, А.В.Илюхин, В.И.Марсов, Динь Ан Нинь. «Вестник МАДИ».– М. 2014, С. 69-72.
8. Попович М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч.посібник / М.Г.Попович, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; за ред. М.Г.Поповича. – К.: Либідь. –2005. – 680 с.
9. Макаров А.М. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока : учеб. пособие / А. М. Макаров, А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, Ю. П. Сердобинцев – Волгоград : ВолГГТУ, 2016. – 192 с.
10. Shefer O. Optimization of electric energy use in telecommunication objects under the conditions of non-linear loading / O. Shefer, V. Topikha, V. Shefer, O. Zhurkin // Systems of control, navigation and communication. – Poltava: PoltNTU, 2019. – no. 2 (54). – pp. 51-54.
11. Буркун Я. Р. Удосконалення САК електроприводом бетонодозадача: автореферат магістерської роботи / Я.Р. Буркун. – Полтава, ПолтНТУ, 2019. – 8 с.

Received (Надійшла) 17.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2020

#### Development of a modern system for automatic control of a concrete distributor electric drive

N. Yermilova, S. Kyslytsia, Y. Burkun, A. Goncharov

**Abstract.** Analyzing the features of the design, principle of operation and electric drive of the concrete mixer type SMZH-69A, the authors came to the conclusion that the mechanism of movement of this device and its control system most urgently needed modernization. In order to increase the efficiency of work, it is proposed to use a frequency-controlled electric drive of the mechanism of movement on the basis of an asynchronous motor with a short-circuited rotor. It is recommended to replace the outdated displacement actuator in the form of an engine, gearbox and chain drive on the motor-gearbox, which will allow space for the installation of controllers and other automatic control system equipment. A modern motor-gearbox has been selected for the mechanism of movement of the concrete spreader, a PLC-based electric drive control scheme has been developed. It is proposed to use a tensometric method of weighing the concrete mixture, for which a hopper with a concrete mass is mounted on the strain gauges. When filling the hopper of the concrete spreader to a certain mass, the signal from the load cells is sent to the controller, after which the program starts to work. The input signal is the mass of the concrete mixture fed into the hopper, and the output signal is the voltage applied to the controller and then, via the frequency converter, to the control object - the drive of the concrete dispenser. The controlling influence of the control object (CO) is the voltage applied to the gear reducer, and the disturbing influence is the static loading force from the weight of the concrete spreader, the weight of the concrete mixture in the hopper and the resistance force of the damper. An CO computational model was developed to investigate the transients of a control object by changing its control and disturbance influences. Analysis of transients has proven the efficiency and quality of the control system. The algorithm of functioning of the automatic control system of the concrete dispenser is developed, on the basis of which the program for the PLC, is developed. The technical implementation of the ACS was carried out, the necessary elements and devices were selected. The economic efficiency of the modernization carried out by the authors proved its expediency.

**Keywords:** control system, concrete dispenser, load cell, mathematical model, disturbance.

С. Г. Кійко<sup>1</sup>, Є. А. Дружинін<sup>2</sup>, О. В. Прохоров<sup>2</sup><sup>1</sup> ПрАТ Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А. М. Кузьміна, Запоріжжя, Україна<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Анотація.** Розроблено багаторівневу модель енергоспоживання металургійного підприємства, яка дозволяє оцінити ефективність відібраних до реалізації енергозберігаючих проєктів, об'єктивно оцінити частку кожного енергоресурсу в загальному потоці, визначити енергоємність окремого виробництва, цеху, всього підприємства, скорегувати стратегічний напрям в управлінні енергоресурсами. За допомогою моделі можливе вирішення цілого ряду завдань, серед яких оцінка раціональності та ефективності існуючої на підприємстві структури енергоспоживання, прогнозування очікуваних рівнів енерговитрат при зміні технології, сортаменту і якості продукції та порівняння різних технологій і обладнання з точки зору енергоефективності, оптимальне управління потоками енергоносіїв з урахуванням зміни умов виробництва.

**Ключові слова:** планування енергоспоживання, енергоресурси, прогнозування, портфель проєктів енергозбереження, металургійне підприємство.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Металургійні підприємства є великими споживачами електричної і теплової енергії, тому вирішення завдань енергозбереження неможливо без розроблення комплексної програми і портфеля проєктів за основними напрямками енергозбереження з обов'язковою координацією їх з програмою розвитку основного виробництва. Гострота вирішення цих питань викликана необхідністю поліпшення економічної стабільності підприємств, підвищення конкурентоспроможності продукції та зменшення залежності від постачальників енергоресурсів.

При цьому наявність цілісної моделі енергоспоживання дозволить оцінити ефективність відібраних проєктів реалізації енергозберігаючих заходів, об'єктивно оцінити частку кожного енергоресурсу в загальному потоці, визначити енергоємність окремого виробництва, цеху, всього підприємства, скорегувати стратегічний напрям в управлінні енергоресурсами. В цілому, структура споживання енергії на металургійному підприємстві орієнтована в основному на використання палива, яке широко використовується на всіх стадіях металургійного виробництва.

У той же час, на підприємствах, що виплавляють сталь в дугових сталеплавильних печах (ДСП) (яким є ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь»), в тому числі з неповним циклом виробництва, наприклад, міні-металургійних заводах, структура паливно-енергетичного балансу базується в основному на використанні електроенергії (рис. 1). Однак на таких підприємствах також використовується і енергія природного палива, переважно природного газу, який використовується в газокисневих пальниках як для підігріву металобрухту перед завантаженням в піч, так і безпосередньо в самій печі для прискорення процесу плавки.

Структура споживання електроенергії і котельно-пічного палива основними виробництвами представлені на рис. 2 і 3.

Таким чином, найбільш енергоємним є доменне і прокатне виробництва, в яких споживається і найбільша кількість пічного палива. У той час як електроенергія в якості основного ресурсу використовується для виплавки сталі в електропечах і при виробництві кисню.

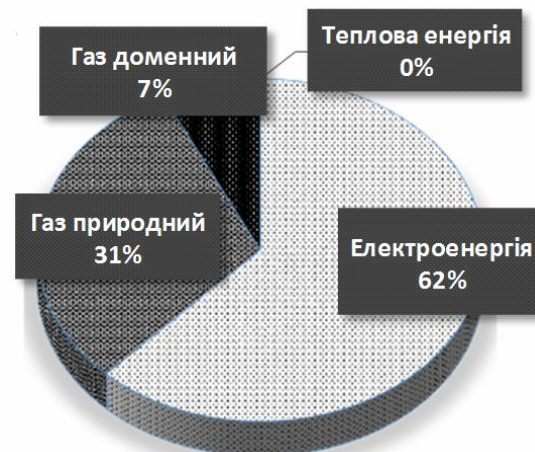


Рис. 1. Структура споживання енергії у % на «Дніпроспецсталь»

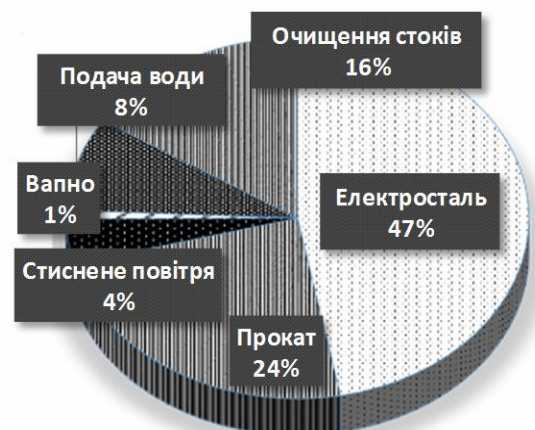


Рис. 2. Структура споживання та розподілу електроенергії у % основними виробництвами на «Дніпроспецсталь»

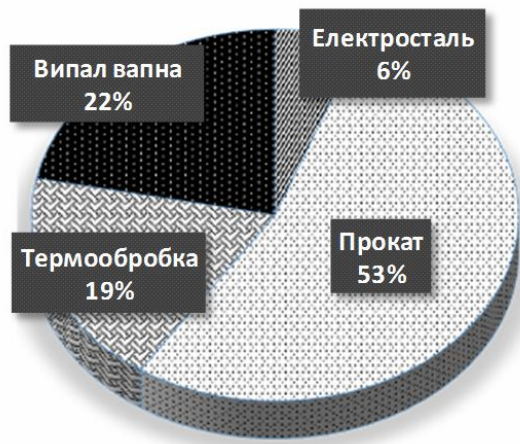


Рис. 3. Структура споживання та розподілу котельно-пічного палива у % основними виробництвами на «Дніпроспецсталь»

Витрати енергії на виробництво продукції визначаються енергоємністю, яка є одним з найважливіших показників виробництва, оскільки визначає його ефективність і безпосередньо впливає на собівартість продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню проблеми планування і управління енергоспоживанням на промислових підприємствах присвячена велика кількість робіт. Найважливішими завданнями при плануванні та управлінні енергоспоживанням на металургійному підприємстві є завдання нормування і прогнозування витрат електроенергії. Обґрунтовані норми споживання електроенергії дозволяють здійснювати прогноз електроенергії для окремих підрозділів і підприємства в цілому, здійснювати контроль ефективності використання електричної енергії конкретним підрозділом (на конкретному агрегаті), а також визначати ділянки неефективного енергоспоживання [1].

В роботі [2] на основі математичного моделювання вирішується завдання нормування електроенергії багатонаменклатурного хімічного підприємства при змінюваних обсягах виробленої продукції з достатньою точністю при мінімумі інформації про структуру підприємства.

В роботі [3] сформульовані основні проблеми управління електроенергією і енергозбереженням в металургійному виробництві, розглянуті завдання нормування, планування енерговитрат за рівнями управління. Авторами запропонований метод прогнозування витрат енергоресурсів, заснований на побудові регресійних моделей з включенням фактору часу.

Рішення завдання прогнозування електроенергії на основі багатфакторного регресійного і кореляційного аналізів наведено в роботах [4; 5].

В роботі [6] дана математична постановка задачі оптимального прогнозу споживання газу на металургійному підприємстві по техніко-економічних критеріях, яка зведена до спеціалізованої задачі нелінійного математичного програмування.

Останнім часом стали популярні методи машинного навчання для побудови моделей прогнозу-

вання споживання енергії. Детальний огляд сучасного стану моделей машинного навчання, які використовуються для завдання прогнозування енергоспоживання на підприємствах представлений в роботі [7]. У роботі [8] наведено систему моделей для прогнозування енергоспоживання металургійного підприємства на основі врахування кореляційно-регресійних взаємозв'язків трендів показників для формування динамічної оцінки якості балансу при реалізації принципу дотримання економічних інтересів і елімінування негативних процесів при перспективному енергоспоживанні.

Робота [9] присвячена обговоренню факторів, що впливають на енергоефективність та рішення щодо збереження, та найбільш підходящу політику їх просування. Поняття та проблеми енергоефективності, також зв'язки між конкретними практиками управління та енергоефективністю на рівні підприємства висвітлюються у [10].

Деякі особливості моделювання енергоспоживання на верхньому рівні управління розглядаються в роботі [11]. Авторами визначено основні закономірності формування енергоспоживання на металургійних підприємствах. В роботі [12] використовуються гібридні мережі Петрі для моделювання та аналізу металургійних процесів. Динамічний потік матеріалів і зміни в реальному часі кожного технологічного стану в металургійному процесі наочно моделюються за допомогою цієї моделі.

Наведений огляд літератури показує, що проблема прогнозування енергоспоживання (в більшій мірі електроенергії) з використанням математико-статистичних моделей і методів аналізу достатньо вивчена. Однак конкретно для металургійного виробництва завдання створення моделей планування та прогнозування споживання всіх видів енергоресурсів продовжує залишатися важливою і актуальною.

**Мета статті** – розроблення моделі багаторівневого прогнозування енергоспоживання, яка враховує динаміку споживання ресурсів і заснована на оптимізації енергетичних характеристик роботи підрозділів підприємства з заданою точністю за критерієм мінімуму техніко-економічних витрат.

### Модель планування енергоспоживання на металургійному підприємстві

Виробництво сталі на ПрАТ «Електрометалургійний завод» Дніпроспецсталь» ім. А.Н. Кузьміна представлено чотирма сталеплавильними цехами. У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч. В основному сталеплавильному цеху виплавка сталі ведеться у відкритій електродуговій печі, з наступною продувкою в аргонокіслородному конвертері і обробкою на установці піч-ківш. Для потреб виробництва і побуту на підприємстві використовується газоподібне і тверде паливо. Природний газ використовується на виробничі потреби в якості котельно-пічного палива. Доменний газ використовується для виробничих потреб в суміші з природним газом.

Власних джерел теплової енергії (пара і гарячої води) для виробничих потреб підприємство не має і отримує її з боку. Аргон використовується в сталеп-

плавильному виробництві при виплавці і розливанні стали. Продукти поділу повітря – стиснене повітря, азот, кисень – власного виробництва.

Структура виробництва «Дніпроспецсталь», види споживаних паливно-енергетичних ресурсів та енергетичні потоки представлені на рис. 4.

Багаторівнева модель планування енергоспоживання металургійного підприємства при реалізації портфеля проектів енергозбереження представлена на рис. 5.

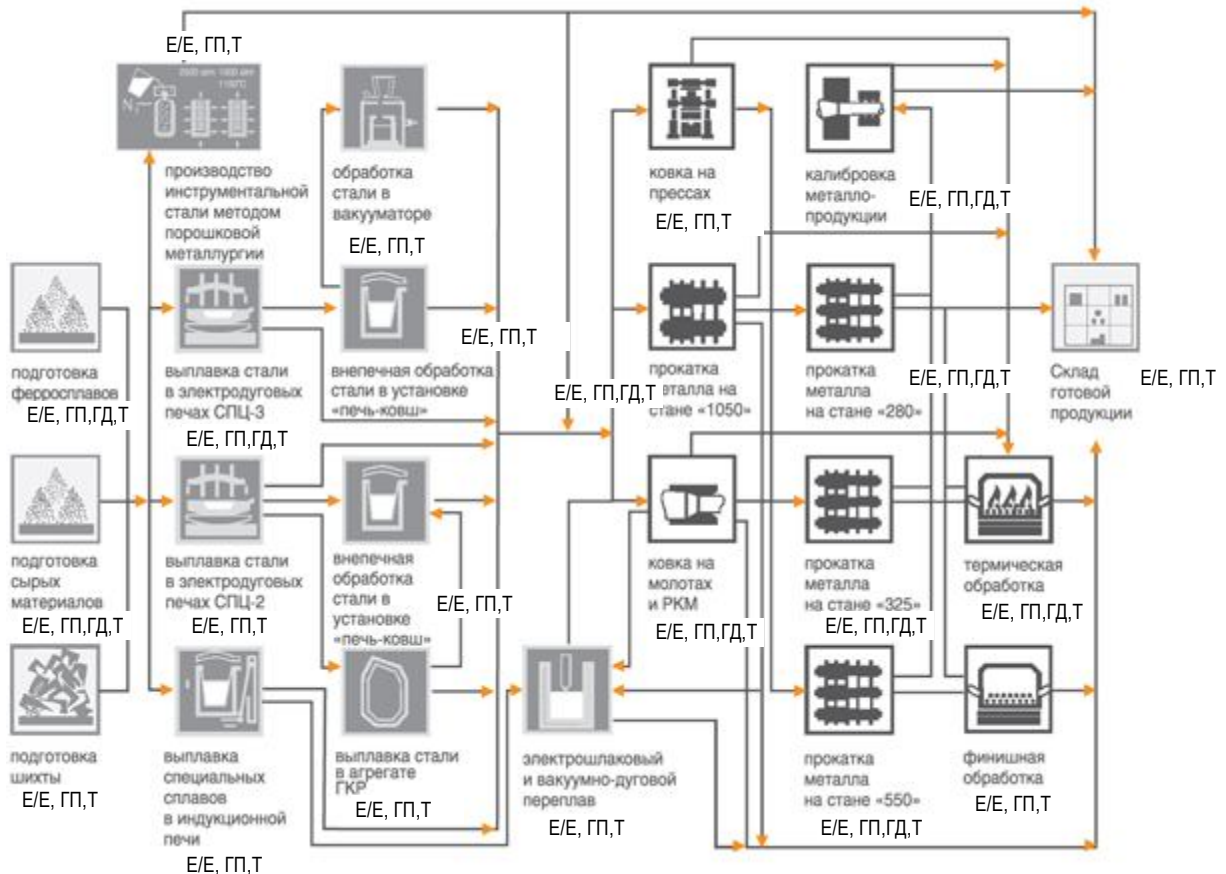


Рис. 4. Структура виробництва «Дніпроспецсталь» та споживання паливно-енергетичних ресурсів:  
E/E – електроенергія; ГП – газ природний, ГД – газ доменний, Т – тепло

- стратегічне вирівнювання – гарантування того, що фіксований обсяг ресурсів при виконанні проектів підприємства буде витрачатися відповідно до досягненням стратегічних цілей підприємства. Тут здійснюється перехід до більш зрілих моделей управління проектами оскільки, до основних показників проекту – вартість, час і якість – додається ще один показник – відповідність стратегії;

- пріоритизація – ранжування проектів портфеля для досягнення найкращого балансу між потребами в ресурсах і їх наявністю. У цьому завданні розподіл ресурсів між проектами буде відбуватися відповідно до встановлених пріоритетів проектів. У найпростішому випадку, ця технологія виділяє ресурси проектам з найбільшим пріоритетом відповідно енергоефективності, а ті проекти, яким ресурсу не вистачає – призупиняє;

- реалізація – гарантування того, що в умовах наявних потреб і достатності обмежених ресурсів

Основні розв'язувані завдання при управлінні портфелем проектів енергозбереження:

- оптимізація – розподіл ресурсів з метою максимізації цінності портфеля з урахуванням таких його показників, як рентабельність, ROI, NPV, IRR, ризик і ін.;

- балансування – досягнення бажаної рівноваги ресурсів в проектах через такі параметри як ризик і ROI, короткостроковість і довгостроковість проекту і інше;

будуть досягнуті результати проекту та планові показники за термінами, вартості та якості.

У багаторівневій моделі планування енергоспоживання металургійного підприємства можна виділити три організаційних рівня (споживання енергії на загальнозаводському, загальногосподарському і технологічному рівнях) і два рівня тимчасового планування (місячне і добове планування).

На підприємстві є прилади обліку, які вимірюють фактичне споживання енергоресурсів. У загальному випадку існує неузгодженість або небаланс між фактичним енергоспоживанням підприємства і сумарним фактичним енергоспоживанням окремих підрозділів.

На основі інформації, що надходить від виробничих підрозділів, про фактичні дані місячних обсягів виробництва (з урахуванням продуктивності прокатних станів кожного типу; числа годин роботи і простоїв кожного стану тощо) і місячного споживання

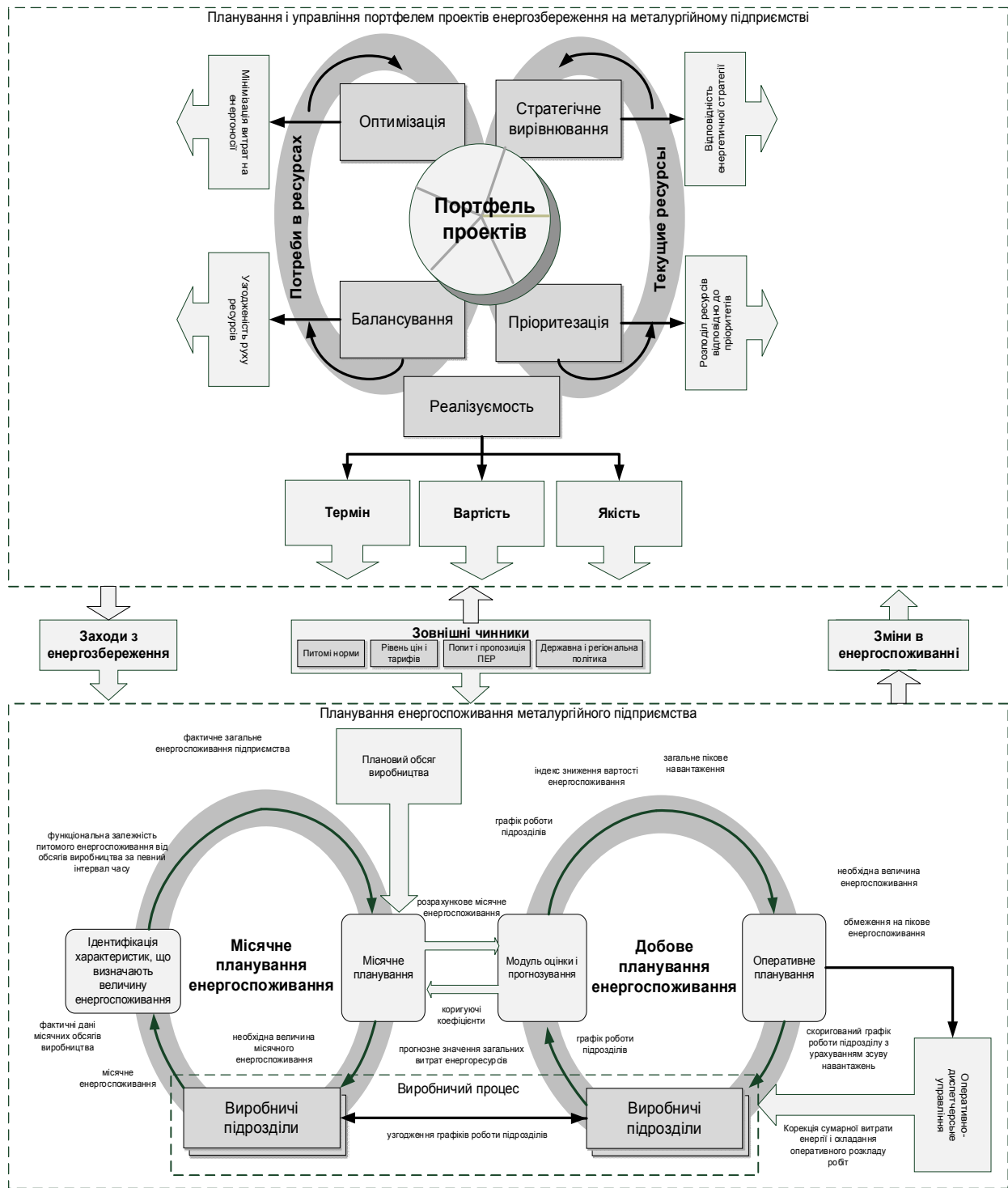


Рис. 5. Багаторівнева модель планування енергоспоживання при реалізації портфеля проектів енергозбереження

енергоресурсів (витрата електроенергії всіма споживачами підприємства, споживання природного і доменного газу в основному виробництві, інших виробництвах і втрати, теплоспоживання в вигляді технологічної пари, гарячої води на сантехнічні потреби тощо) визначаються характеристики питомого енергоспоживання як функції від обсягів виробництва:

$$W_{ij}^k = f(N_{ij}),$$

де  $W_{ij}^k$  – питома витрата енергії  $k$ -го виду (Е/Е – електроенергія; ГП – газ природний, ГД – газ до-

менний, Т – тепло)  $i$ -го виробничого підрозділу підприємства за  $j$ -й інтервал часу;  $N_{ij}$  – кількість продукції, виробленої  $i$ -м виробничим підрозділом за  $j$ -й інтервал часу.

На основі інформації про планові обсяги виробництва та отриманих характеристик режимів роботи обладнання виробничих підрозділів здійснюється прогноз місячного енергоспоживання підрозділом. Отримана розрахункова величина прямує в модуль оцінки і прогнозування. Тут вирішується завдання мінімізації загальної помилки прогнозу споживання

енергії кожного виду підприємством, яке засноване на неузгодженості значень фактичного загального споживання енергії підприємством, що визначається за показниками приладів обліку, і розрахункових сумарних витрат енергоресурсів.

Мінімізація небалансу значень здійснюється на основі корекції сумарної витрати енергоресурсів шляхом розрахунку коригуючих коефіцієнтів методом найменших квадратів. Отримані коригуючі коефіцієнти прямують назад в підсистему місячного планування, а прогнозні обсяги місячного енергоспоживання задаються підрозділам як необхідні величини. Узгоджені підрозділами графіки роботи передаються в модуль оцінювання та прогнозування. Тут здійснюється інтегральна оцінка якості графіків роботи підрозділів на основі введених показників оцінки енергоефективності.

В якості критеріїв для оцінки ступеня задоволення сформульованих вимог енергоефективності використовуються наступні:

1. Енергетичний критерій – приведена витрата покупних енергоресурсів, споживаних металургійним підприємством, в тоннах умовного палива, що визначається за формулою

$$B_{ГПР} = 1.57 \cdot B_{zn}^K + 0.143 \cdot B_m^K + 0.123 \cdot E,$$

де  $B_{zn}^K$  – місячна витрата природного газу, що безпосередньо витрачається всіма споживачами підприємства, т;  $B_m^K$  – місячна витрата тепла, що витрачається всіма споживачами підприємства, Гкал;  $E$  – місячне споживання підприємством електроенергії, тис. кВт·ч.

2. Економічний критерій – сума витрат на приведену витрату умовного палива, грн/міс, що визначається за формулою

$$C_{np} = B_{zn}^K \cdot C_{zn} + B_m^K \cdot C_m + E \cdot C_e,$$

де  $C_{zn}$ ,  $C_m$ ,  $C_e$  – відповідно ціни на природний газ, тепло і електроенергію.

Таким чином, можна вирішувати завдання мінімізації витрат енергоресурсів, мінімізації вартості споживання енергоресурсів або мінімізації приведених витрат на виробництво заданої плану продукції.

Інформація про пікові величини теплового та електричного навантаження, графіки роботи підрозділів, їх якості надходять в блок оперативного планування. Тут здійснюється складання оперативного розкладу робіт за критерієм мінімуму ухилення поточного енергоспоживання від заявленого графіка. Наприклад, на підвищення або зниження обсягу споживаних газів може впливати і збій допоміжного обладнання, і поставка поганої сировини, і зміна сортаменту, і форс-мажор у вигляді значного морозу.

Рішення задачі моделювання починається з встановлення взаємозв'язків між обраними параметрами для оптимізації на основі складання системи рівнянь матеріальних і енергетичних балансів. Балансові рівняння записуються для розрахункових (максимальних) значень теплових навантажень, електричної потужності і витрати палива, які визначали за показниками, заданими у вихідних даних за допомогою числа годин використання зазначених енергетичних показників.

Побудова такої моделі дає можливість обґрунтувати залежність питомих витрат енергоресурсів від будь-якого з об'єктивних чинників.

### Результати експериментів

Динаміка розрахункових і фактичних значень добового електроспоживання та помісячних витрат природного газу по цехах і підрозділах ПрАТ «Дніпророспецсталь» приведена на рис. 6 і 7 відповідно.

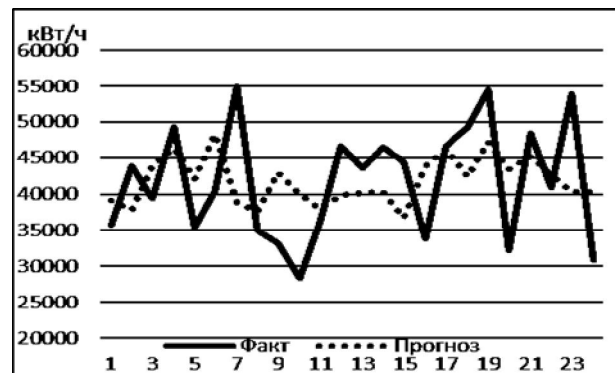


Рис. 6. Добовий прогноз і споживання електроенергії ПрАТ «Дніпророспецсталь» за 08.09.19

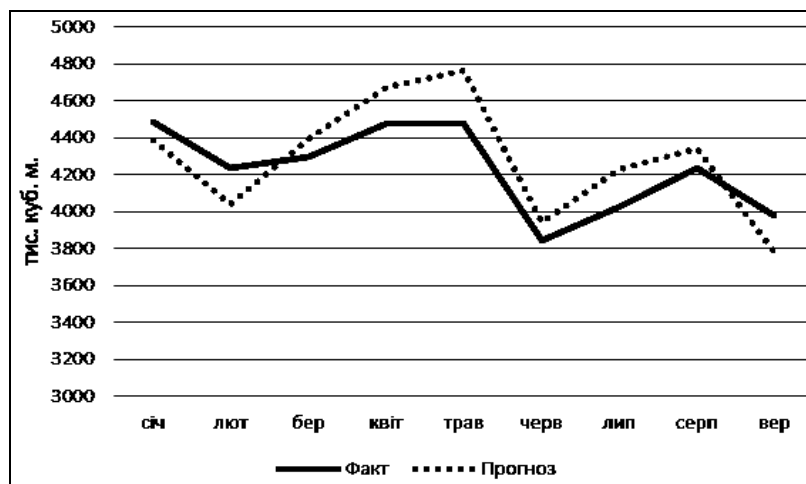


Рис. 7. Помісячний прогноз і споживання природного газу ПрАТ «Дніпророспецсталь» за 2019 рік

## Висновки

Запропоновано багаторівневу модель прогнозування енергоспоживання, засновану на оптимальній побудові енергетичних характеристик із заданою точністю по техніко-економічним критеріям.

За допомогою моделі можливе вирішення цілого ряду завдань, серед яких оцінка раціональності та ефективності існуючої на підприємстві структури енергоспоживання, прогнозування очікуваних рівнів енерговитрат при зміні технології, сортаменту і якості продукції та порівняння різних технологій і обладнання з точки зору енергоефективності,

оптимальне управління потоками енергоносіїв з урахуванням зміни умов виробництва тощо.

Моделювання та оцінка якості паливно-енергетичного балансу підприємства дозволяє за допомогою вихідних динамічних нормативів отримати певну систему похідних динамічних нормативів для адаптивного регулювання енергетичних активів металургійного підприємства, що забезпечує реалізацію ефективної стратегії енергоменеджменту металургійного підприємства при відборі проєктів для стратегічного планування підвищення енергоефективності та енергозбереження виробництва.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаров А.Я. Нормирование потребления топлива и энергии в черной металлургии [Электронный ресурс] // Журнал главного инженера. – № 6. – 2019. – Режим доступа: <http://gl-engineer.com/articles/normirovanie-potrebleniya-topliva-i-energii-v-chnoy-metallurgii>
2. Федотов А.И. Нормирование электропотребления на основе математического моделирования / А.И. Федоров, Г.В. Вагапов // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 9-10. – С. 130-133.
3. Никифоров, Г.В. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве / Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 480 с.
4. Bianco V. Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models / V. Bianco, O. Manca, S. Nardini // Energy. – 2009. – № 34. – pp. 1413-1421.
5. Dordonnat V. Dynamic factors in periodic time-varying regressions with an application to hourly electricity load modeling / V. Dordonnat, S.J. Koopman, M. Ooms // Computational Statistics and Data Analysis. – 2012. – №56. – pp. 3134-3152.
6. Казаринов Л.С. Оптимальное прогнозирование потребления топливных газов на металлургических предприятиях / Л.С. Казаринов, Л.А. Копцев, И.А. Япрынцева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – №7(79). – 2007. – С. 24-26.
7. Mosavi A. Energy Consumption Prediction Using Machine Learning; A Review [Электронный ресурс] / A. Mosavi, A. Bahmani // Preprints 2019. – Режим доступа: <https://www.preprints.org/manuscript/201903.0131/v1/download>
8. Koksharov V.A. Theoretical-methodological basis of formation of the enterprise strategy improving energy efficiency / V.A. Koksharov // European Science and Technology: materials of the X International research and practice conference, Vol. I. Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, Munich, Germany. – 2015. – pp. 143-148.
9. Linares P. Energy efficiency: Economics and policy / P. Linares, X. Labandeira // Journal of Economic Surveys. – 2010. – № 24(3). – P. 573-592.
10. Anatomy of a paradox: Management practices, organizational structure and energy efficiency / R. Martin, M. Muûls, L. B. De Preux, U. J. Wagner // Journal of Environmental Economics and Management. – 2012. – № 63(2). – P. 208-223.
11. Shemetov A. Identification of the electricity consumption of metallurgical enterprises at the highest levels of management / A. Shemetov. – 2005. – pp. 135-140.
12. Yujuan R. Modeling and Simulation of Metallurgical Process Based on Hybrid Petri Net / R. Yujuan, H. Bao // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – P. 157.

Надійшла до редколегії 14.11.2019

Схвалена до друку 12.02.2020

### Energy consumption planning model of metallurgical enterprise

S. Kiyko, E. Druzhinin, O. Prokhorov

**Abstract.** A multilevel model of energy consumption of a metallurgical enterprise has been developed, which allows to evaluate the efficiency of energy-saving projects selected for implementation, objectively assess the share of each energy resource in the total flow, determine the energy intensity of an individual production, workshop, the whole enterprise, and adjust the strategic direction in energy management. In the multilevel model of energy consumption planning of a metallurgical enterprise are three organizational levels (energy consumption at the general production, workshop and technological levels) and two levels of time planning (monthly and daily planning). The goal of an energy management strategy is to minimize overall operating costs, which include energy costs, recorded peak load costs, and incremental operating costs associated with load shifts. Using the model, it is possible to solve a number of problems, including assessing the rationality and efficiency of the energy consumption structure at the enterprise, predicting the expected levels of energy consumption when changing the technology, assortment and quality of products and comparing various technologies and equipment from the point of view of energy efficiency, optimal management of energy carrier flows taking into account changes in production conditions etc. Modeling and evaluating the quality of the fuel and energy balance of the enterprise allows using a source of dynamic standards to obtain a specific system of derivatives of dynamic standards for adaptive regulation of energy assets of a metallurgical enterprise, ensuring the implementation of an effective energy management strategy for a metallurgical enterprise in the selection of projects for strategic planning to improve energy efficiency and energy saving of production.

**Keywords:** energy planning, energy resources, forecasting, portfolio of energy saving projects, metallurgical enterprise.



V. Kononov, Y. Kushnyeruk, S. Rak

Kharkiv National University named after Air Force. Ivan Kozhedub, Kharkov

## DEVELOPMENT GAUGE FOR CONTROL PARAMETERS RADIATION ELECTROMAGNETIC FIELDS

**Abstract.** The subject study of the article is to measure electromagnetic fields to determine their impact on the human body. The article is research process develop measuring devices for monitoring parameters of radiation of electromagnetic fields. The problem to be solved – justification of technical solutions and their implementation in practice allow accurate measurements to know the presence and location of malicious artificial electromagnetic radiation and the extent of their impact on the human body by applying a gauge to monitor the parameters of the radiation of electromagnetic fields. The paper considered: the structure of the device control parameters of the radiation of electromagnetic fields; studied the work of two-channel analog-to-digital converter; investigated electric circuit device using a Hall element and field instrumentation amplifier; investigated circuit input stage device using silicon element Hall and operational amplifier; investigated temperature compensation circuit with reference interchange power at the source voltage EX. Conclusion: The proposed technical solution should be used when developing the measuring device to control the parameters of the radiation of electromagnetic fields.

**Keywords:** electromagnetic, radiation device, element Hall.

### Introduction

Formulation of the problem.

Monitor environment using special equipment allows to accurately know the presence and location of malicious artificial electromagnetic radiation and the extent of their impact on the human body. In society there is a need for a measuring device, which would allow to receive and visualize information on electromagnetic radiation around the clock without human assistance and fix it.

Thus, the issue of development of devices for control of parameters of radiation of electromagnetic fields is relevant scientific applications, due to the constant increase in requirements for obstruction of the harmful effects of electromagnetic radiation on humans.

### Analysis of the literature

Principles and organizational framework metrological software and the role and place metrological support in Ukraine, set out in the Act Ukraine "On metrology and metrological activity" [1] ISO 2681-94. Metrology, Terms and Definitions[2], the ISO [3, 4].

The article [5] analyzed the most common types of transducers magnetic field to determine the direction of impact at the source of the magnetic field and determined that the most common is ferromagnetic field. The article [6] The possibility of using fiber-optic Fabry - Perot. In [7] proposed a quantitative approach to assessing the impact of metrological reliability of measuring instruments during believe the eye works.

The literature [8 - 12] laid the foundations of the operation of measuring instruments are set out in the literature.

At the same time remain open issues related to the development of devices to control the parameters of radiation of electromagnetic fields.

**The article** is the study of the development process measuring device to control the parameters of radiation of electromagnetic fields.

### Core material

Consider the development process measuring device, including gaussmeters to control the parameters of the radiation of electromagnetic fields. Determine the structure of the device is as follows: sensor - the sensor-MCC Hall 0.5A; input power - power from AD623; Analog to Digital Converter - ADC based on the ADS1286; software that manages a computer - a program based on lab VIEW. Hall sensor creates a voltage level mV. Normalizing amplifier amplifies this voltage to the operating voltage analog-to-digital converter and shifting the working point to measure bipolar magnetic field. Analog-to-digital converter converts analog voltage level into digital code for computer input via com-port using that operates on lab VIEW. The program that controls, makes the necessary changes and displays it on the screen. Consider a real pilot scheme amp input for a specific instance of Hall sensor MCC-0.5A. Where is:

- gain a scheme

$$G = 1 + 100 \text{ ohms} / R1 = 23; \quad (1)$$

- initial shift

$$U = 1,8 \text{ mV} \cdot G = 40 \text{ mV} = 0.04 \text{ V}. \quad (2)$$

In this case estimated value of magnetic induction  $V/T$  is:

$$\begin{aligned} B &= (U - U0) / (K \cdot IX / 3) / G = \\ &= (U - 0,04) / (0,28 \cdot 2,2 / 3) / 2 = 3 \\ &= (U - 0,04) / 4,7 = 0,21U - 0,01, \end{aligned} \quad (3)$$

where  $U - V$  of output voltage,  $IX$  - current value, managing mA,  $K$  - sensitivity B / T (about  $0.28 \text{ W} / T$ ).

Variable resistance establishes an initial shift for analog to digital converter (Fig. 1) to measure two polar magnetic fields. In developing the two-channel analog to digital converter chip used ADS1286, managed and transmitting information via a serial port (represented working circuit).

Gaussmeters is a modular design with capabilities change as research probes with Hall sensor and normalizing (incoming) amplifiers.

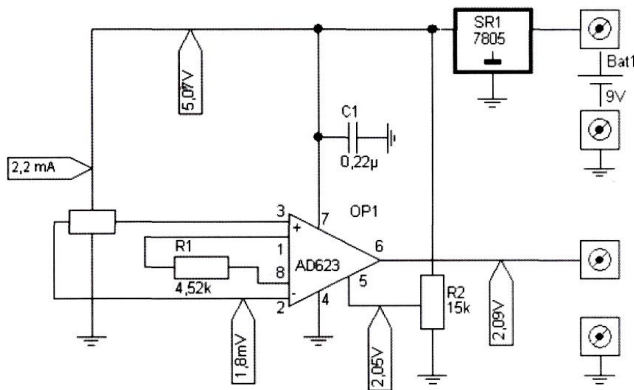


Fig. 1. Analog-to-digital converter

Define the benefits provided by a virtual model gaussmeters over conventional models, namely a complete understanding circuitry and features gaussmeters; shell, fully customizable; ability to measure not only the amplitude but also the temporal characteristics of the magnetic field; using any statistical analysis, algorithms, signal generation and analysis in frequency and time domain procedures spectral analysis and digital filters; lab VIEW - integrated development environment virtual instruments. Consider circuitry device using a Hall element and field instrumentation amplifier and the circuit input stage device using silicon element Hall and the operational amplifier (Fig. 2).

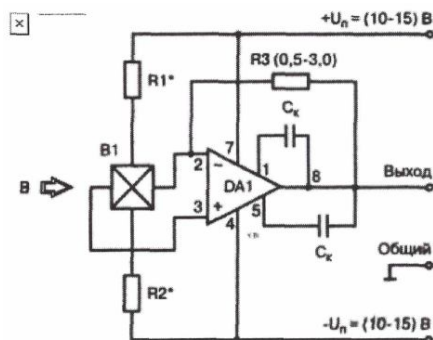


Fig. 2. Scheme input stage device using silicon element Hall and operational amplifier

In the scheme shown in Fig. 2, as the magnetic field transducer uses Hall sensor field that carries power from the power source, performed by the operational amplifier (DA2). As a signal amplifier using integrated circuit EX instrumentation amplifier AMP-04 (or HNA118). The magnetic sensitivity of the device is set resistor R7, operating current of Hall elements - resistors R1 and R2. 0 Balancing held resistors R5 and R6. The scheme involves the modulation of the input signal by supplying pulses that control (or modulate) the gate field sensor Hall. The device provides bipolar power supply from the power source. Current consumption is less than  $\pm 10$  mA at a voltage of 12 V (Fig. 2). In the scheme shown in Fig. 2, as the magnetic field transducer uses silicon Hall element type MCC-0, 5, which is connected to the food chain in two limiting resistors (K1, K2). As an EX signal amplifier chip used in the operational amplifier 740UD2B without housing options. Sensitivity device installed resistors and resistor lang K.1, K2. Temperature

compensation function conversion elements of the Hall signal input circuit. When powered by the Hall element source voltage stabilizes residual voltage  $U_{ost}$ , but there is a temperature dependence of the sensitivity of the device. The error caused by the temperature dependence of the sensitivity is multiplicative in nature. Thus, the compensation of such errors can be obtained nonlinear operations, which limits the accuracy of the compensation. When powered from the power source stabilizing element sensitivity Hall, residual stress has a strong temperature dependence, which, however, can be compensated linear ways. Another feature of the method of compensation is that of compensating for signal input circuit EX may not cause galvanic connection with its input circuit because the Hall element is a quadrupole, input and output that does not have a common point. The quality and stability of galvanic isolation link in solving some extent depends on the accuracy of the compensation scheme. Next, consider the circuit temperature compensation element in the exercise of power by the Hall current source. In practice, the following schemes: optron with galvanic isolation; with galvanic isolation in Ratiometer; with galvanic isolation transformer; Hall element powered by a pulsed power supply. Consider the principle of the block diagram of temperature compensation of Hall element optron EX interchange when powered from a voltage source that is provided in Fig. 3.

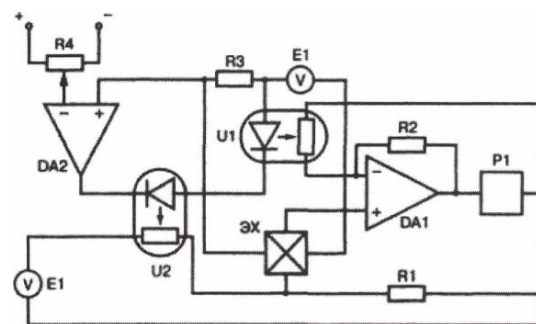


Fig. 3. Scheme temperature compensation of the reference junction EX when powered by the voltage source

In the proposed scheme defined: DA1, DA2 - operational amplifiers; E1, E2 - voltage source; U1, U2 - optocouplers; P1 - recording device.

In the Fig. 3 output from the EX comes to recording device P1 through the signal amplifier DA1. Gain amplifier signal is determined supports negative feedback operational amplifier DA1 - rezystorom R2 and output impedance of the optocoupler U1. Change the last part multiplicative compensating temperature change output EX compensation additive components made circuit consisting of a voltage source E1, the output resistance optocoupler U2 and resistor R1. At the initial element temperature and operating current Hall current generator E2 amplifier output signal DA1 there, whose value election mode of the amplifier DA1 is set so that the operating point optocoupler U1 was on the linear section of transmission characteristics. Changing adjustable voltage source E1, can ensure that the voltage drop across the resistor R1 was equal in magnitude and opposite in sign zero voltage  $U_{ost}$  Hall element. Compensation temperature changes  $U_{ost}$  residual voltage is as follows. When the

temperature deviation from the initial electrical resistance change element Hall successive voltage drop at the EX optocoupler output impedance value and voltage offset the resistor R1. Lanka, which limits the accuracy of the compensation in this scheme is mainly optocoupler U1, which provides galvanic isolation compensation circuit associated with the inputs and outputs of the Hall. Any implemented only in a relatively narrow range of temperatures, firstly, due to varying depending on temperature resistivity semiconductor and compensating element and, secondly, because of the contact resistance EX depending on temperature. For example, India EX with antimony (InSb) temperature compensation with an accuracy of 2% is achieved by connecting the current circuit to a DC voltage, taking into consideration the fact that the material dependence of the Hall constant (CL) and resistivity ( $\rho$ ) of temperatures are almost identical. Furthermore, temperature compensation for the departure of Hall elements parameters used semiconductor thermistors or metal included in parallel or in series or EX power in its output circuit. The temperature error can be eliminated thermostatic element and power it from AC power. For this purpose element is provided heater and temperature sensor. When separation circuit power frequency itself EX can be used as a heater, and in some cases as a sensor. When designing magneto device should consider the impact on peak current control parameters and characteristics of the Hall element, which is particularly important when using low-MCHE operating at  $F_{TI} > 50$  mA.

Maximum value of the current management is largely determined by operating conditions EX, ie heat conditions and ambient temperature and a maximum temperature of heating magnetosensitive element. In the passports of the unit is given the maximum value of the current case management operation Hall element among the still air. Excess indicated in the passport value of this current without special measures to improve the conditions for additional heat leads to overheating element and output it down. Improvement efforts terms of heat can significantly increase both nominal and maximum allowable value of current management. For example, if the Hall element on both sides to bring into contact with metal magnetic poles, the current control can be increased by 1.5 - 2 times.

### Conclusions

1. The article deals with the development of the measuring device, the example gaussmeters.
2. The structure of the instrument: sensor - the sensor-MCC Hall 0.5A; normalizing (input) power - power from AD623; analog-to-digital converter - based ADC ADS1286; program that manages the computer - the program based on lab VIEW.
3. It is proved that the design magneto device should consider the impact on peak current control parameters and characteristics of elements Hall.
4. Proposed technical solutions should be used when developing the measuring device to control the parameters of the radiation of electromagnetic fields.

### REFERENCES

1. The Law of Ukraine "On metrology and metrological activity" // Supreme Council (BD). - 2014. - № 30 st.1008.
2. GOST 2681-94. Metrology: terms and definitions. - K.: State Standard of Ukraine. - 67 sec.
3. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. ISO - Geneva, 1993. ISBN 0-948926-08-2.
4. ILAC G 17: 2002 «Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO / IFS 17025". [www.ilac.org](http://www.ilac.org)
5. VP Vasilenko, AI Lark .. Analysis instrumentation determine the characteristics of the magnetic field/ VP Vasilenko, AI // Lark weapons systems and military equipment. - 2013. - № 1 (30). - S.162 - 166.
6. Kononov VB The use of optical fiber Fabry-Perot in carrying out calibration of measuring instruments, military / VB Kononov, SS Kotlyar // Information processing systems, Coll. Science. pr. Hoopes. - Ed.1 (108). - Kharkiv, 2013. - P. 78-81.
7. Kononov VB Use metrological measurement converters by visiting groups in terms of the operation of Joint / VB Kononov, IV Tolok, OV Smith, A.M.Naumenko VU Bake: Tutorial - Kharkov: HNUPS, 2019. - 428 p.
8. Organization metrological support of troops (forces). Part 1: Teach. guidances. / IB Kuznetsov, P. Jablonski. - K: NUOU, 2009. - 356 p.
9. Organization of use of mobile equipment metrological service: teach. guidances. / IB Kuznetsov, A. Yaroshenko. - K: NUOU, 2013. - 360 p.

Received (Надійшла) 11.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Розробка вимірювального приладу для контролю параметрів випромінювання електромагнітних полів

В. Б. Кононов, Ю. І. Кушнерук, С. Є. Рак

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є вимірювання електромагнітних полів щодо визначення їх впливу на організм людини. **Метою статті** є дослідження процесу розробки вимірювального приладу для контролю параметрів випромінювання електромагнітних полів. **Задача, що вирішується,** – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику вимірювання дозволять точно знати про наявність і розташування шкідливих штучно створених електромагнітних випромінювань і ступінь їх впливу на організм людини шляхом застосування вимірювального приладу, для контролю параметрів випромінювання електромагнітних полів. **В статті розглядається:** структура приладу контролю параметрів випромінювання електромагнітних полів; досліджена робота двоканального аналого-цифрового перетворювача; досліджена електрична схема магнітоприймального пристрою з використанням польового елемента Холу та інструментального підсилювача; досліджена схема вхідного каскаду магнітоприймального пристрою з використанням кремнієвого елемента Холу і операційного підсилювача; досліджена схема температурної компенсації з опорною розв'язкою при живленні EX від джерела напруги. **Висновки:** запропоновані технічні рішення доцільно використовувати при розробці вимірювального приладу для контролю параметрів випромінювання електромагнітних полів.

**Ключові слова:** електромагнітні випромінювання, магнітоприймальний пристрій, елемент Хола.

S. Kopashynskii<sup>1</sup>, O. Serpukhov<sup>2</sup>, H. Makogon<sup>2</sup>, S. Guba<sup>2</sup>, O. Isakov<sup>2</sup>, Yu. Babkin<sup>2</sup>, O. Klimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv, Ukraine

## JUSTIFICATION OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE FUNCTIONING OF THE ARMORED WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT RECOVERY SYSTEM BASED ON THE STUDY OF THE GRAPHICAL NETWORK MODEL

**Abstract.** The subject matter of the article is the functioning process of the armored weapons and military equipment recovery system during combat operations in modern conditions. The goal of the study is to justify of recommendations for improving the functioning of the recovery armored weapons and military equipment under the order to reduce the time of work and rational use of forces and resources. The tasks to be solved are: to present the process of functioning of the system of armored weapons recovery and military equipment as a list of events and works that comprehensively reflect its essence and the interrelations between individual actions; to build a network graphical model of functioning of the armored weapons and military equipment recovery system of the assigned units; to analyze the critical path of network graphHhics; to identify critical work requiring closer scrutiny and identification of issues and risks that may impact the functioning of the whole recovery system, by analyzing and optimizing the network schedule make suggestions for improving the operation of the recovery armored weapons and military equipment system. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. The following results are obtained. It was simulated the functioning of the armored weapons and military equipment recovery system of military units in performing their tasks by constructing a graphical network models critical path. Analysis network diagram allowed us to determine directions of improvement of functioning of system of recovery of armored weapons and military equipment under the conditions of limited material and nonmaterial resources and regular information updates. **Conclusions.** The network graphic model of the for restoring armored weapons and military equipment recovery of during combat operations it possible to present the entire scope of work, their logical and chronological relationship and to adjust plans taking into account the limited time and insufficient number and training of personnel. Analysis of the critical path of the network schedule makes it possible to conclude that if there are several battalions in the brigade, the repair of samples of armored weapons and military equipment with a labor intensity of more than 200 people / hour is on the critical path because the forces and means for the restoration of armored weapons and military equipment not enough in modern conditions. The network schedule for the recovery of armored weapons and military equipment with the functional distribution of the volume and list of works is optimal for the length of the critical path. The practical implementation of proposals to improve the functioning of the armored weapons and military equipment recovery system is possible by creating separate logistics units of the appropriate hierarchy levels and implementing an interspecific territorial system for providing military units.

**Keywords:** recovery of armored weapons and millitary equipment, network schedule, logistic approach.

### Introduction

#### Formulation of the problem and research tasks.

The combat experience of the use of troops during the Joint Force Operation indicates that the restoration of armored weapons and military equipment (AWME) is the main source of replenishment of its loss directly during the hostilities (march) and consists in the implementation of a set of organizational and technical measures (works) aimed to bring weapons and equipment samples out of order, ready for use with the return to service, which as a whole forms a unified system for the restoration of armored vehicles weapons and equipment.

The goal of the recovery system is to provide the necessary volume and rate of return to the units of the damaged equipment and weapons and is achieved by purposeful management of its operation and in the general case is reduced to the creation of a rational plan for carrying out a complex of works consists of the interdependent actions of forces and means of troops, repair units which are part of repair and restoration units (subdivisions) of formations (parts) as well as warehouses of armored property. The above testifies to the **relevance of the study** and the need to formulate an approach to the organization of the functioning of the armored weapons and equipment recovery system based

on the combination of scientific methods and advanced information technologies to calculate and justify the decision made under the conditions of limited material and nonmaterial resources and regular information updates.

**Analysis of recent research and publications** on the issues mentioned above, confirms the relevance of this issue.

According to experts, the inconsistency of the capabilities of the forces and means of repair and restoration units of technical support to the goals and tasks of the Land Forces logistical support system leads to the fact that the existing AWME recovery system doesn't fully provide the needs of the military departments in performing their assigned tasks, therefore there is a need to improve the organizational structure of the repair authorities, on the basis of the system approach and the search for a model of functioning which would provide optimal distribution of forces and means in the shortest recovery time AWME and return it into unit [1-6].

The **goal** of this issue is to justify of recommendations for improving the functioning of the recovery armored weapons and military equipment under the order to reduce the time of work and rational use of forces and resources. To achieve this goal the following **research tasks** are solved: to present the

process of functioning of the system of armored weapons recovery and military equipment as a list of events and works that comprehensively reflect its essence and the interrelations between individual actions, to build a network graphical model of functioning of the armored weapons and military equipment recovery system of the assigned units; to analyze the critical path of network graphics; to identify critical work requiring closer scrutiny and identification of issues and risks that may impact the functioning of the whole recovery system, by analyzing and optimizing the network schedule make suggestions for improving the operation of the armored weapons and military equipment recovery system.

### Main material

**1. Building a graphical network model of functioning of the armored weapons and military equipment recovery system.** Network planning is considered to be the general tool of project management allows you to make the most effective use of both the production capacity of the repair and restore agencies and the available stocks of military-technical equipment. Based on the application of graph theory using a network diagram, modeling the process of AWME restoration of military units when performing their intended tasks makes it possible to present the entire scope of work and its logical and chronological relationship. It also allow to create a solution to restore AWME on different levels of the hierarchy; to determine and mobilize time reserves; to prevent possible disruptions in the course of work, to implement operational control of deadlines, and, if necessary, adjust plans taking into account limited time and insufficient number and training of personnel.

As you know, the graphical network model [7] is represented as a directed graph (actually called a network graph), whose elements are two logical elements-work and event. The work expresses the performance of a specific event and is divided into work-action and work-expectation (fictitious work).

Work-action will be called a process that occurs over time and is associated with the expenditure of time and resources (material or non-material), so it always has a beginning and an end. It translates one event into another and is shown as a solid line with an arrow on the network graph. To build a network schedule for the operation of the AWME recovery system, we will define the following actions:

- technical intelligence;
- evacuation of a sample of equipment;
- protection, security and defense measures;
- towing of damaged equipment;
- field repair of equipment “on the spot”;
- current repair of AWME samples;
- defects detection;
- simple average repair of AWME samples with a labor intensity up to 200 people / hour;
- complex average repair of AWME samples with a labor intensity more than 200 people / hour;
- overhaul of AWME samples;
- returning of the AWME sample to the division;

- military technical equipment resupply;

As military technical equipment resupply is time-consuming, it is suggested that you enter a standby job that carries the event over time:

- getting military-technical equipment from the warehouse.

On the network graph such work is also represented by a solid line with an arrow. Dependencies (fictitious works) that show a logical relationship between two or more events, but do not require resource and time costs, are not considered in this model.

The initial and final work, that is, the beginning and end of a certain event, is called events. An event is indicated by a circle with a number inside that defines its number.

Among the events, the initial and final events are distinguished. The initial event does not have any previous activities or events related to those reflected in the network model of the work package. The final event does not have the following jobs and events. The initial and final work, that is, the beginning and end of a certain event, is called events. An event is indicated by a circle with a number inside that defines its number.

Among the events, the initial and final events are distinguished. The initial event does not have any previous activities or events related to those reflected in the network model of the work package. The final event does not have the following works and events.

Thus, the process of restoring AWME can be described in a list of events and activities that comprehensively reflect its essence and the relationship between individual measures. The set of works to restore AWME in the terms of the network schedule is presented in Table 1.

As it is known, the armored weapons and military equipment recovery includes, in the general case, technical intelligence, evacuation, transfer of undeveloped weapons repair stock (weapons and military equipment that cannot be restored on their own) to the funds of the senior chief, repair (restoration of combat capability) of weapons and military equipment, bringing them to a combat ready state, returning to service (to units). owever, It is proposed to add to the standard list of events that'll take into account necessity of waiting for military-technical equipment resupply.

The classic theory of network planning and management allows to optimize the graph to reduce the time spent on work and the rational use of forces and resources. To do this, each work must be matched by some numerical estimate that characterizes its duration.

Given the specifics of the subject matter for some works, it is suggested to use the complexity of the works as numerical estimates.

For example, the complexity of current repairs is 10 people / hours workload, simple average repair – up to 200 people / hours workload, complex average repair – more than 200 people / hours workload, etc.

The division personnel, data on the possibility of repair and restoration units of the certain hierarchy level, statistical data on the AWME failure are indicated in the guidance documents [8].

Table 1 – The set of works to restore AWME

No.	Event number	Work number	Name and content of the works
1	1	0	Beginning
2	2	1-2	Technical intelligence
3	3	2-3	Evacuation of a sample of equipment
4	4	3-4	Field repair of equipment “on the spot”
5	7	7-4	Field repair of equipment “on the spot”
6	5	3-5	Towing of damaged equipment
7	6	3-6	Protection, security and defense measures
8	7'	3-7'	Waiting for military-technical equipment resupply
9	8	5-8	Defects detection
10	8	6-8	Defects detection
11	13	4-13	Returning a sample of equipment to the division
12	9	7-9	Current repair of AWME samples
13	10	7-10	Simple average repair of AWME samples
14	7'	8-7'	Waiting for military-technical equipment resupply
15	7	7'-7	Military-technical equipment resupply
16	9	8-9	Current repair of AWME samples
17	10	8-10	Simple average repair of AWME samples
18	11	8-11	Complex average repair of AWME samples
19	12	8-12	Overhaul of AWME samples
20	13	10-13	Returning of the AWME sample to the division
21	13	11-13	Returning of the AWME sample to the division
22	13	12-13	Returning of the AWME sample to the division
23	14	13-14	End

**2. Optimization of network schedule for AWME recovery.** As we can see, if several battalions are part of a brigade, AWME samples repair with a workload of more than 200 people / h is on the critical path, and the forces and means at the level of an operational grouping of troops (forces) are not enough to restore AWME samples in modern conditions.

The given data unambiguously signify the triviality of the work, ale to the given statutes are indicated more detailed, to conduct such a work.

Fig. 1 shows a fragment of a network graph of simulation of the process of reconstruction of a tank (mechanized) battalion, which performs tasks as assigned to the brigade. To simplify the presentation of the material, we'll assume that for each battalion that is part of the brigade, the complex of BTOT reconstruction works is similar to the accuracy of the equipment of the armored tank (t) or mechanized (m) battalion.

Waiting for military-technical equipment resupply is time-consuming, so we will assume that its events are fictitious.

An analysis of the constructed network schedule makes it possible to determine what works are on a critical path, that is, need more careful monitoring and identification of problems and risks that may affect the functioning of the entire recovery system.

Typically, network scheduling optimization is offered by redistributing resources from non-critical work to critical work, using additional resources, and reducing the duration of some critical work by involving other professionals [7], and the most “dangerous” for “getting in” ”On the critical path are the events of numbers 10, 11 and 12. In the terminology of AWME recovery these proposals can be formulated as follows:

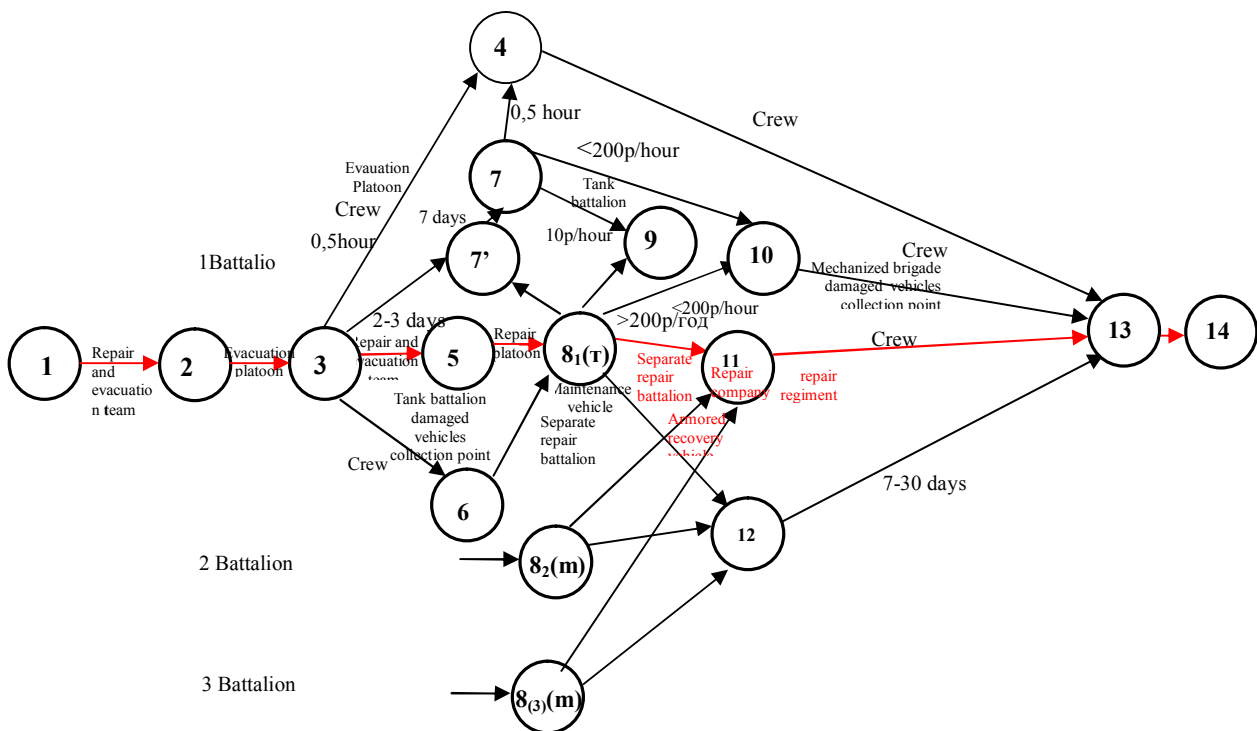


Fig. 1. Fragment of the network graph simulation of the recovery process of the tank (motorized) battalion

– to create separate units of operational command logistics (for example, a logistics regiment, a separate logistics battalion), which will consist of existing car battalions, logistics battalions, and repair parts of operational commands capable of deploying mobile units in field and field environments, ensure timely transportation of material resources, repair of weapons and equipment;

– to introduce strict distribution of functions on the volume and the list of works between the links of the system in accordance with the technical equipment, qualification and specialization of the personnel of the repair and recovery units and the availability of the required number of spare parts for the volume and the list of works that are being performed.

Such distribution is proposed on the basis of functional characteristics (technical service, logistics service, supply service, transport service, medical service, etc.), which in turn will lead to a decrease in the number of intermediate supply units.

According to the authors, the reduction of the critical path will be facilitated by the introduction of an interspecific territorial system of providing military units, regardless of their affiliation with one or another type of armed forces, and concentrating their basic

efforts directly where material resources are spent - in units.

It is advisable for the logistics regiment commander to interact with the commanders of the armored weapons and military equipment, maintenance and repair, as well as issues related to the AWME operation and recovery (eg through a senior brigade repair officer).

To improve the functioning of the AWME recovery system, it is proposed to clarify the norms and order of separation of rockets and ammunition stocks, transfer to the operational commands of certain arsenals, security centers, bases and warehouses, to review the nomenclature and composition of repair kits of spare parts and to create additional repair kits (typical) with a standard supply of severely deficient military-technical equipment.

In addition, it is advisable to provide the possibility of the repair and recovery units forces and means operational and combat composition adjusting according to the design of operations and the tasks defined by it.

An example of a network graph of the simulation AWME recovery process constructed taking into account the comments, is shown in Fig. 2.

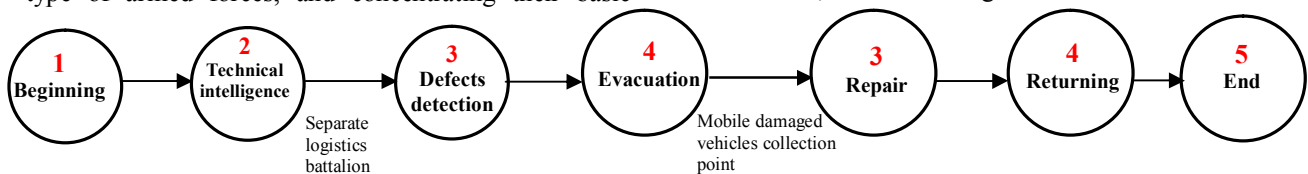


Fig. 2. Network schedule of AWME recovery with functional volume distribution and list of works

### 3. Optimization of the network schedule of AWME recovery according to the principles of functional volume distribution and the list of works between elements of the recovery system.

As you can see, building a network schedule of AWME recovery on the principles of the functional distribution of the volume and the list of works between the elements of the recovery system makes it possible to draw conclusions about the advisability of repairing equipment at the places of failure or at the collection points of damaged combat vehicles based on:

the least time spent on evacuation damaged vehicles;

close interaction and coordination of the work of all forces and means of technical support;

performing repairs by the aggregate method.

In accordance with these principles, it is proposed to build structures of forces and facilities for the AWME field recovering.

The focus is paid to the recovering of the failed AWME at the places of failure, so most of the forces and means intended for the repair of weapons and equipment are in the military rank.

To ensure high survivability and mobility of the means of evacuation and repair, especially in units of a company-battalion-brigade operating under the influence of enemy fire weapons, modern tanks and other types of armored vehicles are used as a base for repair and evacuation forces and equipment. The main

military evacuation vehicle operating directly behind combat conducting units may be an armored repair and evacuation vehicle.

Equipping troops with modern repair and evacuation vehicles will significantly increase the amount of repair work that is carried out directly in combat orders of units, accelerates the return of weapons and military equipment in order.

In the units, starting with the division, where it is necessary to evacuate damaged equipment over a long distance, heavy-duty vehicles (trailers) are comprehensively used.

### Conclusions

1. The network graphic model of the for restoring armored weapons and military equipment recovery during combat operations it possible to present the entire scope of work, their logical and chronological relationship and to adjust plans taking into account the limited time and insufficient number and training of personnel.

2. Analysis of the critical path of the network schedule makes it possible to conclude that if there are several battalions in the brigade, the repair of samples of armored weapons and military equipment with a labor intensity of more than 200 people / hour is on the critical path because the forces and means for the restoration of armored weapons and military equipment not enough in modern conditions.

3. The network schedule for the recovery of armored weapons and military equipment with the functional distribution of the volume and list of works is optimal for the length of the critical path.

4. The improvement of the functioning of the armored weapons and military equipment recovery system offered by the strict separation of functions in terms of volume and list of work between the parts of the system, by the correspondence of the technical equipment, qualifications and specialization of the

personnel of repair and restoration bodies to the availability of the required number of spare parts, volume and list of performed work.

5. The practical implementation of proposals to improve the functioning of the armored weapons and military equipment recovery system is possible by creating separate logistics units of the appropriate hierarchy levels and implementing an interspecific territorial system for providing military units in the Armed Forces of Ukraine.

## REFERENCES

1. Shuyenkin V.O. (2005), "Method of estimation of losses of material means of military formations in the course of hostilities", *Nauka i oborona*. vol. 4, pp. 45-49.
2. Shuyenkin V.O. and Ishutin I.S. (2009), "Methods for determining the rational composition of repair bodies, taking into account the resource constraints on their creation", *Nauka i oborona*. vol. 3, pp. 57-62.
3. Morozov O. O. (2015), "Methods of optimal distribution of weapons and military equipment between military formations of grouping of troops", *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoyi akademiyi Natsionalnoyi hvardiyi Ukrainy*, vol. 2, pp. 88-91.
4. Shuyenkin V. O., Ishutin I. S. and Khazanovych O. I. (2001), *Tekhnichne zabezpechennya viysk (syl) u operatsiyi (boyu)* [Technical support of troops (forces) in operation (combat)], Shaptalenko M. I. (ed.), NUOU, Kyiv, UA.
5. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
6. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 22-27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
7. Clifford F. Gray and Erik W. Larson (2003), *Project Management: the Managerial Process*, Oregon State University, USA.
8. Headquarters Department of the Army (2003), *Field Manual No. 4-0 Combat Service Support* Washington, DC, USA.

Received (Надійшла) 11.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

#### Обґрунтування рекомендацій щодо вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки на основі дослідження графічної мережевої моделі

С. А. Копашинський, О. В. Серпухов, О. А. Макогон, С. М. Губа, О. В. Ісаков, Ю. В. Бабкін, О. П. Клімов

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процес функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки під час ведення бойових дій в сучасних умовах. **Метою дослідження** є вироблення пропозицій з удосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки задля скорочення часу проведення робіт та раціонального використання сил і засобів. **Задачі:** представити процес функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки як перелік подій та робіт, що комплексно відображають його сутність та взаємозв'язки між окремими заходами; побудувати мережеву графічну модель функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки підрозділів, які виконують завдання за призначенням; проаналізувати критичний шлях мережевого графіку; визначити, які роботи знаходяться на критичному шляху, потребують більш ретельного контролю та виявлення проблем та ризиків, які можуть чинити вплив на функціонування всієї системи відновлення; на основі аналізу та оптимізації мережевого графіка виробити пропозиції щодо його вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання. Отримані такі **результати**. Було здійснено моделювання функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки військових підрозділів під час ведення бойових дій шляхом побудови графічної мережевої моделі. Аналіз критичного шляху мережевого графіка дав змогу визначити напрямки удосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки в умовах обмеження матеріальних і нематеріальних ресурсів та регулярного оновлення інформації. **Висновки.** Мережева графічна модель системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки військових підрозділів під час ведення ними бойових дій дає можливість представити весь обсяг робіт, їх логічний і хронологічний взаємозв'язок та здійснити коригування планів з урахуванням обмеженого часу та недостатньої кількості і наявності особового складу. Аналіз критичного шляху мережевого графіку дає можливість зробити висновок, що при наявності у складі бригади декількох батальйонів, ремонт зразків бронетанкового озброєння й військової техніки трудомісткістю більше 200 люд/год. опиняється на критичному шляху, оскільки сил і засобів для відновлення бронетанкового озброєння та військової техніки недостатньо в сучасних умовах. Мережевий графік відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки при функціональному розподілу обсягу і переліку робіт є оптимальним за довжиною критичного шляху. Вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки пропонується за рахунок суворого розподілу функцій з обсягу і переліку робіт між ланками системи, у відповідності технічного оснащення, кваліфікації і спеціалізації особового складу ремонтно-відновлювальних органів і наявності необхідної кількості запасних частин обсягу і переліку робіт, які виконуються. Практична реалізація пропозицій, щодо вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння й військової техніки можлива шляхом створення окремих підрозділів логістики відповідних рівнів ієрархії та впровадження міжвидової територіальної системи забезпечення військових частин у Збройних Силах України.

**Ключові слова:** відновлення бронетанкового озброєння і техніки, мережевий графік, логістичний підхід.



K. Nesterenko<sup>1</sup>, S. Rahulin<sup>2</sup>, A. Sharabaiko

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup> Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## HUMAN FACTOR IN THE QUALITY IMPROVEMENT SYSTEM OF AIRCRAFT MAINTENANCE

**Abstract.** The subject matter of the article is the analyzes of the human factor in the quality improvement system of maintenance markers, which are aimed to evaluate the completeness of amount of work completed by the responsible party and technology of work performance as provided for by an engineering order, the goal is compare the results of the work of various operators and teams with established standards or against each other, for justification of measures aimed at quality improvement, evaluation of these measures effectiveness. On the basis of the purpose of the quality indicators and the methods for their determination, there are distinguished – initial quality evaluation, composite quality measures and overall quality level. Each type of maintenance quality evaluation has corresponding fields of application and calculation procedure. The methods used are semi-Markov processes with a finite set of states, a generalized structured method, the use of game theory, construction and analysis of cause and effect graphs, and situation assessment tree graph. **Results.** Taking into consideration the constant complication of aviation technique (AT), by means of new technologies introduction, new requirements are being put forward for the ground support personnel, and as the result, the price for aircraft failure has risen. That's why, the reduction of failures amount through the fault of maintenance personnel due to the psychological characteristics of their activities is among the priority tasks with regards to flight safety. This goes to prove that the influence of the human factor on the quality and effectiveness of aircraft maintenance has not been fully studied in world wide aeronautical science. **Conclusions.** In general, the problem of improving the quality of professional activities of maintenance operators is complex and research should concern the entire aspect of the factors affecting its performance.

**Keywords:** maintenance, maintenance personnel, aircraft maintenance facility, operator, quality indicators of maintenance efficiency.

### 1. Methods of maintenance quality evaluation with consideration of maintenance personnel activity

Maintenance is a package of works (operations) performed on AT during preparation for flights, after flights, during storage and transportation in order to maintain its serviceability and performance capability. Maintenance products are not any new products, but finished works anticipated by the production order. The quality of maintenance reflects the quality of labor of the maintenance personnel of the aircraft maintenance facility (AMF) [1].

The maintenance quality is ensured by the quality of maintenance personnel labor, the availability and quality of technological equipment, measuring tools and ground servicing, instruments and materials used when working at AT, and the perfect organization of the maintenance process. In the first place, the maintenance quality reflects the labor quality of maintenance personnel and AMF workers.

The quality of the operator's work is assessed by the degree of conformity with the received order of each completed work and the requirements of the operational documentation. Incomplete fulfillment of the order (scope of work), failure to reveal malfunctions during fault detection, performance of work with a faulty treatment is considered to be a defect in work. Failures and malfunctions detected during the flight also indicate an insufficiency of maintenance if they were a consequence of non-observance during maintenance.

A significant number of factors affect the quality of labor. The main groups of factors that have a decisive influence on the quality of maintenance personnel work are shown in Fig. 1 [2].

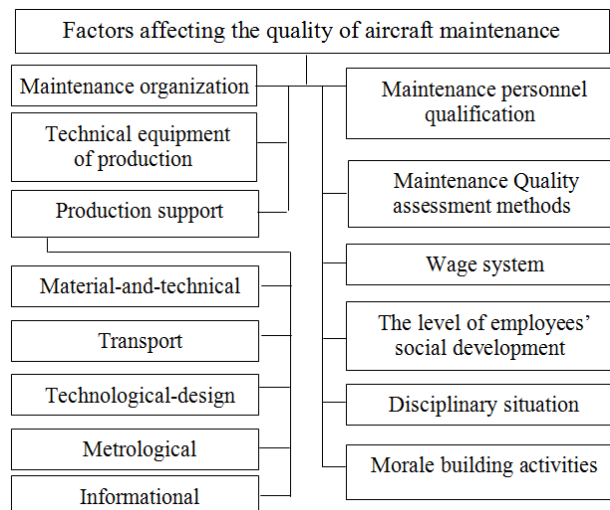


Fig. 1. Factors determining the quality of aircraft maintenance

Methods and models have been quite well established that describe the processes of technical operation, particularly, based on semi-Markov processes with a finite set of states, a generalized structured method, the use of game theory, construction and analysis of cause and effect graphs, and situation assessment tree graph. Existing methods and indicators aimed at evaluation of maintenance quality, with the consideration of the maintenance personnel activities, are directly related either to evaluation of an aircraft reliability in flight depending on the maintenance quality or evaluation of the aircraft maintenance quality, taking into account possible operators' errors. The mathematical expression connected with evaluation of the reliability of aircraft system in flight, depending on the maintenance quality, is as follows [3, 4]:

$$P(t)_{\text{oc}} = (P_{\text{HH}} + (1 - P_{\text{HH}})P_{\text{oo}}) \times \\ \times [P_c(t) + (1 - P_c(t))P_{\text{OH}}(P_{\text{yH}} + (1 - P_{\text{yH}})P_{\text{oo}})], \quad (1)$$

where  $p_c(t)$  – survival probability;  $P_{\text{OH}}$ -probability of discovering trouble;  $P_{\text{yH}}$ - troubleshooting probability;  $P_{\text{oo}}$ - detection probability of operator's error;  $P_{\text{HH}}$ -probability of failure non-recording.

In research [5-7], the investigation of aircraft reliability is reduced to considering the reliability of the aircraft, taking into account the activities of maintenance personnel.

Evaluation of the aircraft maintenance quality, taking into account the importance of the possible consequences of operator's errors, is discussed in the research. The evaluation formula is as follows:

$$K_{ji} = 1 - \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^m C_{K \cdot \Pi K}, \quad (2)$$

where  $K_{ji}$  - quality indicator of "j" maintenance according to "j" maintenance form, meaning in its physical essence the "weighted" probability of error-free aircraft maintenance by operators;  $\Pi_k$  -the number of "k" errors made by the operator during the "i" maintenance according to "j" form;  $K=1$ ,  $m$  - is the number of errors having the same weight coefficient.

Weighting factors with regards to the importance of errors made by operators during aircraft maintenance are determined in advance for the entire list of possible errors by means of expert evaluation or by statistics of consequences.

Under the conditions, of a maintenance quality management system which is valid in companies' aircraft maintenance facility, a generalized quality factor  $K_{ob}^P$  is used to evaluate the quality of operators' work. It is determined by summing the base coefficient, and the coefficients of its increase  $K_{ni}$  and decrease  $K_{cn}$ :

$$K_{ob}^P = A + \sum_{i=1}^{n_i} n_i \cdot K_{ni} - \sum_{j=1}^{n_j} n_j \cdot K_{cn}; \quad (3)$$

where  $A$ - basic ration ( $A=100$ );  $n_i$ ,  $n_j$  - incidents according to top performance and breakdowns.

For a department that does not have subordinate subdivisions (squads, shifts, sections), the generalized quality factor of work  $K_{ob3}$  is defined as the arithmetical average of the generalized quality factors of performers' work and engineers included in the department [8, 9]:

$$K_{ob3} = \frac{\sum K_{ob1} + \sum K_{ob2}}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

where  $m_1$ ,  $m_2$  - number of performers and engineers in the department.

The generalized coefficient of the work quality of the department  $K_{ob4}$ , which includes structural subdivisions (workshop, aircraft maintenance facility overall), is calculated as the arithmetic mean value of the generalized coefficients of work quality of structural units which it includes:

$$K_{ob4} = \sum K_{ob3} / m_3, \quad (5)$$

where  $m_3$  - the number of structural units in the department.

## 2. The influence of a human factor on flight safety during aircraft maintenance

The human factor (HM) is a uniquely complicated problem, as far as it focuses on the sociopolitical, moral - psychological, economic, biomedical, moral and legal aspects. The HM components are expressed in the specific conditions of the operator's interaction with technique, environment and represent the necessary basis for the successful implementation of their activities in the ergatic system "operator-aircraft-environment". In any human activity, an operator's error has specific consequences. In aviation transport, an operator's error during aircraft maintenance in a number of situations leads to aircraft accidents [10].

Nowadays, operator's errors represent a potential threat to aviation safety in many respects. The commercial airline "Boeing" analyzed 220 documented accidents and revealed that the three most common causes of their occurrence are: nonobservance of established procedures by flight crews – 31.82%; maintenance errors – 15.46%; design defects – 15%.

In the 60s, when this problem first began to considerably draw attention, the "contribution" of operator's errors to the set of causes of aviation accidents was estimated at about 20%. In the 90s, this index increased four times, and equaled 80%. There are many reasons for such a steep increase, but the most essential of them are [11]:

- over the past thirty years, the reliability of mechanical and electronic elements has increased substantially. Aircraft have become more automated and more complex. The aircraft of current generation such as the "Boeing 747-400" and "Airbus A340" have double and triple redundancy of flight control systems. This, possibly, reduces the load on the flight crew, but increases the requirements for technical specialists who carry out aircraft maintenance, many of whom received basic training in the field of mechanical rather than modern control systems based on the utilization of computer technology;

- the increased complexity of the aviation system creates the opportunity for aviation accidents due to organizational shortcomings, errors made by operating personnel.

One of the reasons for several well-known accidents was the mistake of the operator during maintenance. The American Airlines DC-10 crash in Chicago in 1979 was as a result of a faulty treatment of engine replacement. In 1985, the Japan airlines "Boeing-747" crashed as a result of rapid decompression during the flight. Then, as the result of improper repair, the rear pressure bulkhead failed. And as a result that ensued excessive pressure increase in the tail section and the shock wave due to the explosive rupture of the spherical rear pressure bulkhead, the control system failed and the aircraft was destroyed, resulting in a multifatality accident. In April 1988, "Boeing 737" of Aloha airlines crashed as a result of the breakup of the upper fuselage structure. After all, the

aircraft has been landed, with one person dead. This aviation accident was caused by a faulty treatment of maintenance technology. Distribution of all accidents for a variety of reasons during 1990-1999, on a worldwide basis, is shown in Fig. 2. There from, about 19.8% occurred on technical and technological issues.

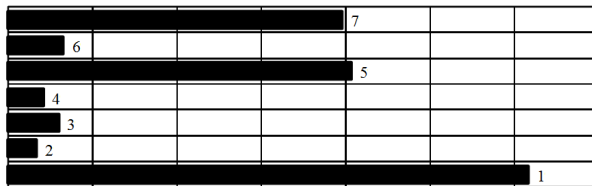


Fig. 2. Worldwide accidents for various reasons:

1 - Controlled Flight Into Terrain (CFIT); 2 –wind shear; 3 – Midair collision; 4 -icing; 5 –loss of control in the air; 6 - fire / explosion on board; 7 -technical and technological issues

When analyzing 93 major global aircraft accidents that occurred between 1959 and 1983, it was found that in 12% of cases, shortcoming of maintenance was one of the factors that led to the accident.

As a result of this analysis, ICAO proposes the following list of basic causes of accidents shown as a %.

Accident cause:

- non-observance of standard proc. by a pilot, 93%;
- insufficient cross-check by a co-pilot, 26%;
- design defects, 13%;
- maintenance shortcomings, 12%;
- absence of approach guidance, 10%;
- when PIC ignores crew members' messages, 10%;
- air traffic control error / failure, 9%;
- not correct actions of a crew, 9%;
- insufficiency or inaccuracy, 8%;
- runway hazards, 7%;
- incorrect decision to land, 6%;
- communication insufficiency, 6%.

Not only flight safety, but also the regularity of flights and the economic performances of the operators' companies, due to non-production demurrage of the aircraft during their maintenance, control, replacement and repair of products, depend on the effectiveness of the maintenance specialists' operation.

Thereby, the increasing of operators' labor intensity every year and the complication of their activities during maintenance of new types of aircraft affects the quality of preparation for flight and the economic performances of aviation company.

This indicates the necessity of resolving the issue of the main directions with the help of which can be increased the reliability of operators' performance while ensuring aircraft flights.

### 3. The main aspects of improving the quality and efficiency of aircraft maintenance

One of the main stages of scientific and technological progress in civil aviation is the commissioning of new, more advanced types of aircraft and as the result the need to ensure appropriate maintenance, ensuring minimal demurrage and a high level of aircraft reliability. However, the steady increase of aviation technique complexity, the increasing labor

intensity of the maintenance personnel with every year, the complication of their activities leads to the fact the problem of improving the quality and efficiency of aircraft maintenance is increasingly dominated by the operators' human factor

This is due to the fact that an increase in the aviation equipment complexity does not lead to a corresponding change through time of the physical and physiological abilities of the maintenance personnel who is serving the technique.

In such a way, one of the main aspects of quality improvement and efficiency of aircraft maintenance is the removal of nonconformity between aircraft and psycho physiological capabilities of people. This is possible only as a result of solving problems in the relationship of the system "operator-aircraft-environment", which allows to increase professionally important quality of operations and their psycho physiological preparation.

Relationship aspects in the "operator-aircraft-environment" system that affect the quality and effectiveness of maintenance include the level of automation and mechanization of maintenance processes, as well as the degree to which automated information systems are used. Among a large number of factors affecting labor productivity, mechanization and automation of production processes is of the utmost importance. This is one of the most important tasks solved by the aviation engineering service.

The concept of mechanization means development aimed at maintenance can be formulated as follows: to ensure aircraft maintenance with the lowest material and energy costs while reducing maintenance time and the number of employees.

The abovementioned concept can be implemented in the following way:

- modernization of existing mechanization means;
- transfer of all mechanization means to an electrically actuated ones;
- development and implementation of stationary systems for aircraft maintenance;
- add-ons to stationary systems with a device for automatic connecting of ground and airborne systems.

In maintenance purposes, the advanced directions can be reduced to the development of mobile and stationary means.

The development and implementation of new, improvement and modernization of existing means of mechanization and automation of aircraft maintenance processes is one of the main directions of reducing aircraft demurrage during maintenance, increasing labor productivity and the quality of aircraft maintenance. The improvement of the information system is closely connected with the built-in control systems, which, in combination with the on-board information systems assigned for maintenance, ensure the efficient utilization of aviation technology with minimal effort and resources. One of such integrated airborne system (OMS) was created for Boeing's aircraft. On the ground, the maintenance personnel may switch ON OMS to obtain the necessary information with regards to trouble

shooting techniques or other data. OMS stores fault information during all stages of the flight. Information about all the faults that are currently available is reflected on the display. In British Airways, the special maintenance information system is widely used. It greatly facilitates the organization and control of the timely execution of maintenance works and the monitoring of the state of aviation equipment at each unit.

### Conclusions

Maintenance information systems are becoming an integral part of the aircraft. On-board air monitoring systems transmit information regarding the state of aviation equipment so that, based on the data received, it is possible to determine in advance the necessary maintenance works and bringing the aircraft into a working condition.

Thereby, the utilization of automated systems in relation to the solution of maintenance tasks allows to obtain the following results:

- reduce flight delays;
- carry out more accurate calculations of the spare parts necessity and the composition of the work shift;
- reduce the time which aircraft spends during maintenance;
- use technicians of lower qualifications;
- control the technological processes of AT maintenance.

Taking all things together, the problem of improving the quality of maintenance operators' professional activities is complex and research should relate to the entire aspect of the factors affecting its performance.

### REFERENCES

1. [The improving recommendation of the quality management system for aviation equipment maintenance in aircraft maintenance facility of civil aviation. - Moscow: AirTransport, 1986. - 48 p.(in Russian)
2. Textbook for universities / Smirnova N.N., Vladimirov N.I., ChernenkoZ h.S. / Edited by Smirnova N.N. - Moscow: Transport, 1990. - 423 p. (in Russian)
3. Quality management of aircraft products maintenance: VisnykKIU of CA #2. Burlokov V.I., Yasser Canaan, Jihad Mansour - Kiev, 1999. - p 204 - 212. (in Russian)
4. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
5. Reliability and efficiency in technology: Reference textbook: - Moscow: Mashinostroyeniye, 1986. vol. 1. Methodology. Organization. Terminology / Avduyevskiy V.S. and other. Edited by Rembezy A.I. 1986.- 223 p. (in Russian)
6. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", Advanced Information Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 22-27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
7. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
8. Evaluation of the aircraft maintenance quality according to the results of its certification. Improvement of the maintenance production processes and repair of aviation technique // Collection of research papers. Popov V.G. and Vashchenko G.V. #274. 1988. p. 66 – 69 (in Russian)
9. Dhivakar B., Saravanan S.V. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45. doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
10. Current status and development prospects of ergonomics in civil aviation. Aviation Ergonomics // Interuniversity collection of scientific papers. Edition # 4. Bugaev B.P. - Kiev, 1978. -99 p.(in Russian)
11. The role of the human factor in aircraft maintenance/ Cir 253-AN/151/ICAO/ - 1995 (in Russian)

Received (Надійшла) 11.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Людський фактор у системі підвищення якості технічного обслуговування повітряних суден

К. С. Несторенко, С. В. Рагулін, О. М. Шарабайко

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є людський фактор в системі підвищення показників якості технічного обслуговування, які призначені для оцінки повноти дотримання виконавцями обсягу і технології виконання робіт, передбачених завданнями на обслуговування. **Метою** є порівняння результатів роботи різних операторів і колективів з встановленими нормативами або між собою, для обґрунтування заходів, спрямованих на підвищення якості, для оцінки ефективності цих заходів. Залежно від призначення показників якості та методики їх визначення розрізняють початкові оцінки якості, узагальнені показники якості і загальний рівень якості. Кожен вид оцінок якості технічного обслуговування має відповідні області застосування і порядок розрахунку. **Методи:** напівмарковських процесів з кінцевим безлічно станів; узагальненого структурного методу; використання теорії ігор; побудови і аналізу причинно-наслідкових графів, дерев оцінки ситуацій. **Результат.** В зв'язку з неухильним ускладненням АТ, впровадженням нових технологій висуваються все нові вимоги до персоналу наземних служб, відбувається зростання ціни за відмову авіатехніки. Тому зниження частки відмов з вини обслуговуючого персоналу, обумовлених психологічними особливостями його діяльності, відноситься до числа пріоритетних завдань фахівців з безпеки польотів. Це свідчить про те, що вплив людського фактора на якість і ефективність технічного обслуговування повітряних суден недостатньо повно вивчено в світовій авіаційній науці. **Висновки:** в цілому проблема підвищення якості професійної діяльності операторів з технічного обслуговування є комплексною і дослідження повинні стосуватися всього аспекту факторів, що впливають на його показники.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, обслуговуючий персонал, авіаційно-технічна база, оператор, показники якості ефективність технічного обслуговування.

# Оптимізація транспортних систем

УДК 625.72:656.11

doi: 10.26906/SUNZ.2020.1.045

О. В. Денисенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## НОВИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є новий підхід визначення параметрів руху транспортних засобів і особлість визначення пропускної здатності (ПЗ) нерегульованих перехресть різного типу. Метою є розробка способу визначення ПЗ міських нерегульованих перехрестів, який дозволяє отримати і Дольний комплекс критеріальних оцінок якості функціонування таких перехресть. Завдання дослідження: аналіз су-суспільством і розробка нових підходів, методів і алгоритмів визначення ПЗ нерегульованих перехресть, які враховують у новій пропозиції позитивних якостей відомих рішень; розширення функціональних віз-можностей відомих рішень для отримання широкого комплексу критеріїв оцінки якості функціонування перехресть; пропозиція і розробка такого способу, який відповідав би вимогам універсальної адаптивної системи, що дозволяє ефективно в динаміці реагувати на всілякі зміни умов руху транспортних потоків (ТП) на перехресті. Отримані наступні результати. Розкрито деякі особливості сучасної організації моніторингу ТП на локальних об'єктах, а також проаналізовано їх основні переваги та недоліки. Представлений новий підхід визначення ПЗ нерегульованих перехресть в умовах динамічного змінювання параметрів руху ТП і адаптивного реагування системи на дорожню ситуацію. Показано особливості реалізації алгоритмів визначення ПЗ для різного типу перехрестів. Висновки. Запропонована технологія змінювання комплексу параметрів руху ТП одночасно дозволяє здійснювати оцінку якості функціонування нерегульованих перехрестів за критерієм ПЗ і в динаміці контролювати цей параметр. Визначення ПЗ таким способом з високою частотою сканування і за реальними значеннями часу роз'їзду на перехресті різних типів транспортних засобів, дає можливість істотно підвищити точність вимірювання кінцевих параметрів. Пропозиція і розробка способу визначення ПЗ нерегульованих перехресть за такою технологією відповідає вимогам універсальних адаптивних систем, які ефективно в динаміці реагують на всілякі зміни умов руху ТП на перехресті і УДС міста.

**Ключові слова:** нерегульоване перехрестя, транспортний потік, транспортний засіб, пропускна здатність, граничний інтервал, лазерний промінь.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Керування транспортними потоками (ТП) є необхідною умовою ефективного функціонування більшості перехресть великих міст.

Причиною цього є постійне зростання рівня автомобілізації та ускладнення умов руху транспортного засобу (ТЗ). Використання автоматизованих систем управління дорожнього руху (АСУ-ДР) дозволяє вирішувати складні транспортні задачі лише в умовах їх постійного удосконалення.

Тому сучасні АСУ-ДР відносяться до класу автоматизованого управління технологічними процесами і мають усі складові таких систем: технічні засоби виміру і збору інформації про параметри ТП; засоби передачі, обробки і реєстрації цієї інформації, що утворюють керуючий обчислювальний комплекс системи та локальні засоби керування (дорожні контролери).

Але для забезпечення потрібного рівня керуючих дій та організаційних заходів на перехрестях міста потрібна сукупність даних, що характеризують як основні параметри руху окремих ТЗ і ТП по усіх напрямках руху, так і можливість одночасного визначення оцінки якості функціонування перехрестя за різноманітними показниками.

Існуючі критерії оцінки ефективності керування та функціонування регульованих і нерегульованих перехресть базуються на таких показниках як середня затримка транспортного засобу, пропускна здатність, рівень обслуговування та ступінь насичення смуг руху перехрестя. І, навіть, якщо одним з головних критеріїв вважається середня затримка ТЗ, проте в умовах динамічної зміни параметрів руху ТП та погодних умов, одночасна оцінка ПЗ окремих напрямків та перехрестя в цілому дозволяє більш якісно оцінити умови руху і визначити комплекс керуючих дій.

Тому актуальною вважається задача розробки такої технології одночасного визначення необхідного комплексу параметрів руху ТП і ПЗ напрямків руху та перехрестя в цілому, яке дозволяє в динамічному режимі досягти мети керування.

### Аналіз публікацій

Зараз у професійній зарубіжній літературі можна знайти ряд різних методик визначення величини ПЗ регульованих і нерегульованих перехресть [1-3].

Розрахунок ПЗ і рівнів завантаження перехресть потрібні для вибору найбільш раціональної організації руху при інтенсивності транспортних потоків, що склалася. У основу розрахунку ПЗ нере-

гульованих і саморегульованих вузлів у ряді літературних джерел [4, 5] покладена теорія руху транспортних потоків, що вивчає закономірності розподілу інтервалів між автомобілями, що рухаються.

Пропускна здатність регульованих вузлів у більшості авторів визначається ПЗ магістралі в перерізі стоп-лінії, тобто ПЗ однієї смуги, кількістю смуг руху, організацією руху у вузлі та режимом регулювання перехрестя [1, 2].

У той же час, фахівці визначають необхідність використання сучасних технологій створення універсальної адаптивної системи, яка в умовах можливих обмежень в динамічному режимі забезпечувала б ефективний моніторинг такого об'єкту як нерегульоване перехрестя [6].

Серед відомих технічних рішень, які б найкращим чином відповідали вказаним вище вимогам, можна відзначити ряд оригінальних способів визначення як параметрів ТП у зоні перехрестя, так і параметрів оптимального управління, у відповідності з якими у просторовій зоні перехрестя відбувається покрокове сканування конусним вузькоспрямованим лазерним променем інфрачервоного діапазону всіх підходів і виходів цього перехрестя [7-9].

Проте, в наступний час рішення практичних завдань в області проектування таких об'єктів пов'язане з рядом об'єктивних труднощів і необхідністю застосування у процесі виміру одночасно декількох різних критеріїв оцінки ефективності моніторингу перехресть, для підвищення їх функціональної можливості та перспективи використання [3].

При цьому відзначається, що одним з шляхів підвищення якості регулювання перетинів є уточнення необхідних характеристик ТП та розробка таких систем, які дозволяють всебічно оцінювати ефективність їх функціонування.

### Мета і постановка задачі

Поставленою метою є розробка способу визначення ПЗ міських нерегульованих перехресть, який дозволяє отримати і доповнити комплекс критеріальних оцінок рівня якості функціонування перехресть.

Для підвищення ефективності функціонування перехресть необхідно було вирішити такі задачі:

- аналіз існуючих та розробка нових способів, методів та алгоритмів визначення ПЗ перехресть;
- урахування у новій пропозиції позитивних якостей попередніх рішень;
- розширення функціональних можливостей відомого способу для одержання широкого комплексу критеріїв оцінки якості функціонування перехресть;
- пропозиція та розробка способу, який би відповідав вимогам універсальної адаптивної системи, що ефективно в динаміці реагує на всілякі зміни умов руху ТП на перехресті.

### Суть пропозиції

Раніше автором запропоновано ряд способів визначення широкого кола параметрів руху окремих ТЗ і ТП на підходах і в зоні перехрестя, а також визначення параметрів світлофорного регулювання,

об'єднаних загальною єдиною технологією сканування одночасно двома або трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя [7-9].

Згідно сутності цієї технології зону і підходи до перехрестя покроково сканують променями конусної розгортки (рис. 1), що дає можливість сформувати вхідні і вихідні межі двох контрольованих зон (КЗ) та забезпечити визначення комплексу необхідних параметрів ТП по кожній смузі руху в залежності від результатів сканування.

Розгортка лазерного променя здійснюється блоком сканування 1, який розташовується над перехрестям на спеціальному кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя.

У блоці сканування, залежно від висоти його розміщення, одну з оптичних осей розгортки підбирають так, щоб перший лазерний промінь описував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя ( $R_1$ ) в області «стоп-ліній» всіх його підходів.

Блок сканування має відповідний оптичний відхиляючий пристрій (дискретний сканістор), який забезпечує відхилення осі першого лазерного променя на кожному наступному періоді сканування в необхідне друге положення, при якому радіус кола ( $R_2$ ) на поверхні проїзної частини змінюється на задану величину (наприклад, на 1 м).

Таким чином, в зоні стоп-ліній на поверхні перехрестя формуються два концентричні кола з різницею радіусів ( $R_1 - R_2 = 1$  м), які зображують вихідну межу першої КЗ.

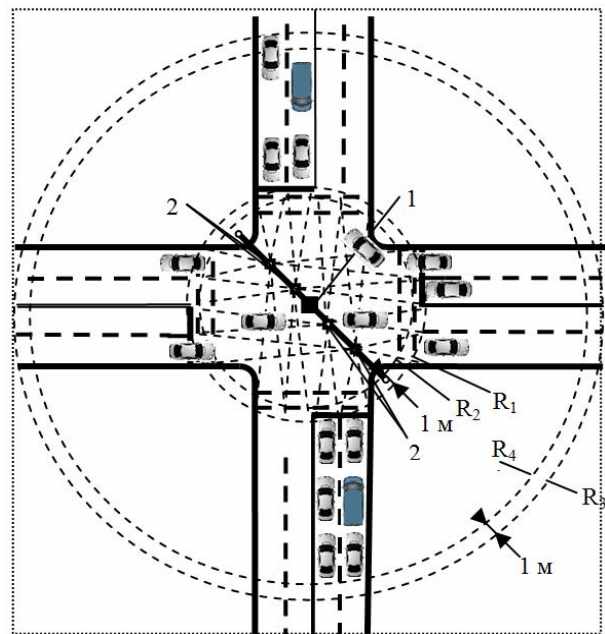


Рис. 1. Схема, що розкриває основні відмінні особливості запропонованого способу

Другий і третій оптичні промені лазерної розгортки формуються відповідно зі зміщенням на  $120^\circ$  по колу розгортки по відношенню друг до друга [7-9] і формують вхідні межі першої та другої КЗ. Ці промені, як і перший, за допомогою відповідних дискретних сканісторів на кожному наступному періоді

сканування змінюють одну оптичну вісь розгортки на іншу і формують два концентричних кола з різницею радіусів 1 м.

На спеціальному кронштейні також розташовані оптичні фотоприймачі 2 (ФП<sub>i</sub>), які в процесі розгортки відповідних лазерних променів  $\delta_1, \delta_2$  та  $\delta_3$  по одному з кіл на входах і виходах КЗ послідовно сприймають сигнали, відбиті від транспортного засобу, що рухається по різним смугам руху як на підходах, так і на виходах перехрестя, а часове і просторове рознесення лазерних променів дозволяє фіксувати одним ФП всі сигнали сканування по відповідній смузі.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при пересіченні одного з кіл на їх вході, при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя на дистанції 1 м визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань.

Визначення ПЗ різного типу перехрестя має свої специфічні особливості.

Для нерегульованих перехрестя перетину головної та другорядної доріг алгоритм виміру здійснюється наступним чином.

Інформація про довжину, тип та час пересування ТЗ на входах в КЗ або в зоні «стоп-ліній» дозволяє послідовно визначити реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобілю  $K_{ПРi}$  як відношення величини середнього значення часового інтервалу  $\bar{t}_{ei}$  пересування конкретного типу транспортного засобу кола з  $R_5$  спочатку переднім, а потім заднім бампером до величини середнього значення аналогічного часового інтервалу  $\bar{t}_{li}$  поїзду легкового автомобілю:

$$K_{ПРi} = \bar{t}_{ei} / \bar{t}_{li} \quad (1)$$

Вимірювання цього параметру на вході і виході з перехрестя дозволяє не тільки чітко визначити напрямки руху кожного ТЗ по кожній смузі перехрестя, але і прив'язати до цього параметру конкретні значення граничних інтервалів  $t_{zp}$  в залежності від типу ТЗ, смуг і напрямків їх руху.

Далі в процесі руху ТЗ по кожній  $j$ -й смузі головної дороги на вході в другу КЗ здійснюється вимір інтервалів руху  $h_{mj}$  між кожною парою транспортних засобів ( $m$  та  $m+1$ ).

Одночасно впродовж всього часу виміру  $T_B$  здійснюється підрахунок усіх ТЗ, що в'їхали в КЗ по кожній  $j$ -й смузі і потім виїхали з зони перехрестя як у фізичних  $N_{\phi j}$ , так і приведених  $N_{ПРj}$  одиницях

$$N_{ПРj} = K_{ПР1}N_1 + K_{ПР2}N_2 + \dots + K_{ПРi}N_i, \quad (2)$$

де  $N_i$  - число транспортних засобів  $i$ -го типу у потоці.

Фіксація транспортного засобу, що повністю покинули зону перехрестя здійснюється за моментами перетинання їх задніми бамперами кола сканування з радіусом  $R_1$  на виході перехрестя одночасно по всіх смугах руху.

В процесі роз'їзду транспортного засобу зі смуг другорядних доріг визначаються реальні значення критичних інтервалів для транспортних засобів різного типу, різних напрямків і смуг руху, які враховують різноманітні особливості топографії конкретного перехрестя.

Значення граничних інтервалів  $t_{zp}$  визначаються за моментами перетину переднім бампером спочатку лінії сканування першого променя на виході з КЗ (наприклад  $R_1$ ), а потім заднім бампером цієї ж лінії сканування на виході з перехрестя.

Практичне визначення реальних значень  $t_{zp}$  для умов конкретного перехрестя дає змогу накопичувати інформацію для всіх типів інтервалів у обчислювальному пристрої системи, що реалізує цей спосіб [10] і при необхідності з часом корегувати ці значення при зміні умов руху (наприклад, для зими або ожеледиці, наявності пішохідних потоків). Більш того, можливість виміру швидкості та типу транспортного засобу на вході і виході КЗ дає змогу розділити і окремо використовувати значення  $t_{zp}$  для умов, коли ТЗ по другорядним дорогам проїжджають КЗ без зупинки, і коли вони зупиняються перед стоп-лінією.

Процес визначення ПЗ нерегульованого перехрестя за прийнятий час виміру  $T_B$  включає підрахунок всіх транспортних засобів, що за цей час повністю послідовно виїхали з КЗ і зони перехрестя по всіх смугах як головної, так і другорядної дороги

$$N_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n N_{\phi j}, \quad (3)$$

де  $N_{\phi j}$  – кількість усіх транспортних засобів, що виїхали з зони перехрестя по кожній  $j$ -й смузі у фізичних одиницях.

При цьому, в процесі руху ТП по усім смугам як на вході в КЗ, так і на її виході (зона стоп-лінії) здійснюється вимір швидкості, типу, коефіцієнтів приведення і інтервалів руху всіх ТЗ. Завдяки цьому, у ТП, що рухається по смугам головної дороги, визначаються вільні інтервали  $h_{BL}$ , які за значенням більше, ніж  $t_{zp}$  для легкових ТЗ прямого напрямку руху по смугам другорядних доріг (тобто мінімальних  $t_{zp}^{\min}$ ).

Такі інтервали  $h_{BL}$  по смугам головної дороги можливо фіксувати у випадку відсутності ТЗ в КЗ, якщо час пересування відповідних ТЗ при їх максимальній швидкості руху не буде перевищувати  $t_{zp}^{\min}$  (при відповідному значенні  $R_5$ , що формує вхідну межу КЗ).

В цьому разі, при відсутності ТЗ в черзі або в КЗ по смугам другорядних доріг, до значення  $N_{\Sigma}$  додається по одному транспортному засобі з кожної смуги другорядної дороги.

Навіть у разі, коли з другорядної дороги у вільний інтервал ТЗ здійснюють маневр через головну дорогу, до значення  $N_{\Sigma}$  додається по одному транспортному засобу з кожної вільної від руху смуги другорядної дороги.

Якщо вільний інтервал  $h_{BL}$  по головній дорозі буде більшої кратності по відношенню до  $t_{ep}^{\min}$ , до значення  $N_{\Sigma}$  додається величина

$$N_{dp} = d \cdot \gamma \quad (4)$$

де  $d$  – кількість смуг руху на підході до перехрестя по другорядним дорогам;

$\gamma = h_{BL} / t_{ep}^{\min}$  – коефіцієнт кратності вільного інтервалу.

Таким чином, упродовж всього часу виміру  $T_B$  всі інтервали руху, що відповідають умові  $t_{ep}^{\min} \leq h_{BL}$  штучно заповнюються додатковими ТЗ другорядних доріг (граничними інтервалами  $t_{ep}^{\min}$ ) і забезпечують безперервний ТП максимально можливої сумарної інтенсивності, що не приведе до заторового стану на перехресті.

Значення ПЗ в цьому випадку за одиницю часу виміру  $T_B$  визначається як:

$$P = N_{\Sigma} + \sum_{i=1}^q N_{dpi} \quad (5)$$

де  $q$  – кількість вільних інтервалів в ТП по головній дорозі за час виміру  $T_B$ .

Визначення ПЗ нерегульованого перехрестя рівнозначних доріг трохи відрізняється [11]. Для цього в процесі роз'їзду ТЗ через перехрестя визначаються реальні значення інтервалів перетину  $t_{nep}$  для ТЗ різного типу, різних напрямків і смуг руху, які враховують різноманітні особливості топографії конкретного перехрестя, швидкісні якості ТЗ і наявності пішохідних потоків.

Значення інтервалів перетину  $t_{nep}$  визначаються за моментами перетину переднім бампером транспортного засобу спочатку лінії сканування першого променя на виході з КЗ (наприклад  $R_1$ ), а потім заднім бампером цієї ж лінії сканування на виході з перехрестя.

Як і в попередньому випадку, практичне визначення реальних значень  $t_{nep}$  для умов конкретного перехрестя дає змогу накопичувати інформацію для всіх типів інтервалів у обчислювальному пристрої і при необхідності з часом корегувати ці значення при зміні умов руху.

Більш того, можливість виміру швидкості та типу ТЗ на вході і виході КЗ дає змогу розділити і окремо використовувати значення  $t_{nep}$  для умов, коли ТЗ проїжджають КЗ, а потім і перехрестя без зупинки, і коли вони зупиняються перед стоп-лінією.

Процес визначення ПЗ нерегульованого перехрестя рівнозначних доріг за прийнятий час виміру  $T_B$  включає спочатку підрахунок всіх ТЗ, що за цей час повністю послідовно виїхали з КЗ і зони перехрестя по всіх смугах руху за формулою (3). Одночасно в процесі перетину зони перехрестя окремими ТЗ визначаються смуги руху, з яких можливий одночасний паралельний рух ТЗ згідно існуючим правилами перетину нерегульованих перехресть. При

наявності таких смуг до значення  $N_{\Sigma}$  (при перетині кожним реальним ТЗ) додається по одному ТЗ з кожної смуги, а значення інтервалів перетину  $t_{nep}^{ij}$  ( $i$ -го типу по  $j$ -й смузі) обираються мінімальними, тобто для легкових автомобілів.

За одиницю часу виміру  $T_B$  таких додаткових ТЗ може бути нараховане  $N_{dod}$ .

Моменти завершення перетину перехрестя визначаються або за моментами перетину лінії сканування першого променя  $R_1$  на виході з перехрестя задніми бамперами ТЗ, або по закінченню одного з інтервалів перетину  $t_{nep}^{ij}$  (максимального з набору для конкретного випадку), якщо його значення буде більше часу перетину реального ТЗ. З моменту закінчення цього інтервалу, в разі відсутності ТЗ в черзі або в КЗ визначається схема роз'їзду, за якої одночасно по правилам може рухатись максимальна кількість ТЗ (тобто задіяна найбільша кількість смуг руху).

При цьому, до значення  $N_{\Sigma}$  додається по одному ТЗ з кожної смуги руху, що задіяна в роз'їзді, а інтервали перетину  $t_{nep}^{ij}$  обираються мінімальними (для легкових ТЗ).

Накопичене значення  $N_n$  цих транспортних засобів за прийнятий час виміру  $T_B$  складає певну частину величини ПЗ.

Таким чином, упродовж всього часу виміру  $T_B$  всі вільні від руху ТЗ інтервали часу штучно заповнюються додатковими ТЗ ( $N_n$ ) по визначеній схемі роз'їзду і забезпечують безперервний ТП максимально можливої сумарної інтенсивності, що не приведе до заторового стану на перехресті.

Значення ПЗ в цьому випадку за одиницю часу виміру  $T_B$  визначається як:

$$P = N_{\Sigma} + N_{dod} + N_n \quad (6)$$

Для уточнення та визначення статистично значущих значень ПЗ перехрестя, необхідно обстежити мінімум 15-20 годинних циклів у пікові часи руху. Але оперативне визначення ПЗ перехрестя (в реальному масштабі часу) в умовах можливих різких змін ПЗ (затори, хурделиця або ожеледиця) дає можливість отримати важливу і корисну інформацію для систем мережевого регулювання руху на ВДМ міста з урахуванням всіх особливостей топографії і пішохідних потоків конкретного перехрестя.

## Висновки

Запропонована технологія виміру комплексу параметрів руху ТП одночасно дозволяє здійснювати оцінку якості функціонування нерегульованих перехресть за таким критерієм як пропускна здатність перехрестя та в динаміці контролювати цей параметр.

Розрахунок ПЗ і рівнів завантаження нерегульованих перехресть потрібні для визначення більш якісної оцінки умов руху, рівня функціонування та вибору найбільш раціональної організації руху і комплексу керуючих дій.



Визначення ПЗ таким способом з високою частотою сканування і по реальним значенням часу роз'їзду з перехрестя різними типами транспортних засобів, дає можливість суттєво підвищити точність виміру кінцевих параметрів.

Пропозиція та розробка способу визначення ПЗ нерегульованих перехресть за такою технологією відповідає вимогам універсальних адаптивних систем, що ефективно в динаміці реагують на всілякі зміни умов руху ТП на перехресті та ВДМ міста.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Highway Capacity Manual / Washington: TRB, 2010. – 1134 p.
2. Teply S., Allingham D., Richardson D., Stephenson B. Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections.// Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada, 1995. – 115 p.
3. Левашов А.Г. Проектирование регулируемых пересечений / А.Г.Левашов, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных.– Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2007.–298 с.
4. Булавина Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов: учеб. пособие / Л.В. Булавина. - Екатеринбург: изд-во ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2009.– 44 с.
5. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Основные параметры оценки пропускной способности регулируемых пересечений // ВИНТИ. – 2004. – №3. – С. 14 – 19.
6. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов /Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ “Академкнига”, 2005. -279 с.
7. Пат. 112094 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення тривалості елементів та циклу світлофорної сигналізації / Денисенко О. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. - опубл. 25.07.16, Бюл. № 14/2016.
8. Пат. 114539 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення рівня обслуговування на регульованому перехресті/ Денисенко О. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 26.06.17, Бюл. № 12/2017.
9. Пат. 119614 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб оптимізації багатофазного циклу регулювання світлофорного об'єкту / Денисенко О. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 10.07.19, Бюл. № 13/2019.
10. Пат. 115922 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення пропускної здатності нерегульованого перехрестя з головною і другорядною дорогами / Денисенко О. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 10.01.18, Бюл. № 1/2018.
11. Пат. 116398 Україна, G 08 G 1/09. Спосіб визначення пропускної здатності нерегульованого перехрестя рівнозначних доріг / Денисенко О. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. - опубл. 12.03.18, Бюл. № 5/2018.

Received (Надійшла) 23.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.02.2020

**Increase in effectiveness of definition of elements  
of a cycle of traffic light regulation**

O. Denisenko

**Abstract.** The subject of the article is a new approach to determining the parameters of the movement of vehicles and the peculiarities of determining the capacity (DC) of unregulated intersections of various types. **The purpose** is to develop a method of determining the DC of urban unregulated intersections, which allows to obtain and add a set of criteria estimates of the quality of functioning of such intersections. **Research objectives:** analysis of existing and development of new approaches, methods and algorithms for determining DC of unregulated intersections, taking into account in the new proposal the positive qualities of known solutions; Broader functional capabilities of known solutions for obtaining a wide range of criteria for assessing quality of functioning of intersections; Proposal and development of a method that meets the requirements of a universal adaptive system allowing to respond efficiently in dynamics to all possible changes in traffic conditions (TC) at the intersection. **The following results are received.** Some peculiarities of modern TC monitoring organization at local facilities are disclosed, as well as their main advantages and disadvantages are analyzed. A new approach is presented for determination of DC of unregulated intersections in conditions of dynamic change of DC movement parameters and adaptive response of the system to road situation. Features of implementation of DC detection algorithms for different types of intersections are shown. **Conclusions.** The proposed technology of measuring the complex of parameters of TS movement simultaneously allows to assess the quality of functioning of non-regulated intersections according to the IR criterion and to monitor this parameter in dynamics. Determination of DC in this way with visceral scanning frequency and by real values of travel time at the intersection of various typical transport means makes it possible to significantly increase accuracy of measurement of final parameters. The proposal and development of a method of determining the DC of non-regulated intersections according to such technology meets the requirements of universal adaptive systems, which respond effective in dynamics to all possible changes in the conditions of TS movement at the intersection and street roadnet (SR) of the city.

**Keywords:** unregulated intersection, traffic flow, vehicle, bandwidth, limit interval, laser beam.

О. М. Зеленох, А. Ю.Тимко, М. В. Пинчук

Національна академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

**Анотація.** В останні роки воєнно-технічна політика технічно-розвинутих країн відрізняється високою динамічністю, гнучкістю, сконцентрованістю на пріоритетних напрямках воєнно-технічного будівництва. Основним її завданням є створення систем озброєння, що здатні за рахунок якісної переваги забезпечити успішне рішення національними збройними силами бойових завдань з можливістю нав'язування противнику в ході бойових дій вигідних для себе форм і способів воєнного протиборства. Бойові дії на Сході України вимагають постійного вдосконалення технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки з метою якісної протидії кількісній перевазі збройним силам Російської Федерації та іншим формуванням з нетиповою організаційно-штатною структурою. Великі втрати зразків озброєння та військової техніки Збройних Сил України обумовлюють постійний пошук нових ефективних шляхів підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин. В ході проведеного авторами дослідження розглянуто основні напрямки підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин. В ході проведеного авторами дослідження використані основні положення протимінної стійкості, теорії живучості та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. За результатами проведеного дослідження авторами визначено, що основні напрямки підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин направлені на: оптимізацію компоновальних схем; впровадження засобів посилення протимінної стійкості; різні види бронювання з використанням сучасних високоміцних матеріалів; впровадження матеріалів і нових технологій, що забезпечують скритність; підвищення мобільності бойових броньованих машин; зменшення маси бойових броньованих машин; зменшення вартості розробки, експлуатації, ремонту та утилізації зразків бойових броньованих машин. Реалізація зазначених напрямків підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин дозволить зберегти життя особового складу та дозволить забезпечити виконання поставлених завдань.

**Ключові слова:** стандарти, спроможності, НАТО, Збройні Сили України, бойові броньовані машини, живучість, протимінна стійкість.

### Вступ

В останні роки воєнно-технічна політика технічно-розвинутих країн відрізняється високою динамічністю, гнучкістю, сконцентрованістю на пріоритетних напрямках воєнно-технічного будівництва.

Основним її завданням є створення систем озброєння, що здатні за рахунок якісної переваги забезпечити успішне рішення національними збройними силами бойових завдань з можливістю нав'язування противнику в ході бойових дій вигідних для себе форм і способів воєнного протиборства.

Разом з тим, бойові дії на Сході України вимагають постійного вдосконалення технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки з метою якісної протидії кількісній перевазі збройним силам РФ та іншим формуванням з нетиповою організаційно-штатною структурою [1-3].

Нарощування і оновлення парків бойових броньованих машин (ББМ), включаючи закупівлі, БМП і бойових розвідувальних машин, відбувається в кожному регіоні світу. Сюди входить розробка нових систем, модернізація існуючих систем і закупівля надлишків бойових броньованих машин арміями, що змінюють структуру своїх бронетанкових сил.

Враховуючи зазначене, *метою статті* є обґрунтування напрямків підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин.

### Виклад основного матеріалу

**Розвиток озброєння ББМ.** Завжди було, є і буде бажання підвищити вогневу потужність ББМ. Втім, для ББМ на відміну, наприклад, від зразків бронетанкової техніки або спеціалізованих бойових

машин типу протитанкової установки, є більш сильна залежність між розмірами озброєння і іншими необхідними можливостями.

Встановлення автоматичної гармати більшого калібру в минулому вимагало населеної вежі, щоб можна було забезпечити кріплення що відповідає її калібру, зберігання боеприпасів та їх подачу. Відповідна за характеристиками прицільна система забезпечувала дальність і точність, необхідні стрілку, і якщо необхідно було одночасно вести пошук цілей, також і командирів [2-4].

Все це означало або одномісну, або двомісну вежу. Населеним баштам необхідний захист, вони займають місце на даху, вони мають "кошика", що займають внутрішній простір в корпусі. Як наслідок, додавалася маса і зменшувався внутрішній простір. Тому рішення щодо "підвищення вогневої потужності" бойової машини вимагало ретельного проектування і тактичних передумов.

В результаті, більший калібр систем озброєння був обмежений по суті, розвідувальними машинами, яким не потрібно було перевозити багато солдатів, і деякими БМП, які мали меншу десантне відділення.

Сама БМП є визнанням необхідності певного балансу. Це вимагає нелегкого компромісу між оптимізацією для пішого бою і для дій на бойових машинах. Будучи невеликим, піхотне відділення втратило тактичні можливості для окремого маневру, тому тактика підрозділу на БМП спрямована на безпосередню підтримку машини або піхоти, що діє у пішому порядку.

Прийняття компромісу "десант проти калібру гармати" дозволило озброїти БМП 25-мм, 30-мм, 35-мм або навіть 40-мм автоматичними гарматами.

До технічних інновацій, що змінює цю динаміку проектування, відноситься вдосконалення дистанційно керованих модулів озброєння (ДКМО). У новітніх ДКМО повною мірою використовуються досягнення в оптоелектроніці і відеокамерах з тим, щоб встановлювати більш велике озброєння без колишніх обмежень [2-5].

Фактично ДКМО - це зовнішня система по відношенню до машини, оператор розташовується віддалено від модуля, як правило, всередині корпусу.

Озброєння і боеприпаси розміщуються поза корпусом, а прицілювання виконується за допомогою камер високого розширення, що встановлюються разом з озброєнням, а вимоги до внутрішнього об'єму обмежені дисплеями стрілка і засобами управління модуля. Немає необхідності проникати в корпус, тому з'являється більше варіантів установки модуля на даху машини.

Перші успішні ДКМО були озброєні крупнокаліберними кулеметами. Модуль Protector норвезької компанії Kongsberg досяг особливого успіху, коли було прийнято рішення про його встановлення на бронетранспортери американської армії Stryker M1126 виробництва General Dynamics.

Переваги цього ДКМО полягають в значному зниженні маси в порівнянні з населеною баштою і здатності вести вогонь по цілях при повному захисті оператора. До недоліків ДКМО відносяться обмежені ситуаційна обізнаність і виявлення цілей і необхідність залишати корпус машини для перезарядження озброєння.

Прогрес в конструкції ДКМО дозволив БМ отримати переваги дистанційного озброєння з гарматами більшого калібру.

Дебют у 2009 році БМП PUMA розробки PSM (спільне підприємство Krauss-Maffei Wegmann (KMW) і Rheinmetall) з безлюдної 30-мм вежею LANCE, яка йде на зміну БМП MARDER німецької армії, розглядався на той момент деякими як щось незвичайне (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд башти LANCE з 30-мм гарматою на німецькій БМП PUMA

Однак, сьогодні в австралійському конкурсі за програмою Land 400 беруть участь машини з нежилими вежами. Крім того, в рамках прискореної програми американська армія за активної участі компанії General Dynamics Land Systems розгорнула в 2-му

розвідувальному полку, розквартированому в Німеччині, модернізовані бронемашини STRYKER з 30-мм ДКМО MCRWS (Medium Caliber Remote Weapon Station).

**Живучість БМ.** Захист, колись синонім броні, в даний час є просто одним з інструментів, призначеним для забезпечення живучості зразка (солдата). Багато армій не готові поступитися безпекою особового складу. Живучість є найважливішим фактором, хоча він не повинен підвищуватися за рахунок зменшення мобільності, яка є важливою складовою захисту своїх сил.

Це передбачає виключення або зниження таких факторів, як [1-3]: заброневий розліт осколків; вибухова хвиля; вторинний вплив і навіть предмети, що розлітаються, що підвищують вражаючу дію.

В результаті з'являються рішення, які не тільки протистоять загрозам, але також знижують вражаючі фактори після попадання снаряда чи ракети, тим самим підвищуючи живучість екіпажу і машини. Наприклад, у новій БМП PUMA німецької армії (в даний час пропонується для австралійської програми Land 400) використаний ще один підхід до захисту екіпажу. Командира і стрілка-навідника перемістили в корпус і замінили традиційну жилу башту безлюдною 30-мм вежею LANCE. Це дозволяє зосередитися на підвищенні захисту і живучості шасі, в якому розміщуються екіпаж і десант. Вони в основному покладаються на дані з камер, сенсорів і відео-дисплеїв при веденні спостереження і виявлення цілей (рис. 1).

Якість, різноманітність і обсяг інформації, що отримується з сенсорів, спрощений обмін нею між системами і членами екіпажу - все це істотно спрощує роботу в пошуково-ударному режимі. Однак, старі підходи змінюються повільно і тепер з'ясовується, що всі кандидати на бойову розвідувальну машину (один з трьох типів машин) в рамках програми Land 400 пропонується з двомісною вежею.

**Живучість за рахунок систем виявлення.** Завдяки новим технологіям живучість БМ забезпечується тепер не тільки пасивними засобами протидії, а й системами, які борються з загрозами за рахунок порушення їх цілевказання. У них використовуються сенсори виявлення наведення, які попереджають оператора про те, що противник намагається прицілитися. Одна з подібних систем використовує приймачі лазерного опромінення, які визначають енергію лазерного випромінювання далекоміра або цілевказання / далекоміра керованого снаряда або ракети. При виявленні сигналу система негайно визначає напрямок, попереджає екіпаж і автоматично або вручну розвертає озброєння в напрямку загрози і запускає димові гранати. Димова завіса закриває обстрілювати машину від ворожого стрілка і порушує канал зв'язку керованої ракети, при цьому відкривається швидкий вогонь у відповідь (рис. 2).

До іншим реагує відповідним засобом протидії відносяться акустичні системи виявлення пострілу, подібні Boomerang III від Raytheon. Вони виявляють вироблений постріл, попереджають оператора і визначають напрямок і відстань до стрільця (рис. 3).



Рис. 2. Система виявлення опромінення ББМ



Рис. 3. Акустична система виявлення пострілу Boomerang III, встановлена на броневий автомобіль HMMWV

Новітні системи, як наприклад EARS від QinetiQ North America, ледь видні на машині. Вони надають напрямок і фізичні координати GPS стрілка. Ця інформація може поширюватися по всьому підрозділу, на більш високі командні рівні і забезпечують вогневі засоби, які можуть накрити вогнем у відповідь. Можна назвати ще одну систему Acoustic Shooter Locating System від Rheinmetall Defense Electronics. Вона автоматично доворачиває ДКМО на виявлену ціль, дозволяючи негайно відповідати ефективним вогнем.

Взаємодія декількох бойових машин підвищує можливості окремих бортових сенсорів, їхню соціальну значимість підвищується за рахунок миттєвого розподілу інформації. В результаті підвищується рівень володіння обстановкою і скорочується час прийняття рішень відкриття вогню у відповідь [6, 7].

Ще напрямком використання сенсорів - системи функціонального ураження (soft-kill), до яких відноситься, наприклад, система, що встановлюється на основний бойовий танк українського виробництва "Оплот". До складу комплексу оптико-електронного подавлення "Варта" входить ІК-глушник, призначений для подавлення атакуючих ракет і цілевказівників керованого озброєння. Система інтегрується з датчиками попередження про лазерне опромінювання і пусковими установками аерозольної завіси.

Оптронні глушники також були обрані розробниками російських ББМ і стали встановлюватися ще на початку афганського конфлікту.

За наявною інформацією, вони були встановлені також на кілька нових російських машин. З іншого боку, оптико-електронний подавлення не отримало великого поширення на західних ББМ.

Нинішні системи виявлення є в основному реактивними в тому, що вони реагують на дію опонен-

та: постріл снайпера або стрілка ініціював процес захоплення цілі і відкриття вогню.

Деякі експерти вважають, що наступним кроком стане впровадження технологій, які завчасно будуть визначати місце розташування і підтверджувати ворожу ціль. Це дозволить машині, перш ніж по ній буде відкритий вогонь, вживати заходів протидії загрози на власних умовах, а не на умовах машини противника.

В даний час приділяється достатня увага зниження маси автомобіля при збереженні рівня захисту з метою підвищення маневреності за рахунок розробки нових міцних легких матеріалів для бронювання. Крім того, в інтересах зниження вартості технічного обслуговування і ремонту, потреби в запасних частинах і скорочення часу на навчання особового складу ремонтних підрозділів конструктори ведуть розробку сімейств машин, що мають до 90% взаємозамінних вузлів і агрегатів.

Крім підвищення живучості автомобілів військового призначення ведуться науково-дослідні і дослідно конструкторські роботи із забезпечення недопущення виведення з ладу водіїв і екіпажів. У цій області виділилося і швидкими темпами розвивається напрямком по створення роботизованих машин з функцією штучного інтелекту.

## Висновки

Таким чином, наведений у статті напрямки підвищення ефективності бойових броньованих машин найближчим часом може бути досягнута наступними заходами:

### 1) оптимізація компоновальних схем:

застосування модульних конструкцій на базі уніфікованого шасі в залежності від вирішуваних завдань;

зменшення габаритних параметрів автомобіля;

### 2) впровадження засобів посилення протимірної стійкості:

застосування регульованого кліренсу в сукупності з F-образним, зі збільшеною стійкістю (багатошаровим) днищем;

застосування броньованої капсули;

застосування різних панелей, що поглинають енергію вибуху;

застосування сидінь, які не мають жорсткого зв'язку з підлогою;

### 3) різні види бронювання з використанням сучасних високоміцних матеріалів:

застосування нетрадиційних броньових матеріалів;

застосування зварного корпусу машини, що складається з окремих броньових листів різної товщини;

застосування оптимальних кутів нахилу броньових листів;

застосування додаткового навісного бронювання з використанням різних екранів і противокумулятивних решіток;

застосування броньовий захисту передньої і бічних частин корпусу, посиленою керамічними плитками;

застосування броньовий захисту днища кузова, двигуна, трансмісії, роздавальної коробки і паливного бака; застосування броньованих вітрових стекол; застосування броньованого моторного відсіку, винесеного за базу автомобіля;

4) впровадження матеріалів і нових технологій, що забезпечують скритність:

застосування маскує фарбування; застосування різних систем пуску димових (аерозольних) завіс;

зниження помітності в радіо-, ІЧ-і оптичному діапазонах шляхом установки

захисних екранів, захисних фарб, спеціальних панелей і т. д.;

зниження шумності роботи двигуна; застосування високоефективної системи охолодження випускних газів,

комп'ютерного управління вентиляторами охолодження і турбіною наддуву;

5) підвищення мобільності автомобіля шляхом застосування:

гідромеханічних і електромеханічних трансмісій;

гідропневматичних підвісок; більш потужних двигунів з турбокомпресорами із змінною геометрією і електронними блоками управління режимом роботи двигуна;

протибуксовочних і антиблокувальних систем, систем управління міжосьовими і міжколесними диференціалами;

гібридних силових установок, електричних приводів коліс, модернізованих систем автоматичного регулювання тиску повітря в шинах, а також боєстійких шин.

6) зменшення маси бойових броньованих машин.

7) зменшення вартості розробки, експлуатації, ремонту та утилізації зразків бойових броньованих машин.

Реалізація зазначених напрямків підвищення живучості автомобільної техніки військового призначення дозволить зберегти життя особового складу та дозволить забезпечити виконання поставлених завдань.

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку методики підвищення протимінної стійкості бойових броньованих машин.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Купріненко А. Н., Голуб В. А. Синтез вариантов проектных гипотез технического облика перспективных типов боевых бронированных машин. *Військово-технічний збірник*. № 2(9). Львів : АСВ, 2013. С. 36–42.
2. Global armoured vehicles market report 2016/ URL: Режим доступу: <http://www.defenceiq.com/armoured-vehicles/articles/summary-of-global-armoured-vehicle-market-report-2>.
3. Купріненко О. М. Обґрунтування принципів формування перспективних типів бойових броньованих машин. *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. № 4(32). С. 40–46.
4. Купріненко А. Н., Голуб В. А. Выбор рационального варианта проектной гипотезы технического облика перспективных типов боевых бронированных машин // *Системи озброєння і військова техніка*. 2013. № 3(35). С. 24–28.
5. Бісик С. П., Бойко Г. О. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин // *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ*. 2014. № 3(3). С. 20–24.
6. Кузнецов, Ю. Основные направления развития боевых колесных машин зарубежных стран // *Зарубеж. воен. обозрение*. - 2013. - № 4. - С. 46-51.
7. Литвиненко А. В., Ткачук Н. А., Литвин Б. Я., Шейко А. И. Общий подход к проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов транспортных средств специального назначения. *Механіка та машинобудування*. 2012. № 2. С. 221–229.

Надійшла (received) 08.01.2020

Прийнята до друку (accepted for publication) 12.02.2020

#### Justification of directions of improvement of technical characteristics of battle armed machines

O. Zelenyukh, A. Tymko, M. Pynchuk

**Abstract.** In recent years, the military-technical policy of the technically-developed countries is characterized by high dynamism, flexibility, and focus on the priority areas of military-technical construction. Its main task is to create weapons systems that are able, through a high-quality advantage, to provide a successful solution to the national armed forces combat missions, with the ability to impose an enemy in the course of combat beneficial forms and methods of military combat. Combat operations in the east of Ukraine require continuous improvement of the technical characteristics of weapons and military equipment in order to qualitatively counter the quantitative advantage of the Russian Armed Forces and other formation with atypical organizational and staff structure. The large losses of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine cause a constant search for new effective ways of improving the technical characteristics of armored combat vehicles. In the course of the study, the authors considered the main directions of improving the technical characteristics of armored combat vehicles. In the course of the study, the authors used the main provisions of mine resistance, survivability theory and general scientific methods of analysis and synthesis. According to the results of the study, the authors determined that the main directions of improving the technical characteristics of combat armored vehicles aimed at: optimization of layout schemes; implementation of mine action enhancement; different types of booking using modern high-strength materials; introduction of materials and new technologies that provide secrecy; increasing the mobility of armored combat vehicles; reducing the weight of combat armored vehicles; reducing the cost of developing, operating, repairing and disposing of samples of combat armored vehicles. The implementation of these directions of improving the technical characteristics of combat armored vehicles will save the lives of personnel and will allow to ensure the achievement of the tasks.

**Keywords:** standards, capabilities, NATO, Armed Forces of Ukraine, armored combat vehicles, survivability, mine resistance.

М. В. Ковба, В. Б. Рій

Національна академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

**Анотація.** В останні роки воєнно-технічна політика технічно-розвинутих країн відрізняється високою динамічністю, гнучкістю, сконцентрованою на пріоритетних напрямках воєнно-технічного будівництва. Основним її завданням є створення систем озброєння, що здатні за рахунок якісної переваги забезпечити успішне рішення національними збройними силами бойових завдань з можливістю нав'язування противнику в ході бойових дій вигідних для себе форм і способів воєнного протиборства. Бойові дії на Сході України вимагають постійного вдосконалення технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки з метою якісної протидії кількісній перевазі збройним силам Російської Федерації та іншим формуванням з нетиповою організаційно-штатною структурою. Великі втрати зразків озброєння та військової техніки Збройних Сил України обумовлюють постійний пошук нових ефективних шляхів підвищення живучості зразків озброєння та військової техніки Збройних Сил України. В ході проведеного авторами дослідження розглянуто основні напрямки підвищення живучості зразків автомобільної техніки військового призначення. В ході проведеного авторами дослідження використані основні положення протимінної стійкості, теорії живучості та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. За результатами проведеного дослідження авторами визначено, що основні напрямки підвищення живучості автомобільної техніки військового призначення направлені на: оптимізацію компоновальних схем; впровадження засобів посилення протимінної стійкості; різні види бронювання з використанням сучасних високоміцних матеріалів; впровадження матеріалів і нових технологій, що забезпечують скритність; підвищення рухливості автомобіля. Реалізація зазначених напрямків підвищення живучості автомобільної техніки військового призначення дозволить зберегти життя особового складу та дозволить забезпечити виконання поставлених завдань.

**Ключові слова:** стандарти, спроможності, НАТО, Збройні Сили України, автомобільна техніка, живучість, протимінна стійкість.

### Вступ

В останні роки воєнно-технічна політика технічно-розвинутих країн відрізняється високою динамічністю, гнучкістю, сконцентрованою на пріоритетних напрямках воєнно-технічного будівництва.

Основним її завданням є створення систем озброєння, що здатні за рахунок якісної переваги забезпечити успішне рішення національними збройними силами бойових завдань з можливістю нав'язування противнику в ході бойових дій вигідних для себе форм і способів воєнного протиборства.

Разом з тим, бойові дії на Сході України вимагають постійного вдосконалення технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки з метою якісної протидії кількісній перевазі збройним силам РФ та іншим формуванням з нетиповою організаційно-штатною структурою [1-3].

Враховуючи зазначене, *метою зазначеної статті* є обґрунтування технічних рішень щодо підвищення живучості автомобільної техніки збройних сил України.

### Виклад основного матеріалу

Істотне нарощування оперативних і бойових можливостей збройних сил провідних країн світу за рахунок їх оснащення високоефективними зразками озброєння та військової техніки (ОВТ) дозволяє досягати своїх політичних цілей силовим способом.

У період до 2030 року основні види та типи ОВТ провідних країн світу будуть вдосконалюватися головним чином еволюційним шляхом, що не виключає при цьому можливості зростання їх окремих якісних характеристик в кілька разів.

Автомобільна техніка військового призначення (АТВП) відноситься до одного з найчисленніших видів озброєння військової і спеціальної техніки, що забезпечують мобільність військ армії будь-якої держави. Наприклад, тільки в збройних силах США легких по масі автомобілів військового призначення типу "Хаммер" налічується 200 тис. одиниць, в тому числі 160 тис. - в Сухопутних військах. Зразки АТВП широко застосовують не тільки для транспортування особового складу і військових вантажів, а й як базові шасі під монтаж різних видів озброєння і техніки, включаючи спеціальні в усіх видах і родах військ. Саме тому технічний рівень оснащення АТВП поряд з мобільністю частин і підрозділів, ефективністю функціонування систем їх матеріально-технічного забезпечення, визначає бойовий потенціал військових формувань. Застосування АТВП в якості засобу мобільності різних артилерійських систем, зенітно-ракетних комплексів, засобів зв'язку та інших видів озброєння і техніки дозволило значно підвищити маневреність і рухливість військ. Однак при цьому гостро постала проблема забезпечення захищеності від засобів ураження противника не тільки екіпажів, але також самого кошти рухливості. Тому однією з основних задач забезпечення бойової ефективності АТВП в арміях розвинених країн є підвищення її живучості. Таким чином, перед конструкторами автомобілів постало завдання перетворити їх в високоефективні бронеавтомобілі, в кожному з яких будуть поєднуватися функції транспортного засобу і бойової машини підвищеної живучості.

Аналіз розвитку бронеавтомобілів [1-3] показує, що забезпечення їх живучості виробляється із застосуванням різноманітних технічних рішень.

З метою забезпечення захисту від ударної хвилі, від осколків мін і снарядів застосовується оптимізація компоувальною схеми автомобіля. вона передбачає розміщення екіпажу, основних вузлів і агрегатів машин в місцях, що обмежують вплив зазначених вище вражаючих факторів.

При цьому одним з пріоритетних напрямків є реалізація принципу – чим менше мета, тим важче в неї потрапити. Цей принцип використовують всі виробники автомобілів. У класі бойових колісних машин зроблений акцент на легкі і середні автомобілі повною масою 6-7 т. Однак габарити агрегатів, обладнання та внутрішні обсяги не дозволяють по-

вністю використовувати вищевказаний підхід. Тому конструктори намагаються оптимізувати габарити, максимально зменшити висоту машин, застосовувати схему “кліренс + внутрішній обсяг салону”.

Регульована підвіска дозволяє піднімати і опускати корпус інструмента в залежності від виконуваних завдань. Підвищення живучості автомобіля здійснюється за рахунок забезпечення його скритності. Скритність бронеавтомобіля здійснюється за рахунок застосування маскуючого фарбування (рис. 1), використання систем пуску димових (аерозольних) завіс, зниження помітності в радіодіапазоні, інфрачервоному і оптичному діапазонах.



Рис. 1. Приклад використання маскуючого фарбування автомобілю

Досягнення малої помітності від засобів радіолокації наземних цілей досягається застосуванням радіо прозорих композитних матеріалів (керамічна або композитна броня). Зниження видимості вузлів і агрегатів з металу здійснюється їх екрануванням.

Скритність пересування бронеавтомобіля забезпечується застосуванням тягових електродвигунів, теплове випромінювання яких не перевищує 5-15% від підводиться до них електроенергії, в той час як у двигуна внутрішнього згоряння розсіюється у вигляді теплового випромінювання до 70% енергії згорає в ньому палива. Звук двигуна внутрішнього згоряння демаскує автомобіль, а електродвигуни можуть бути практично безшумними. Безшумна робота двигуна досягається також завдяки збалансованості деталей, максимально знижує вібрацію, крім цього застосовуються високоефективні системи охолодження випускних газів, системи комп'ютерного управління вентиляторами охолодження і турбіною наддуву.

Застосування різних видів бронювання в значній мірі впливає на забезпечення живучості автомобіля. Сьогодні існують два основні варіанти забезпечення захисту від куль, осколків і кумулятивних боєприпасів. Перший - виконання броньовий конструкції з незмінним рівнем захисту при умови забезпечення високої стійкості. Прикладом може служити броньована конструкція німецького бронеавтомобіля “Боксер”, яка забезпечує захист від 30-мм бронебійно-підкаліберних снарядів автоматичних гармат при масі машини 30 т. Другий - застосування базового рівня захисту з можливістю посилення броньовий конструкції в залежності від умов обстановки. Додаткова (навісна) захист встановлюється

на деякій відстані від основного корпусу і виготовляється, як правило, з композиційних матеріалів.

Наприклад, корпус бронеавтомобіля VBCI виготовлений з алюмінієвої броні з накладками з броньованої сталі або титану, що забезпечують захист від 14,5-мм бронебійних куль або 25-мм бронебійних снарядів відповідно. Одним з конструктивних рішень є застосування днища корпусу, що має F-образний перетин (рис. 2), що сприяє відображенню ударної хвилі або осколків. Підбір оптимальних кутів нахилу броньових листів дозволяє підвищити захист екіпажу від бокового обстрілу зі стрілецької зброї (рис. 3). Крім того, застосовується додаткове навісне бронювання з використанням різних екранів і протикумулятивних решіток.



Рис. 2. Бронеавтомобіль “Дінго-2”

В армії США на більшості моделей автомобілів застосовується бронювання винесеного за базу автомобіля моторного відсіку, який на підрив бере на

себе левову частку енергії вибуху і дозволяє протистояти легкому і важкому стрілецької зброї бойовиків, практично переважному в їх озброєнні.



Рис. 3. Бронеавтомобіль "Ігл-4"

У збройних силах багатьох іноземних держав знайшли широке застосування нетрадиційні броньові матеріали (сталь замінюється керамікою, алюмінієм і армованими пластмасами), посилення броньовий захисту передньої і бічних частин корпусу керамічними плитками, бронювання судний водія і командира знизу, бронювання вітрових стекол, бронювання захисту днища кузова, двигуна, трансмісії, роздавальної коробки і паливного бака.

Для досягнення високої протимінної стійкості при конструюванні бронеавтомобілів широко застосовують такі рішення:

- використання міцної кабіни-капсули; обладнання бойового відділення багатощаровим днищем; розміщення зовнішніх панелей, що поглинають енергію вибуху; застосування додаткових захисних панелей на підлозі;

- збільшення динамічного ходу коліс; конструктивне відділення сидінь від підлоги.

Кабіна-капсула при підриві на міні служить надійним захистом для екіпажу. Зміцнення не всієї машини, а тільки кабіни дозволило помітно знизити загальну масу автомобіля і забезпечити з великою ступенем ймовірності виживання особового складу.

Сидіння спеціальних конструкцій не мають жорсткого зв'язку з підлогою автомобіля і захищають від ураження опорно-руховий апарат людини.

Найпоширенішим варіантом є кріплення сидінь до стелі корпусу автомобіля за допомогою гнучких кріплень. Обладнання автомобіля зовнішніми панелями забезпечує розсіювання енергії вибухових пристроїв. Використання перерахованих вище конструктивних рішень забезпечує виживання екіпажу при підриві на фугасні пристрої потужністю до 8 кг в тротиловому еквіваленті під колесом і 6 кг під днищем машини. На живучість автомобіля в певній мірі впливає його рухливість. Підвищення рухливості автомобіля дозволяє швидко і своєчасно вийти з-під вогню противника. Для цього на сучасних і розроблених зразках бронеавтомобілів простежуються тенденції застосування [1]:

- гідромеханічних і електричних трансмісій;
- гідропневматичних підвісок;

- більш потужних двигунів з турбокомпресорами із змінною геометрією і електронними блоками управління режимом роботи двигуна;

- протибуксовочних і антиблокувальних систем;
- системи управління міжосьовими і міжколесними диференціалами;

- електричних приводів коліс (рис. 4), модернізованих систем автоматичного регулювання тиску повітря в шинах, а також боєстійких шин.

На нових бронеавтомобілі зарубіжного виробництва використовується гідромеханічна трансмісія, що дозволяє на бронеавтомобілі з колісною формулою 8 x 8 за рахунок зміни різниці швидкостей обертання коліс на протилежних бортах зменшити радіус повороту до 8-10 м, на відміну від колишніх 25-30 м.

Є дослідні зразки колісних машин з можливістю розвороту на місці. Однією з тенденцій є застосування гідропневматичною підвіски, забезпечує не тільки високі параметри підресорювання, а й можливість регулювання дорожнього просвіту і кутів крену машини для досягнення високої прохідності. Крім цього при високій ймовірності підриву бронеавтомобіля встановлюється максимальний просвіт, а при завантаженні в військово-транспортний літак він зменшується до мінімуму. Активно ведуться дослідно-конструкторські роботи по вдосконаленню автомобілів з гібридними (комбінованими) силовими установками. впровадження електромоторів в маточину кожного колеса і відсутність прямого зв'язку з двигуном дозволять зберегти рухливість в разі виходу з ладу одного з приводів. Це дає можливість машині самостійно вийти з-під вогню противника при підриві на міні або ураженні іншими видами зброї.

Для підвищення живучості та експлуатаційної надійності бронеавтомобіля широко застосовуються боєстійкі шини [4-7]. Їх диски оснащуються додатковими внутрішніми ободами з композиційних матеріалів, що забезпечує при пошкодженні або розриві шини рух машини по пересіченій місцевості зі швидкістю 20 км / год на відстань не більше 50 км (рис. 4, 5).



Рис. 4. Вставка безпеки

Перспективним напрямком розвитку кулестійких шин є непневматичні шини (рис. 6). У таких конструкціях пневматична резинометалева оболонка замінена на конструкцію з полімерних матеріалів. Ці шини працюють без створення всередині них надлишкового тиску, що робить їх нечутливими до



проколу. Крім того, шини подібної конструкції поглинають частину енергії при підриві на вибуховому пристрої. Однією з різновидів непневматичних шин є шини NPT (Non pneumatic tire).



Рис. 5. Пневматична шина Michelin PAX з еластичної кільцевої вставкою



Рис. 6. Непневматичне колесо типу NPT

Шина має стільникову структуру і здатна виконувати свої функції при руйнуванні своєї структури до 30%. Також вона не вимагає обслуговування протягом всього терміну служби.

Однак недоліком непневматичних шин є неможливість їх використання на високих швидкостях через перегрів, підвищена гучність, менші демпфуючі властивості, а також неможливість зміни тиску на ґрунт шляхом зміни тиску в шині.

В даний час приділяється достатня увага зниження маси автомобіля при збереженні рівня захисту з метою підвищення маневреності за рахунок розробки нових міцних легких матеріалів для бронювання. Крім того, в інтересах зниження вартості технічного обслуговування і ремонту, потреби в запасних частинах і скорочення часу на навчання особового складу ремонтних підрозділів конструктори ведуть розробку сімейств машин, що мають до 90% взаємозамінних вузлів і агрегатів.

Крім підвищення живучості автомобілів військового призначення ведуться науково-дослідні і дослідно конструкторські роботи із забезпечення недопущення виведення з ладу водіїв і екіпажів. У цій області виділилося і швидкими темпами розвивається напрямок по створення роботизованих машин з функцією штучного інтелекту.

## Висновки

Таким чином, проведений у статті аналіз показав, що технічні рішення що застосовуються в арміях провідних країн світу дозволяють забезпечити ефективну захист автомобіля від різних видів зброї, підвищити його живучість, є загальними і можуть бути розділені на кілька основних напрямків:

### 1) оптимізація компоувальних схем:

застосування модульних конструкцій на базі уніфікованого шасі в залежності від вирішуваних завдань;

зменшення габаритних параметрів автомобіля;

### 2) впровадження засобів посилення протимірної стійкості:

застосування регульованого кліренсу в сукупності з F-образним, зі збільшеною стійкістю (багатошаровим) днищем;

застосування броньованої капсули;

застосування різних панелей, що поглинають енергію вибуху;

застосування сидінь, які не мають жорсткого зв'язку з підлогою;

### 3) різні види бронювання з використанням сучасних високоміцних матеріалів:

застосування нетрадиційних броньових матеріалів;

застосування зварного корпусу машини, що складається з окремих броньових листів різної товщини;

застосування оптимальних кутів нахилу броньових листів;

застосування додаткового навісного бронювання з використанням різних екранів і противокумулятивних решіток;

застосування броньовий захисту передньої і бічних частин корпусу, посилену керамічними плитками;

застосування броньовий захисту днища кузова, двигуна, трансмісії, роздавальної коробки і паливного бака;

застосування броньованих вітрових стекол;

застосування броньованого моторного відсіку, винесеного за базу автомобіля;

### 4) впровадження матеріалів і нових технологій, що забезпечують скритність:

застосування маскує фарбування;

застосування різних систем пуску димових (аерозольних) завіс;

зниження помітності в радіо-, ІЧ-і оптичному діапазонах шляхом установки

захисних екранів, захисних фарб, спеціальних панелей і т. д. ;

зниження шумності роботи двигуна;

застосування високоєфективної системи охолодження випускних газів,

комп'ютерного управління вентиляторами охолодження і турбіною наддуву;

### 5) підвищення рухливості автомобіля шляхом застосування:

гідромеханічних і електромеханічних трансмісій;

гідропневматичних підвісок;

більш потужних двигунів з турбокомпресорами із змінною геометрією і електронними блоками управління режимом роботи двигуна;

протибуксовочних і антиблокувальних систем, систем управління міжосьовими і міжколесними диференціалами;

гібридних силових установок, електричних приводів коліс, модернізованих систем автоматичного регулювання тиску повітря в шинах, а також боєстійких шин.

Необхідно відзначити, що в багатьох країнах з метою збереження життя водіїв і екіпажів виділилося перспективний напрямок - розробка дистанційно керованих машин, а також роботизованих машин з функцією штучного інтелекту.

Таким чином, необхідність підвищення живучості АТВП обумовлена збільшенням її кількості в військах як засіб рухливості озброєння, що наблизило АТВП до місць ведення активних бойових дій і підвищило ймовірність ураження зброєю різних видів. Аналіз технічних рішень щодо підвищення живучо-

сті АТВП, застосовуваних в арміях іноземних держав, показує, що забезпечення ефективної захисту автомобіля від різних видів зброї і підвищення його живучості проводиться по такими основними напрямками: оптимізація компоновальних схем АТВП, впровадження засобів посилення протимінної стійкості, застосування різних видів бронювання з використанням сучасних високоміцних матеріалів, підвищення скритності і рухливості АТВП.

Виділені напрямки є основними і загальними для більшості армій передових держав, що займаються підвищенням живучості АТВП.

Реалізація зазначених напрямків підвищення живучості автомобільної техніки військового призначення дозволить зберегти життя особового складу та дозволить забезпечити виконання поставлених завдань.

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку методики підвищення протимінної стійкості автомобільної техніки військового призначення.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Купріненко А. Н., Голуб В. А. Синтез вариантов проектных гипотез технического облика перспективных типов боевых бронированных машин // Військово-технічний збірник / Академія Сухопутних військ. № 2(9). Львів : АСВ, 2013. С. 36–42.
2. Global armoured vehicles market report 2016/ URL: Режим доступу: <http://www.defenceiq.com/armoured-vehicles/articles/summary-of-global-armoured-vehicle-market-report-2>.
3. Купріненко О. М. Обґрунтування принципів формування перспективних типів бойових броньованих машин // Системи озброєння і військова техніка. 2012. № 4(32). С. 40–46.
4. Купріненко А. Н., Голуб В. А. Выбор рационального варианта проектной гипотезы технического облика перспективных типов боевых бронированных машин // Системи озброєння і військова техніка. 2013. № 3(35). С. 24–28.
5. Бісик С. П., Бойко Г. О. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин // Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2014. № 3(3). С. 20–24. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2014.3\(3\).15-19](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2014.3(3).15-19).
6. Кузнецов, Ю. Основные направления развития боевых колесных машин зарубежных стран // Зарубеж. воен. обозрение. - 2013. - № 4. - С. 46-51.
7. Литвиненко А. В., Ткачук Н. А., Литвин Б. Я., Шейко А. И. Общий подход к проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов транспортных средств специального назначения // Механіка та машинобудування. 2012. № 2. С. 221–229.

Надійшла (received) 08.01.2020

Прийнята до друку (accepted for publication) 12.02.2020

#### Substantiation of technical solutions for increasing living Car technology of the armed forces of Ukraine

M. Kovba, V. Riy

**Abstract.** In recent years, the military-technical policy of technically developed countries has been highly dynamic, flexible, and concentrated on the priority areas of military-technical construction. Its main task is the creation of weapons systems that, due to their qualitative advantage, are capable of ensuring the successful fulfillment of combat missions by the national armed forces with the possibility of imposing on the enemy forms of military confrontation that are advantageous for themselves in the course of hostilities. Fighting in the east of Ukraine requires continuous improvement of the technical characteristics of weapons and military equipment in order to qualitatively counter the numerical superiority of the armed forces of the Russian Federation and other forces with an atypical organizational and staff structure. Large losses of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine are caused by the constant search for new effective ways to increase the survivability of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine. In the course of the study, the authors examined the main directions of increasing the survivability of military vehicles. In the course of the study, the authors used the main provisions of mine resistance, survivability theory and general scientific methods of analysis and synthesis. According to the results of the study, the authors determined that the main directions of increasing the survivability of military vehicles are aimed at: optimizing layout schemes; the introduction of means to strengthen mine resistance; different types of booking using modern high-strength materials; the introduction of materials and new technologies that provide stealth; increase vehicle mobility. The implementation of these directions of increasing the survivability of military vehicles will save the lives of personnel and will ensure the fulfillment of tasks.

**Keywords:** standards, capabilities, NATO, Armed Forces of Ukraine, automotive equipment, survivability, mine resistance.

К. Г. Ковцур, Н. В. Птиця, В. Ю. Федоров

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗНАХОДЖЕННЯ АВТОМОБІЛІВ У ПУНКТАХ НАВАНТАЖЕННЯ ТА РОЗВАНТАЖЕННЯ

**Анотація.** Розглядаються особливості роботи транспорту у ланцюзі постачань. В роботі наведено обґрунтування причин виникнення непродуктивних простоїв транспорту у пунктах навантаження та розвантаження. Визначені складові витрат часу автомобіля та фактори зовнішнього середовища впливу на них. В роботі запропонований підхід до визначення часу знаходження автомобілів у пунктах навантаження та розвантаження, який дозволить оцінити ефективність роботи транспорту.

**Ключові слова:** перевізник, час простою, навантаження, розвантаження, продуктивність автомобіля, транспортний засіб.

### Вступ

На сьогодні транспорт є запорукою існування економіки країни та держави в цілому. Більша частина перевезень припадає саме на автомобільний вид транспорту. Складовою частиною, від якої залежить значення продуктивності та загальних витрат на виконання процесу перевезення вантажів, є непродуктивні простоя транспортних засобів, що виникають, переважно, у пунктах навантаження та розвантаження.

Сьогодні ринок диктує такі умови, в яких автотранспортні перевізники знаходяться у положенні «заручника» ситуації. Виконуючи замовлення перевізники не мають ніякої впевненості, що транспортний засіб буде обслуговано в пунктах навантаження та розвантаження в зазначений в замовленні термін, що місце призначення не зміниться після укладення договору та заявки на транспортування та, врешті-решт, замовлення не буде скасовано взагалі. У таких умовах перевізникам майже не можливо спланувати роботу транспортних засобів. Для якісної роботи автотранспортного підприємства, логіст до підписання заявки на перевезення має знайти зворотне завантаження для уникнення витрат часу, пов'язаних з простоєм транспорту через пошук замовлення на перевезення. При цьому при виконанні замовлення з великою вірогідністю на них чекають непродуктивні простоя у пунктах навантаження та розвантаження, переадресації та повернення товару, через які, не маючи інших рішень, перевізники змушені відмовлятися від зворотного завантаження, а іноді навіть і сплачувати штрафи за ненадання транспорту під навантаження в зазначений термін.

Через неякісну організацію процесу навантаження та розвантаження транспортні засоби можуть мати простоя до декількох діб через відсутність вантажу або вантажників, неякісний вантаж, велику чергу тощо. Середня вартість простою автомобіля по Україні складає 500 грн за добу, при тому що перевізнику потрібно платити добову заробітну плату водію, яка може складати більшу частину цієї суми.

Ситуація на ринку транспортних послуг носить стохастичний характер, що ускладнює роботу автотранспортних підприємств. Розробка моделі часу навантаження та розвантаження дозволить зменши-

ти загальні витрати всіх учасників транспортного процесу та якісно спланувати роботу перевізникам. Виходячи з мети роботи треба визначити групу параметрів, що характеризують умови перевезень і впливають на показники роботи транспорту у пунктах навантаження та розвантаження при доставці товарів на склад.

**Аналіз публікацій.** Визначення часу навантаження або розвантаження в системі доставки вантажів представлено в роботах вчених, таких як Курейчик В.М., Рокотянський А.А., Мочалін С.М., Володіна А.М., Тарасюк Ю.В. та ін.

Норми часу, які витрачаються транспортними засобами під навантаженням або розвантаженням, для визначення економічних показників роботи та для визначення продуктивності роботи транспорту часто приймаються з Прейскуранта 13-01-02 [1], але вони мають тільки рекомендаційний характер, та на сьогодні є застарілими, майже не використовуються логістами через похибку фактичних значень від нормативних. Ці норми часу визначались емпіричним шляхом в 90-х роках, тому через великий проміжок часу мають уточнюватись та корегуватись. Також невідомо, яким чином формувалися ці нормативи, невідома кількість спостережень та їх тривалість.

Автор у роботі [2] припускає, що скорочення тривалості простою автомобіля в пунктах навантаження та розвантаження вантажу може бути досягнуто за умови:

- раціональної організації та технології навантажувально-розвантажувальних робіт в пунктах відправлення і прибуття вантажу;

- підвищення рівня механізації НРР шляхом заміни ручної праці на механізовану та впровадження більш продуктивної конструкції засобів механізації.

Проведені дослідження залежності продуктивності автомобіля від часу його перебування в пунктах навантаження й розвантаження показують, що добова продуктивність автомобіля при незмінних часу на маршруті, номінальної вантажності та статичного коефіцієнту використання вантажопідйомності виявляється у зворотній пропорційній залежності від тривалості їздки автомобіля  $t_f$ . Звідси виходить, що за рахунок скорочення часу на поїздку автомобіля можна збільшити його продуктивність.

В.М. Курейчик та А.А. Рокотянський [3] пропонують методика визначення часу навантаження/розвантаження, яка враховує наступні фактори: тип товару, число одиниць товару та число вантажівок. Змінними у даному випадку є порядки під'їзду і від'їзду автомобілів. Отже, за думкою авторів, час роботи буде напряму залежати від цих двох перестановок.

В роботах багатьох вчених методика визначення часу навантаження/розвантаження в явному вигляді не представлена [4, 5]. Часто в роботах вчених задається час на одну тону певного вантажу, які не обґрунтовуються, або ж використовується середнє значення [7, 8]. Найчастіше дослідники роблять посилення на [9]. Цей документ складався у 1987 році, що за фактором часу також має бути уточненим та переглянутим згідно сучасних умов, що впливають на транспортний процес. Автор [10] пропонує визначення часу обслуговування виходячи зі способу й організації навантажувально-розвантажувальних робіт, кількості вантажу, що підлягає навантаженню, обсягу попутного збору та витрати часу на навантаження та розвантаження однієї тони вантажу. Фактичний час обслуговування має непостійний характер, що свідчить про його коливання, тим самим цей спосіб визначення даного показника недоцільний, тому що похибка є досить значною. У [11] час простою автомобіля під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій визначається, перш за все, продуктивністю механізмів, що обслуговуються. Кожен вантажний пункт являє собою окремо функціонуючу систему зі своїми витратами часу на обслуговування, які залежать від ряду факторів: оснащення механізмами різної продуктивності; вантажі, запропоновані до перевезення, можуть ставитися до різних класів, і відповідно до цього буде різна ступінь використання номінальної вантажопідйомності автомобілів; витратами часу на виконання супутніх операцій (маневрування, зважування, заповнення необхідних документів).

У роботі Мочаліна С.М. [12] проведені натурні спостереження (пасивний експеримент) за зміною часу простою стосовно одного автомобіля за кілька днів місяців. Автор описує перманентні коливання часу навантаження, в результаті чого час простою під навантаження/розвантаження по днях. Автор зазначає, що якщо планувати роботу по середньому часу простою, то це щодня буде приводити до помилок. Встановити закономірність коливань часу простою автомобіля за допомогою відомих законів розподілу не виявилось можливим, значення величини часу простою є випадковим імовірнісним, а математичний опис вимагає уточнення. Величину помилки при плануванні можна зменшити, якщо щодня (щозміни) при визначенні можливого числа їздок (обертів) використовувати середнє значення часу простою автомобіля під навантаженням та розвантаженням, розрахованого, виходячи з реальних витрат часу на виконання вантажних операцій, тому що час простою залежить від технічних можливостей вантажних механізмів, а також від кількості вантажу, що підлягає навантаженню та розвантаженню.

Усі вищезгадані автори відзначають суттєвий вплив часу знаходження транспортного засобу в пункті навантаження / розвантаження на ефективність роботи транспорту, але в наведених роботах не приводиться чітких методик визначення впливу факторів на час знаходження транспортного засобу у пункті.

**Мета і постановка задачі.** Сучасний стан ринку не дає можливості перевізникам планувати роботу транспортних засобів з метою збільшення їх продуктивності. Не можливо спрогнозувати, коли автомобіль буде навантажено або розвантажено: одразу після прибуття до місця призначення або через декілька годин чи діб. Врахування можливих коливань часу перебування у пунктах навантаження / розвантаження дозволило б підвищити ефективність перевізного процесу. Тому метою роботи є: знаходження параметрів, які, повною мірою, характеризують умови перевезень і впливають на показники роботи транспорту у пунктах навантаження та розвантаження при доставці товарів на склад, що дозволить підвищити продуктивність транспорту в ланцюзі постачань.

### Суть пропозиції

Час знаходження автомобіля у пункті навантаження чи розвантаження можна представити як суму певних відрізків часу. Час знаходження автомобіля у пункті навантаження (розвантаження) визначається цільовою функцією, яку можна представити як

$$t_{н(р)} = t_m + t_o + t_{обсл} + t_n + t_d \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $t_m$  – час маневрування, год.;  $t_o$  – час очікування обслуговування, год.;  $t_{обсл}$  – час обслуговування, год.;  $t_n$  – час, який потребується на прийом вантажу (при навантаженні  $t_n=0$ ), год.;  $t_d$  – час оформлення документів, год.

Час простою автомобіля у пункті навантаження (розвантаження) має у своєму складі багато показників, що мають вплив на кінцеве його значення (рис. 1). Вагомими факторами, що мають вплив на час знаходження автомобіля під навантаженням/розвантаженням є ритм складу ( $R$ ), вантажність автомобіля ( $q$ ), ціна вантажу ( $\Pi$ ), час очікування навантаження або розвантаження ( $t_o$ ), час оформлення документів ( $t_d$ ).

Однією з основних причин виникнення простоїв рухомого складу в очікуванні навантаження і розвантаження є невідповідність ритму роботи навантажувального пункту і інтервалу руху автомобілів. Якщо інтервал руху автомобілів менше ритму роботи пункту навантаження (розвантаження), виникають простой рухомого складу в очікуванні навантаження (розвантаження), при зворотному співвідношенні виникають простой вантажних механізмів. Ритм складу є невід'ємною частиною якісної організації транспортного процесу. Цей фактор вказує на ефективність організації роботи складу та має обернено пропорційний вплив на продуктивність автомобіля, тобто чим менше значення ритму, тим продуктивність більша. Наприклад, в умовах безперебійної роботи значення цього показника визначає кількість транспортних засобів, що мають бути задіяні у виконанні переміщення вантажу.

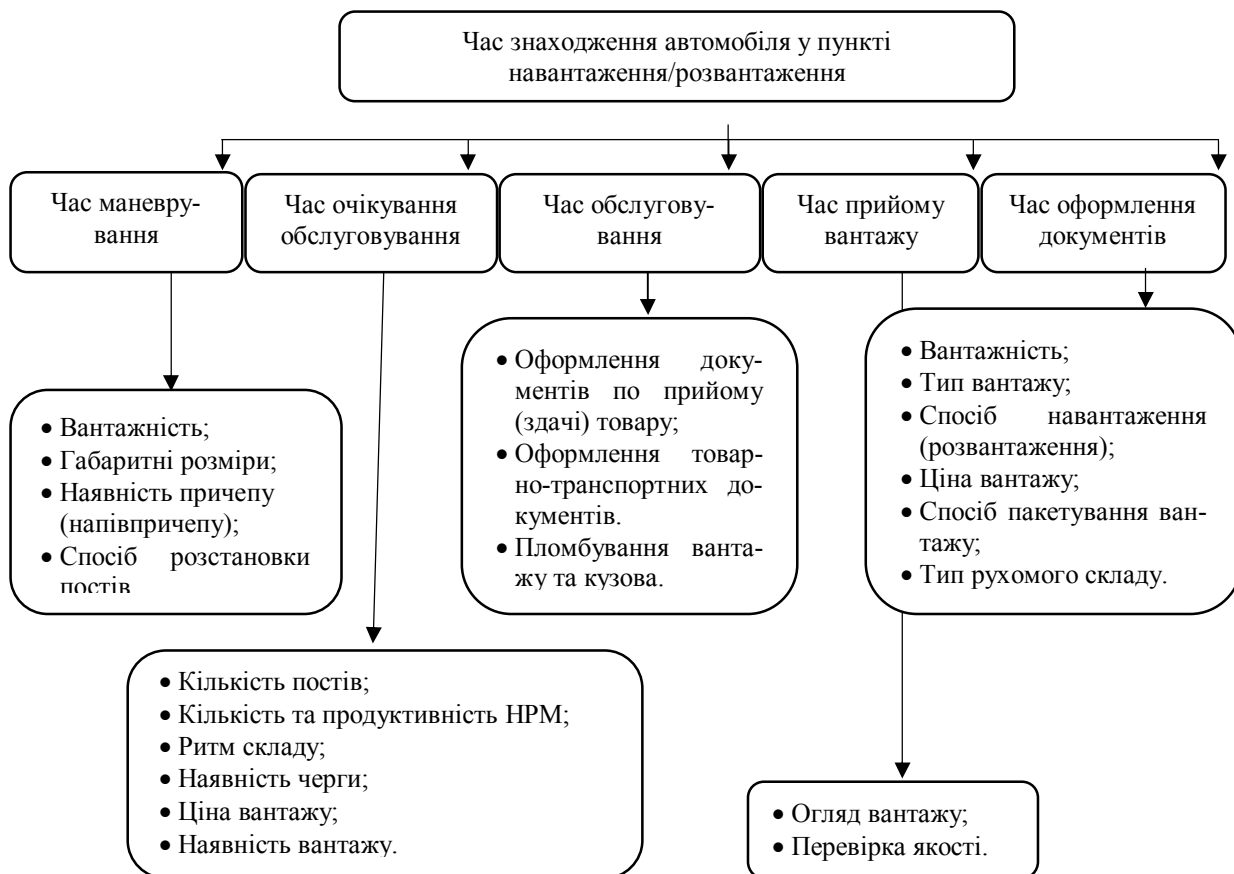


Рис. 1. Структура часу знаходження автомобіля у пунктах навантаження та розвантаження

Ритм роботи пунктів навантаження / розвантаження визначається

$$R = \frac{t_{обсл} \cdot \eta}{X_n}, \quad (2)$$

де  $X_n$  – кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів, од.;  $\eta$  – нерівномірність прибуття автомобілів.

Від вантажності транспортного засобу залежить величина часу маневрування автомобіля у пункті навантаження (розвантаження). Також вантажність автомобіля впливає на першочерговість обслуговування.

Так, наприклад, маловантажні автомобілі обслуговуватимуться першими, так як трудомісткість та час цього обслуговування буде меншим, хоч це і не завжди є ефективним. Час очікування обслуговування у сучасних умовах може складати більшу частину всього часу перебування у пункті навантаження або розвантаження, в виробництві його спрогнозувати дуже важко

$$t_o = t_{обсл}^1 + t_{обсл}^2 + t_{обсл}^n, \quad (3)$$

де  $t_{обсл}^1$ ,  $t_{обсл}^2$ ,  $t_{обсл}^n$  – час навантаження/розвантаження автомобілів, що обслуговуються та тих, що обслуговуватимуться наступними, год.

Цей непродуктивний простій призводить до великих збитків та втрат транспортного підприємства, компенсування яких нерегульовано, сума цієї компенсації зазвичай є незначною та не покриває пов-

ною мірою витрати перевізника як в явному виді, так і опосередковано. Тому перевізники наперед страхують свій прибуток підвищенням фрахту на виконання замовлення, що насамперед позначається на вартості товару на полках роздрібного торговця. Тобто за погану організованість роботи перевізного процесу «платить» кінцевий споживач.

У залежності від ціни вантажу, прийнятого до перевезення, залежить спосіб розвантаження (навантаження), черга обслуговування, збереження вантажу, а також час обслуговування. У ціну включено пакетування вантажу, наприклад, картопля у сітках значно дешевша за ту ж саму картоплю на піддонах, а отже картопля у сітках завантажена навалом не матиме пріоритет у черговості, трудомісткість та час обслуговування буде більшим, а також кузов транспортного засобу після розвантаження потребуватиме подальшого очищення. Ціна вантажу включає такі складові:

- собівартість одиниці продукції;
- обсяг вантажу;
- прибуток.

Також один з невинуватених простоях у пункті навантаження та розвантаження є очікування оформлення документів. Цей час є меншим за час очікування обслуговування, але його вплив на збитки та втрати автотранспортних підприємств є значними. За нормативами цей час становить 15-20 хвилин, що має принципову відмінність від того ж самого часу у фактичному представленні. Перевізники змушені відмовлятися від нового замовлення, так як клієнти

потребують негайного навантаження, а транспортний засіб знаходиться у стані очікування документів і проміжок часу до моменту отримання транспортних документів про прийняття товару є стохастичною величиною. Цей час як детерміновану модель можна представити таким чином:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{мм}} + t_{\text{нм}} + t_{\text{нл}}, \quad (4)$$

де  $t_{\text{мм}}$  – час оформлення товарно-транспортних накладних, год.;  $t_{\text{нм}}$  – час оформлення документів прийому (здачі товару), год.;  $t_{\text{нл}}$  – час пломбування вантажу та кузова, год.

## Висновки

В результаті проведеного дослідження сформульовані складові часу перебування транспортного засобу у пунктах навантаження та розвантаження з урахуванням можливих простоїв. За допомогою отриманої математичної моделі обрані фактори, які впливають на тривалість знаходження автомобіля у пунктах, що дозволить підвищити ефективність усього перевізного процесу. У подальшому доцільним є розробка регресійної моделі, до складових якої входять обрані фактори, що дозволить визначити ступінь впливу їх на залежну змінну.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прейскурант N13-01-02. Тарифы на перевозку грузов и другие услуги, выполняемые авто-мобильным транспортом. – Киев: Госкомцен УССР. – 1989. – 56с.
2. Северин, О. О. Оптимізація критерію оцінки ефективності технології доставки тарно-штучних вантажів/ О. О. Северин, О. О. Шуліка // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ – Харьков, 2017. – Вып. 40. – С. 20-23.
3. Курейчик В.М. Генетический алгоритм решения логистической задачи / В.М. Курейчик, А.А. Рокотянский // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: ТРТУ, 2012. – №136 –с. 245-251.
4. Куш Е. И. Планирование транспортного процесса перевозки грузов в условиях города (на примере города Харькова) / Е. И. Куш, А. С. Галкин, Н. А. Фиялко // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектури. - 2016. - Вип. 132. - С. 98-103.
5. Уланкова Н.А. Формирование объемов деятельности предприятий автомобильного транспорта, НОУ СПО «Горно-Алтайский экономический техникум Респотребсоюза РА». – 230 с.
6. Скрипін В.С. Визначення оптимальної вантажопідйомності транспортних засобів залежно від схем розвезення вантажів в логістичній системі / В.С. Скрипін, Є.І. Куш // , ХНУГХ, 2016.- С. 70-75.
7. Рыжиков Ю.И., Теория очередей и управление запасами / Учебное пособие, для вузов. — СПб.: Питер, 2001. — 384 с.
8. Chung-Lun Li Loading and unloading operations in container terminals / Chung-lun Li, George L. Vairaktarakis // Volume 36, 2004 - Issue 4 – P. 287-297.
9. Единые нормы времени на перевозку грузов автомобильным транспортом и сдельные расценки для оплаты труда водителей. Госкомтруда СССР, 1987. – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0142400-87> .
10. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев: Вышш. шк. Головное изд-во, 1986. – 140с.
11. Мочалин С.М. Анализ влияния времени погрузки и разгрузки подвижного состава на эффективность функционирования автотранспортной системы доставки грузов / С.М. Мочалин, А.М. Володина// Транспортное дело России, 2011. - Вып. 5. – С. 132-135.
12. Мочалин С.М. Математическая модель описания транспортного процесса в средних системах доставки грузов // Вестник ОГУ. – 2004. – № 2. – С. 185-189.

Надійшла (received) 18.12.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.01.2020

## About determining the time of vehicles in the loading and unloading points

K. Kovtsur, N. Ptitsa, V. Fedorov

**Abstract.** The study in the article is the parameters of unproductive transport downtime at loading and unloading points. **The aim of the study** is to identify the parameters that fully characterize the operating transport conditions at the loading and unloading points during the delivery of goods between warehouses, the optimization of which will improve the productivity of transport in the supply chain. **Research problems:** to identify the causes of unproductive transport downtime at loading and unloading points; to determine the components of the time of stay the vehicle at the loading / unloading points and the factors of the external environment impact on them, developing an approach to determine the time of stay the vehicle at the loading and unloading points, which will allow to evaluate the efficiency of transport. **The following results are received:** a critical analysis of existing approaches to determining the time of loading / unloading of a vehicle at the loading / unloading points made it possible to identify the absence of specific recommendations for the determination of the studied parameter of the transportation process; the use of the proposed approach to determining the time of stay the vehicle at loading and unloading points is substantiated; factors affecting the loading / unloading time were identified. **Conclusions.** As a result of the study, the components of the vehicle's residence time at loading and unloading points were formulated taking into account possible downtime. With the mathematical model obtained, the factors influencing the duration of the vehicle stay in the items were selected, namely the rhythm of the warehouse, the vehicles load capacity, the cost of cargo, the waiting time for loading or unloading, and the processing of documents. In the future, it is advisable to develop a regression model, the components of which are the selected factors, which will determine the degree of their influence on the dependent variable.

**Keywords:** carrier, idle time, loading, unloading, vehicle performance, vehicle.

Ю. М. Главчева, М. І. Главчев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАУКИ

**Анотація.** Предметом статті є аналіз підходів до оцінювання якості наукової діяльності на основі аналізу наукових публікацій та їх вплив на академічне середовище. **Результати.** Розглянуто та порівняно наукометричні системи, як інструменти для вимірювання якості наукової діяльності. Досліджено, що підходи до оцінки наукової діяльності впливають на поведінку учасників наукового процесу (автори, видавництва, інші) та викликають появу таких негативних явищ, як академічне шахрайство, маніпулювання наукометричними показниками, поява хижацьких видавництв та смітєвих видань. Проаналізовано поняття якості наукової публікації та її ключові характеристики. **Висновок.** Наукова якість є одним головних визначальних факторів оцінки наукової діяльності. Якість наукової діяльності відображується у публікаціях результатів наукових досліджень. Некоректне використання підходів до вимірювання якості наукової діяльності призводить до нечесних практик, не забезпечує адекватної оцінки, а, також, не сприяє підвищенню якості наукового процесу. Необхідно унеможливити маніпулювання показниками, забезпечувати якість наукових публікацій, вивчати кращі світові практики з оцінки наукової діяльності та адаптувати їх до власного наукового процесу.

**Ключові слова:** оцінка наукової діяльності, Web of Science Core Collection, Scopus, Google Scholar, бібліометрія, хижацькі видання, якість публікації, оригінальність.

### Вступ

Наукові експерти часто стикаються з вирішенням питань, пов'язаних з оцінкою наукової діяльності, порівнянням та рейтингуванням суб'єктів наукової діяльності за результатами їх наукової роботи. Прийняття рішень за цими питаннями є дуже важливим, відповідальним, та повинно бути обгрунтованим.

Під оцінкою наукової діяльності розуміємо дослідження якості наукового процесу, а саме якісного проведення усіх етапів наукової роботи, у тому числі достовірності отриманих результатів. Результати досліджень учених відображає у наукових публікаціях. Публікація є важливим елементом у системі наукових комунікацій та має вплив на розвиток науки в цілому. Зважаючи на те, що кількість інформації стрімко збільшується, визначення підходів до інтерпретації та вимірювання якості наукової публікації є важливим та актуальним завданням.

### Наукометричні системи (НС) та показники

У складі загальної оцінки застосовується бібліометричний метод, який базується на кількісному аналізі зв'язків між одиницями інформації (об'єкт, зміст) в інформаційних системах (ІС) за обраними показниками. Достовірність показників базується на якості даних в інформаційній системі, яка забезпечується упровадженням жорстких вимог до видань, що включаються до бази даних ІС [1].

Одним з критеріїв оцінки наукової діяльності є показники універсальних наукометричних систем: Web of Science Core Collection (WOS CC), Scopus, Google Scholar (GS). Наукометричні показники цих систем використовуються у світі при складанні глобальних академічних рейтингів.

Бази даних цих систем формуються на основі академічних документів. Щоб забезпечити їх науко-

ву цінність кожна з систем висуває вимоги до контенту. Вимоги для журналів Web of Science Core Collection та Scopus та загальні вимоги Google Scholar представлені у табл. 1.

Саме зміст вимог до контенту забезпечує достатній рівень якості академічних документів, які формують дані наукометричних систем. Вагомою вимогою є наявність у видання якісного наукового рецензування, на яке покладається експертний аналіз формальних та змістовних ознак публікації.

Системи різняться за технологією формування даних, що має вплив на достовірність показників. Проблеми виникають безпосередньо при ідентифікації авторів, академічних установ, цитувань публікацій, що впливає на результат підрахунку показників. Web of Science Core Collection та Scopus є подібними за підходами до формування даних. Дані в цих системах формуються на основі описових даних публікацій (першоджерело – стаття та її метадані). В обох базах можливо припинення індексації, але контент не видаляється (лише за правилами), наукометричні показники не зменшуються.

Система Google Scholar індексує доступні джерела, які відповідають вимогам до індексації. При «закритті» або недоступності сайту в мережі, в GS можливе видалення контенту (індексів). Це впливає на зменшення наукометричних показників, які перераховуються на основі оновлених (зменшених) даних.

Важливим завданням будь-якої ІС є підтримка даних в актуальному стані. Тому, крім процедур відбору, існують процедури/технології постійного моніторингу вже включених видань для забезпечення підтримки високого рівня їх якості. Перелік виключених видань Scopus завжди доступний за посиланням [2]. За цими даними у 2018 році було виключено 126 видань, а за перше півріччя 2019 року – 4.

Таблиця 1. – Порівняння вимог до видань для відбору до наукометричних систем.

Web of Science Core Collection	Процес відбору (групи вимог) [3]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• видавничі стандарти;</li> <li>• міжнародний склад (редактори, рецензенти, автори, читачі);</li> <li>• зміст видання;</li> <li>• аналіз цитування.</li> </ul>
Scopus	Політика щодо змісту та відбір (групи вимог) [4]: <ul style="list-style-type: none"> <li>• політика видання;</li> <li>• контент;</li> <li>• стандарти видання;</li> <li>• регулярність публікацій;</li> <li>• доступність в Інтернет мережі.</li> </ul>
Google Scholar	Інструкція для веб-майстра: технічні рекомендації з забезпечення індексації академічних веб-сайтів Google Scholar [5].

Автори [6] досліджували як журнали оновлюють свої веб-сайти, для того, щоб повідомити читачів про виключення та припинення індексації Scopus. У 56 журналів, які були виключені у 2016 році, на початок 2018 року на веб-сайтах залишалося повідомлення про індексацію Scopus. Крім того, ще 20 журналів, які теж були виключені у 2016 році, залишили на сайтах віджет від SCImago. Таким чином, була створена незрозуміла ситуація щодо поточної індексації видань у наукометричній системі.

Після вилучення видання з НС його індексація припиняється. Але статті з попередніх номерів, які вже були внесені до системи, лишаються. Це питання розглядається у відкритому листі [7].

Таблиця 2 – Зміни в академічному середовищі

Показник	Зміни
Кількість публікацій	Публікації в журналах сумнівної якості («хижацьких»). Зниження наукової цінності публікацій (дублювання). Збільшення в публікації кількості співавторів. Використання нечесних практик (академічний плагіат).
Кількість цитувань	Збільшення самоцитуювання. Маніпуляції з цитуванням.
h-індекс	Збільшення самоцитуювання.

Ці явища відбуваються не лише в Україні. Також існують і гарні європейські практики, які мінімізують ці явища. Наприклад, Польща обмежує звітність науковця 4 публікаціями. Їх оцінка (бали) підраховується відповідно до рейтингу видання, в якому опубліковано документ. Інформація про рейтинг міститься в переліках видавництва та журналів, які опубліковані на офіційному сайті Міністерства науки та освіти Польщі [9].

Але, на жаль, нечесні видавці продовжують існувати в академічному середовищі. Їх журнали охоплюють недосвідчених науковців, які бажають швидко опублікувати свої роботи. Ці журнали, відомі як хижацькі.

Масштабність цієї проблеми є значною. Згідно з дослідженням [10], кількість хижих журналів зро-

слишилені публікації продовжують впливати на наукометричні показники (завищення показників). Дослідження чеських науковців підтверджують, що проблема усунення недоброчесних видавців та забезпечення якості наукових видань та публікацій в них є глобальною [8].

### Зміни у академічному середовищі

Необґрунтоване, некоректне, активне використання для оцінки науково-технічної діяльності публікаційних даних призводить до змін в академічному середовищі. Приклади таких змін для авторських показників наведено у табл. 2.

сла з 18 у 2011 році до понад 1100 на кінець 2016 року.

Вперше перелік хижацьких видань «Перелік Білла» був сформованим американським вченим Джефрі Біллом [11]. Він є доступним у мережі Інтернет. Але не зважаючи на це, велика кількість авторів публікується у цих виданнях. Наприклад, близько 5% з 46000 італійських дослідників публікуються в журналах, включених до чорного списку потенційних «хижацьких» журналів Джефрі Білла. Таке дослідження неможливо провести, проаналізувати та опублікувати дуже швидко, але є автори, які публікують результати дослідження кожні 5 днів. Загалом у Scopus було виявлено 9 000 авторів, які публікують більше 72 статей на рік (2000-2016). Для дослідження, з загальної кількості



авторів були вилучені представники великих наукових колективів, та ті, кого неможливо чітко ідентифікувати (Китайські та Корейські прізвища). На основі отриманих даних було визначено, що кількість авторів, які публікують більше 72 статей на рік збільшилася за 14 років у 20 разів: 2002 – 4 особа; 2016 – 81 особа [13].

У роботі [14] описано аналіз цитування за даними авторських профілів 7 мільйонів вчених, які опублікували понад 5 робіт у Scopus. Результат: середній показник медіанного самоцитування становить 15,5%, але у 7% авторів, у тому числі з України, рівень медіанного самоцитування вище 40%.

Власне дослідження авторів цієї статті дало подібні результати. Щоб дослідити вплив самоцитування, досліджено 100 авторських профілів науковців України (Scopus, комп'ютерні науки) щодо

частки самоцитування у загальному цитуванні та його впливу на h-індекс автора. Визначено:

- середнє самоцитування – 35%;
- MAX % самоцитування – 96%;
- MAX % зростання h-індексу – 80%;
- профілів без самоцитування – 2;
- h-індекс без змін – 12 профілів.

Відсоток самоцитування з загальної кількості цитувань для 20 авторських профілів представлено на рис. 1.

Розподіл профілів авторів за мірою впливу самоцитування на h-індекс представлено на рис. 2.

Загалом, у 56 профілів відбулося збільшення індексу в межах від 1% до 20%; у 24 профілів – 21%-30%; у 6 профілів – 31%-40%; у 6 профілів – 41%-50%. У 8 профілів збільшення h-індексу відбулося більше ніж на 51%.

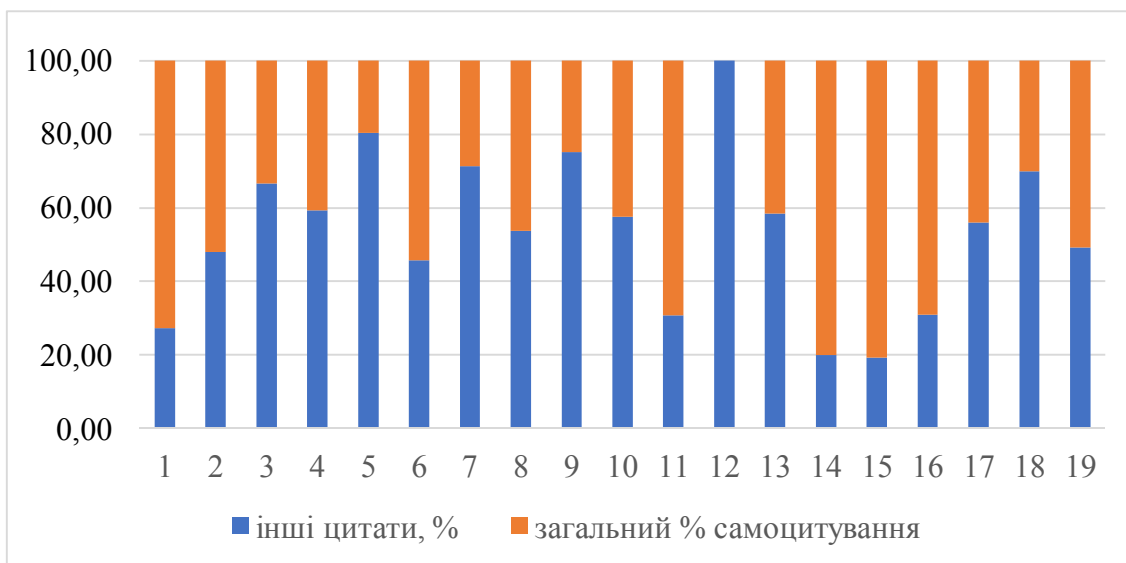


Рис. 1. Доля самоцитувань у загальній кількості цитувань (для 19 авторських профілів)

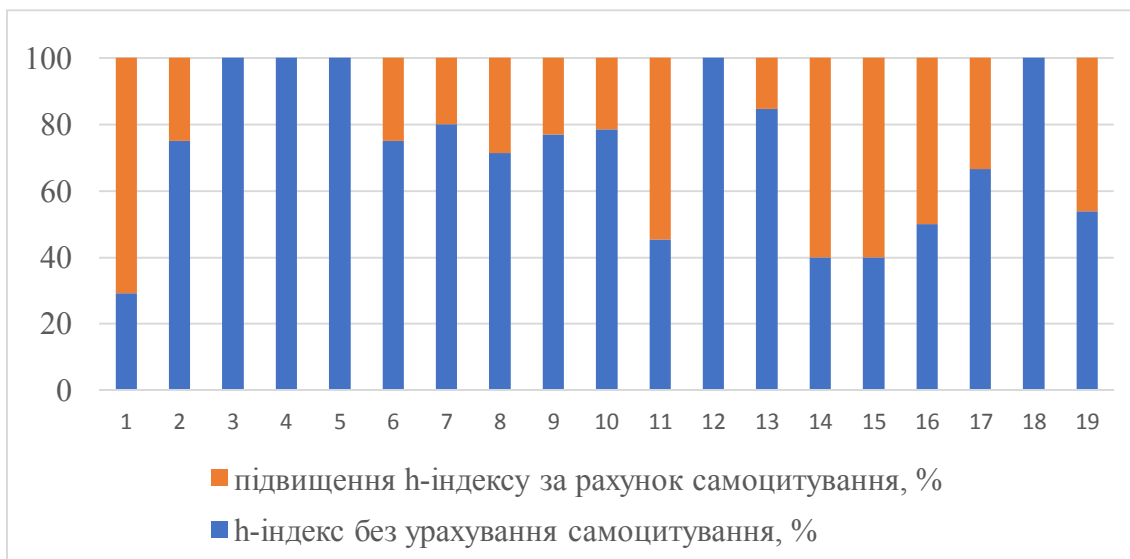


Рис. 2. Доля підвищення h-індексу за рахунок самоцитування (для 19 авторських профілів)

Визначено, що самоцитування впливає на наукометричні індекси авторів. На основі підрахунку

самоцитувань дуже складно визначити зловживання авторів. Саме автори визначають доцільність та

обґрунтування використання цитати, тому проблема самоцититування знаходиться у етичній площині.

### Якість та її ключові характеристики

Крім уваги до якості наукового видання в цілому, окремо досліджуються характеристики академічних документів, які можуть відображати якість.

Якість наукових досліджень викладених у наукових статтях – це багатовимірна концепція. Вона містить наступні ключові характеристики: правдоподібність / надійність, оригінальність, наукова цінність та суспільна цінність [15].

Дослідження за вищевказаними завданнями опубліковано у багатьох наукових працях, у тому числі в рамках міжнародних проектів. Окремим напрямком європейського проекту «European Educational Research Quality Indicators», згідно з підсумковим звітом, була розробка і тестування внутрішніх та зовнішніх показників якості наукових досліджень [16]: внутрішні показники якості

(можуть бути ідентифіковані в самому тексті; зовнішні показники якості (метадані, бібліометрична та/або вебометрична інформація).

На рис. 3 представлено вищевказані індикатори.

До внутрішніх індикаторів віднесені:

- точність;
- оригінальність;
- значимість, важливість (для інших дослідників, політика і практика);
- цілісність (включаючи справжність, чесність і етичні норми при проведенні досліджень);
- стиль (включаючи ясність, комунікабельність, красномовство і елегантність). Усі ці характеристики складно формалізувати та визначити для них нормалізовані значення. Науковий процес є творчим та має на меті створення нового знання.

На нашу думку найбільш суперечливим та складним для формалізації та визначення є оригінальність [15, 17, 18].

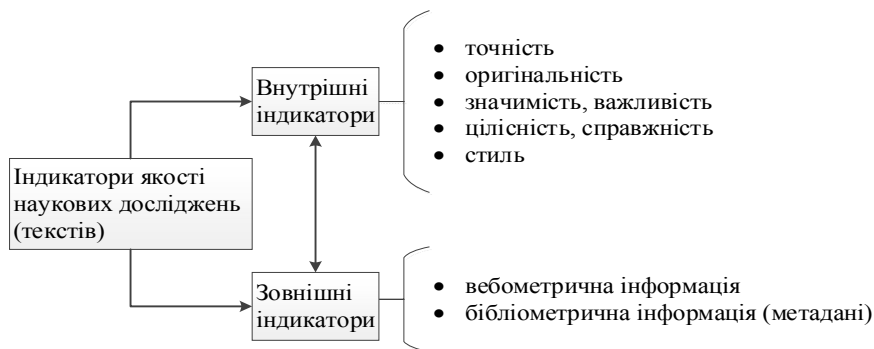


Рис. 3. Внутрішні та зовнішні індикатори якості наукових досліджень [16]

Деякі авторитетні наукові видання публікують інструкції для авторів, в яких викладені вимоги (стандарти) до рукописів наукових статей. Аналіз переліку таких вимог опублікований у матеріалах міжнародної конференції «Active Citizenship by Knowledge Management & Innovation Proceedings of the Management, Knowledge and Learning» [17]. Наприклад International Association for Computer Information Systems надає наступні рекомендації:

- усі рукописи повинні бути оригінальними, та неопублікованими раніше;
- рукопис не слід одночасно подавати для публікації в іншому виданні;
- дослідження, описані в роботі, повинні відповідати етичним принципам AIS Code of Research Conduct (Кодекс науково-дослідної роботи).

На практиці контроль оригінальності забезпечується рецензуванням та використанням спеціалізованих програм для виявлення подібностей у академічних текстах.

Автори [18] пропонують виміряти оригінальність окремих наукових праць на основі аналізу цитувань (подальший розвиток дослідження) досліджуваних документів. Рівень оригінальності ґрунтується на документах, які цитують фокусний документ. Проводиться оцінка щодо сприйняття авторами цих цитувань фокусного документу, як оригіна-

льного першоджерела. Тобто, для оцінки оригінальності використовується мережа аргументації, а саме мережа спрямованих цитат між документом, що аналізується, та подальшим його цитуванням [18].

На практиці відповідальність за якість статті покладається на наукового рецензента, який діє за певними правилами.

### Висновок

Наукова якість є одним головних та визначальних факторів оцінки наукової діяльності. Якість наукової діяльності відображується у публікаціях результатів досліджень. Формалізація якісних характеристик статті є складним завданням. Ведеться багато дискусій стосовно питань: що робить конкретний текст оригінальним; як підвищити рівень оригінальності в наукових працях. Не зважаючи на це, існують нечесні практики (академічне шахрайство) у публікаційній діяльності, які призводять до маніпуляції показниками та негативно впливають на оцінку.

Наукові видавництва приділяють увагу вирішенню питань, пов'язаних з забезпеченням оригінальності наукових публікацій. Багато видань прийняли певні настанови чи політику пов'язані з питаннями оригінальності. Велика увага зараз приділяється забезпеченню якості академічних публікацій: виконання норм етич-

ного кодексу науковця, проведення наукового рецензування, використання спеціалізованих програмних засобів для виявлення ознак академічного плагіату, інструкції для авторів з написання статей. Однак, останніми роками збільшилася кількість опублікованих досліджень щодо маніпулятивної публікаційної поведінки учасників наукового процесу.

Некоректне використання підходів до вимірювання якості наукової діяльності не забезпечує адекватну оцінку та не сприяє підвищенню якості наукового процесу. Необхідно унеможливити маніпулювання показниками, забезпечувати якість наукових публікацій, вивчати кращі світові практики з оцінки наукової діяльності та адаптувати їх до власної науки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Azeroual O., Abuosba M. Improving the data quality in the research information systems // arXiv preprint arXiv:1901.07388. – 2019. – pp. 82-86.
2. Перелік виключених видань Scopus: [https://www.elsevier.com/\\_data/assets/excel\\_doc/0005/877523/Discontinued-sources-from-Scopus.xlsx](https://www.elsevier.com/_data/assets/excel_doc/0005/877523/Discontinued-sources-from-Scopus.xlsx)
3. Editorial selection process - Web of Science Group Spectrum [Перелік виключених видань Scopus <https://clarivate.com/webofsciencelibrary/solutions/editorial>].
4. Content Policy and Selection - Elsevier Spectrum [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus/how-scopus-works/content/content-policy-and-selection>.
5. Google Scholar Help - Inclusion Guidelines for Webmasters Spectrum [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://scholar.google.com/intl/ru/scholar/inclusion.html>.
6. Krauskopf E. An analysis of discontinued journals by Scopus // *Scientometrics*. – 2018. – Т. 116. – №. 3. – pp. 1805-1815.
7. Cortegiani A. et al. Inclusion of predatory journals in Scopus is inflating scholars' metrics and advancing careers // *International Journal of Public Health*. – 2019. – P. 1-2.
8. Macháček V., Srholec M., Institut pro demokracii a ekonomickou analýzu (projekt). Predatory journals in Scopus. – Národohospodářský ústav AV ČR vvi, 2017.
9. Nowe, rozszerzone wykazy czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych oraz wydawnictw monografii naukowych Spectrum [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.gov.pl/web/nauka/nowe-rozszerzone-wykazy-czasopism-naukowych-i-recenzowanych-materialow-z-konferencji-miedzynarodowych-oraz-wydawnictw-monografii-naukowych?fbclid=IwAR0KqvSwzA3c87uR\\_9VFHSCxr\\_t2kdxh\\_pqzCJ0RRqLEdzMixsYafw79Yc](https://www.gov.pl/web/nauka/nowe-rozszerzone-wykazy-czasopism-naukowych-i-recenzowanych-materialow-z-konferencji-miedzynarodowych-oraz-wydawnictw-monografii-naukowych?fbclid=IwAR0KqvSwzA3c87uR_9VFHSCxr_t2kdxh_pqzCJ0RRqLEdzMixsYafw79Yc).
10. Manca A. et al. Predatory open access in rehabilitation // *Archives of physical medicine and rehabilitation*. – 2017. – Т. 98. – №. 5. – pp. 1051-1056.
11. Beall's List of Predatory Journals and Publishers Spectrum [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://bealllist.net>.
12. Bagues M., Sylos-Labini M., Zinovyeva N. A walk on the wild side: 'Predatory' journals and information asymmetries in scientific evaluations // *Research Policy*. – 2019. – Т. 48. – №. 2. – pp. 462-477.
13. Ioannidis J. P. A., Klavans R., Boyack K. W. Thousands of scientists publish a paper every five days. – 2018.
14. Van Noorden, Richard, and Dalmeet Singh Chawla Hundreds of extreme self-citing scientists revealed in new database // *Nature*. – 2019. – vol. 572. – pp. 578-579. – doi: 10.1038/d41586-019-02479-7.
15. Aksnes D. W., Langfeldt L., Wouters P. Citations, citation indicators, and research quality: An overview of basic concepts and theories // *SAGE Open*. – 2019. – Т. 9, №. 1. – DOI: <https://doi.org/10.1177/2158244019829575>
16. European Educational Research Quality Indicators. Project Final Report, 2011. Spectrum [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://eerqi.eu/sites/default/files/Final\\_Report.pdf](http://eerqi.eu/sites/default/files/Final_Report.pdf).
17. Krapež K. THE (UN) ORIGINALITY OF SCIENTIFIC PAPERS—AN ANALYSIS OF PROFESSIONAL QUALITY STANDARDS. – 2013.
18. Measuring originality in science // *Scientometrics*. – 2020. – vol. 122. – pp. 409–427. – <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03263-0>.

Received (Надійшла) 12.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.02.2020

### Evaluation of the quality of science

Yu. Hlavcheva, M. Glavchev

**Abstract.** The subject of the article is the analysis of approaches to the evaluation of the quality of scientific activity based on the analysis of scientific publications and their impact on the academic environment. **Results.** Scientometric systems have also been considered and compared as tools for measuring the quality of scientific activity. It has been researched that approaches to the evaluation of scientific activity influence the behavior of participants in the scientific process (authors, publishers, others) and cause the appearance of such negative phenomena as academic fraud, manipulation of scientific metrics, the appearance of predatory publishers and garbage publications. The concept of quality of scientific publication and its key characteristics which were analyzed. **Conclusion.** Scientific quality is one of the main determinants of scientific activity evaluation. The quality of the scientific activity is reflected in the publications of the research results. Improper use of approaches to measuring the quality of scientific activity leads to dishonest practices, does not provide adequate evaluation, and also does not contribute to improving the quality of the scientific process. It is necessary to make it impossible to manipulate the indicators, to ensure the quality of scientific publications, to study the best world practices in the evaluation of scientific activity and to adapt them to their own scientific process.

**Keywords:** evaluation of scientific activity, Web of Science Core Collection, Scopus, Google Scholar, bibliometrics, predatory publications, publication quality, originality.

В. О. Гороховатський<sup>1</sup>, А. П. Запорожченко<sup>1</sup>, Т. О. Сірик<sup>1</sup>, О. П. Тарасенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ Університет банківської справи, Харків, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОЗНАК РОЗПОДІЛІВ ДАНИХ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ РЕЛЕВАНТНОСТІ ОПИСІВ ЗОБРАЖЕНЬ

**Анотація.** Предметом досліджень статті є моделі ознак розподілів даних дескрипторів ключових точок для вирішення задач розпізнавання та класифікації візуальних об'єктів у системах комп'ютерного зору. Метою є дослідження модифікації методу структурної класифікації на підставі зіставлення розподілів даних для фрагментів дескрипторного опису зображення. Завдання: розроблення математичних та програмних моделей для ефективного за швидкодією обчислення релевантності описів на підставі розподілів даних, вивчення властивостей цих моделей, оцінювання результативності у задачі класифікації зображень. Застосовані методи: детектор ORB для формування дескрипторів ключових точок, статистичний аналіз даних, методи побудови розподілів бітових даних, апарат метричного визначення релевантності, програмне моделювання. Отримані результати. Перехід від опису як множини дескрипторів до розподілів фрагментів, побудова та зіставлення розподілів забезпечують достатню результативність класифікації. Класифікація виконується у кілька разів швидше, ніж при використанні безпосередньо множини дескрипторів. Висновки. Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу структурної класифікації зображень на основі впровадження блочної структури опису із використанням значень розподілу для фрагментів множини дескрипторів. Практична значущість – досягнення суттєвого рівня підвищення швидкодії при обчисленні релевантності для класифікації, підтвердження результативності запропонованого простору ознак на прикладах зображень, отримання прикладних програмних моделей для дослідження та впровадження методів класифікації у системах комп'ютерного зору.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, структурні методи класифікації зображень, ключова точка, детектор ORB, дескриптор, розподіл даних фрагменту, релевантність описів, манхеттенська метрика, швидкодія класифікації.

### Вступ

Процес зіставлення зображень з метою визначення ступеню їх релевантності у сучасних системах комп'ютерного зору потребує вирішення ряду задач та є досить складним як з точки зору коректності критерію для порівняння (пошук результативного способу, підбір параметрів), так і з точки зору ефективності прикладного застосування [1-7]. На цей час результативним є застосування структурного підходу, одним з варіантів якого є апроксимація об'єкта множиною ключових точок (КТ). При суттєвому скороченні обсягу даних можливо забезпечити важливі характеристики розпізнавання, такі як достовірність та стійкість до завад, інваріантність до афінних перетворень об'єктів, можливість розпізнавання в умовах неповного подання [6]. Описи об'єктів тут подаються у вигляді наборів дескрипторів КТ як скінченної множини числових векторів достатньо високої розмірності [7]. Перехід до подання даних у вигляді системи їх складових частин меншої розмірності сприяє спрощенню прикладного застосування [2, 4, 8, 13].

Основними напрямками побудови методів класифікації зображень на підґрунті визначення релевантності є застосування метрик на множинах дескрипторів КТ та голосування, де підраховується кількість або доля елементів опису зображення, що містяться у еталоні.

Викликає інтерес зниження об'єму обчислювальних ресурсів при використанні структурних методів із застосуванням сучасного статистичного аналізу даних, який виявляє знання у даних, а також кількісно описує дані через основні статистичні

показники. У техніках розпізнавання поширеною практикою є формування та зіставлення значень розподілів дескрипторів КТ, а також використання апарату просторово-статистичного аналізу даних, який в аспекті розпізнавання базується на узагальненні опису об'єкта у вигляді обчислення нових ознак для сукупності фрагментів [2, 7].

Метою статті є дослідження ефективності використання статистичних розподілів дескрипторів КТ задля прийняття класифікаційного рішення на підставі обчислення релевантності описів та порівняння результативності застосування розподілів даних з моделями голосування.

Задачами дослідження є розроблення моделі для визначення релевантності зображень на підставі статистики їх структурних описів, ефективних за швидкодією оброблення даних, аналіз властивостей цих моделей, порівняння та оцінювання результативності запропонованих підходів шляхом експериментального оброблення зображень.

### Статистична модель опису у просторі ознак

Бітовий вид дескрипторів КТ у просторі  $B^n$  бінарних векторів ( $n$  – ступінь двійки) дає можливість запровадити оброблення дескриптора як кортежу послідовних елементів, діапазон значень яких відомий. Це дає змогу розглядати наявний структурний опис, що є множиною бінарних векторів, у синтезованому просторі даних та здійснювати статистичний аналіз чи класифікацію зображень з урахуванням властивостей змісту еталонних описів.

Опис  $Z$  розпізнаваного візуального об'єкта визначимо у вигляді скінченної множини

$Z = \{z_v\}_{v=1}^s$ ,  $z_v \in B^n$ ,  $Z \subset B^n$  із  $s$  бінарних дескрипторів КТ, наприклад, сформованих детекторами BRISK, AKAZE, ORB [8, 13-18].

Для фіксованого числа  $n$  опис об'єкту подамо бінарною матрицею  $D = \{\{d_{i,j}\}_{i=1}^s\}_{j=1}^n$ , сформовану послідовністю отриманих детектором  $s$  дескрипторів КТ. Для спрощення аналізу вважаємо значення  $s$  однаковим для всіх еталонів, цього нескладно досягти цілеспрямованим відбором необхідної кількості дескрипторів.

Кожний рядок матриці  $D$ , що є дескриптором КТ, подамо у виді  $m$  непересічних фрагментів (блоків), що послідовно слідуєть один за одним [2, 7]. Отримаємо новий простір даних, перевагою якого є можливість аналізувати внутрішню структуру та статистичні властивості опису, на основі чого його можна буде віднести до одного із еталонних класів.

Застосуємо мережу блоків як основу для класифікації об'єкту. Такий спосіб формування ознак надає додаткову гнучкість при обробленні. Також подання дескрипторів у вигляді розподілів фрагментів дає можливість будувати моделі класифікації на основі голосування, в якому кожна з  $m$  ділянок незалежно голосує за той чи інший клас з бази еталонів [3, 4]. Рішення приймається коаліцією або за досягнення порогу.

Після розбиття  $\forall z_v \in Z$  на  $m$  непересічних блоків для кожного дескриптора  $z_v$  отримуємо фіксовану структуру  $z_v = z_v^1 \& z_v^2 \& \dots \& z_v^m$  «зчеплених» в ланцюжок елементів, де  $z_v^k$  –  $k$ -й блок дескриптора  $z_v$ . Кожний із дескрипторів тепер складається із  $m$  однотипних бінарних даних, значення яких у послідовності можна записати кортежем цілих чисел. У результаті опис  $Z$  набуває виду матриці  $D$  із  $s$  рядків по  $m$  елементів у рядку.

Зважаючи на впроваджену рівноцінність діапазонів для значень кожного із фрагментів та відображення сукупністю дескрипторів властивостей аналізованого об'єкту, побудуємо розподіли даних на підставі аналізу матриці  $D$  [2]. Для цього задамо відображення  $\Omega: Z \rightarrow Q$ ,  $Z \subset B^n$  із множини бінарних векторів у множину  $Q$  цілочисельних векторів потужності  $w < n$ , що містять статистичні розподіли значень фрагментів. Відображення  $\Omega$  забезпечує ідентифікацію та розрізнення об'єктів у просторі значень розподілів.

Визначимо розподіл (рейтинг зустрічальності)  $q \in Q$  як вектор  $q = \{q_1, \dots, q_w\}$  цілих чисел, де  $q_i$  – це число значень для  $k$ -го фрагмента, що дорівнюють  $i$ ,  $i = \overline{1, w}$ , серед відповідних фрагментів усієї множини  $Z$ :

$$q_i = \text{card}\{z_v^k \in z_v, z_v \in Z \mid z_v^k = i\}. \quad (1)$$

Тоді виконується умова  $\sum_i q_i = s$ , так як сума значень ланок для розподілу  $q$  дорівнює числу  $s$

дескрипторів опису  $Z$ . Зауважимо, що  $w$  – це число ланок розподілу, які належать діапазону  $[0, \dots, w-1]$ .

Для кожного із  $m$  фрагментів побудуємо розподіл  $q = \{q_1, \dots, q_w\}$ , величина  $w$  визначена діапазоном значень даних для фрагмента. Наприклад, дескриптор ORB із 256 бітів може представлятися кількома варіантами послідовності із  $m = 2^d$  фрагментів, де  $d = 0,8$ .

Загалом опис  $Z$  під дією відображення  $\Omega$  трансформується у матрицю  $Q = \{\{q_{i,v}\}_{i=1}^m\}_{v=1}^n$ , що містить розподіли. Кожне значення підраховується як кількість потрапляння відповідного значення фрагменту серед множини усіх дескрипторів.

Матриця  $Q$  відтворює статистичні властивості опису  $Z$  у вигляді кортежу розподілів значень його складових. Статистичні розподіли даних узагальнюють знання у відповідності до фундаментальної концепції машинного навчання [6, 14].

### Визначення релевантності зображень за розподілами даних

Опрацюємо матрицю  $D$  опису, обчислимо значення сум вздовж її стовпців, що відповідає аналізу 1-бітового фрагменту, отримаємо вектор:

$$t = (t_1, \dots, t_j, \dots, t_n), t_j = \sum_{i=1}^s d_{i,j}, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Це будуть ознаки найнижчого рівня, що у повній мірі зберігають інваріантні властивості множини дескрипторів опису  $Z$ .

На базі ознак  $t_j$  можна обчислити ознаки високого рівня  $u_k$  для блоків бітів [7]

$$u_k = \sum_{j=k}^{k+b-1} t_j, \quad (3)$$

де  $b = n/m$  – розмір, а  $k = 1, b+1, 2b+1, \dots, n-b+1$  – номер фрагмента.

Ознаки (3) реалізують крос-кореляційне оброблення матриці  $D$  з прямокутною маскою розміром  $b \times s$  [2]. У результаті обчислення (3) отримуємо цілочисельний вектор  $u_k$  розмірністю  $m$ . Параметр  $m$  характеризує систему фрагментів, зі збільшенням розміру фрагмента від 1 до  $n$  значення  $m$  зменшується від  $n$  до 1. При  $m = 1$  маємо  $b = n$ , тобто кожний дескриптор містить один фрагмент, а величина  $u_1$  визначається одним значенням і дорівнює сумі бітів усього опису. При  $m = n$  маємо іншу граничну ситуацію:  $n$  1-бітових фрагментів, а  $u_k$  обчислюється як сума стовпця матриці  $D$ .

Значення вектора  $u = (u_1, \dots, u_k, \dots, u_m)$  можуть бути використані як самостійні структурні ознаки статистичного виду. Зважаючи на достатньо просту модель обчислення функцій (3), всі вони для довільного розміру фрагмента  $m$  визначаються нескладно (логічно або додаванням цілих чисел), базуючись на 1-бітових значеннях (2).

На основі подання (3) може бути застосовано також ієрархічний спосіб розпізнавання, що використовує для зіставлення з еталонами систему ознак  $u_k$  з різним ступенем інтегрування даних [7].

Діапазон цілих значень для ознак  $u_k$  безпосередньо можна визначити за розміром фрагмента як  $u_k \in \{0, \dots, sb\}$ . Загалом вектор  $u$  є інтегрованою характеристикою, яку можна нормувати за кількістю дескрипторів або розміром фрагменту.

Оброблення виду (3) є різновидом просторового аналізу значень для множини дескрипторів вздовж координат їх компонентів. Іншими варіантами такого оброблення є фільтрація чи розклад дескриптора за системою ортогональних функцій [4, 5].

Для визначення релевантності описів застосовують відстань або міру близькості. Ці поняття відрізняються рівнем вимог: міра близькості повинна бути симетричною, максимальною при порівнянні об'єкта із самим собою, а також монотонно спадати при збільшенні значення відповідної метрики. Відстань також повинна бути симетричною, задовольняти нерівності трикутника та дорівнювати нулю при порівнянні об'єкта з самим собою [1].

Оберемо метрику для обчислення релевантності  $R$  у вигляді відстані між матрицями для описів  $Q$  двох зображень. Вибір метрики найчастіше ґрунтується на основі аналізу простору даних [1]. Найбільш популярні метрики: Евкліда, Махаланобіса, Геммінга, Манхеттенська. Застосуємо Манхеттенську відстань  $r$  для векторів виду (3), що визначають розподіли:

$$r[u(a), u(b)] = \sum_{i=1}^m |u_i(a) - u_i(b)|, \quad (4)$$

де  $a, b$  – однотипні розподіли даних.

Тепер визначимо релевантність  $R$  описів  $A$  та  $B$  на підставі співставлення (4) множини їх розподілів щодо введеної системи фрагментів як відстань між матрицями:  $Q(A)$  та  $Q(B)$ :

$$R[Q(A), Q(B)] = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^m r[q_{i,j}(A), q_{i,j}(B)] \quad (5)$$

Мінімальне значення  $R_{\min}$  дорівнює 0 за ідентичних розподілів. Максимальне обчислюється за формулою  $R_{\max} = 2 * w * m$ .

Особливістю обчислення релевантності (5) є можливість зупинити процес додавання, якщо контрольоване значення  $R$  перевищить деякий поріг  $\delta$ , що фіксує відсутність подібності описів. Також для оцінювання обсягів обчислювальних витрат важливо, що у виразі (5) підсумовуються виключно цілі невід'ємні числа.

Одним із найважливіших параметрів при порівнянні розподілів є довжина фрагменту. При її визначенні потрібно, у першу чергу, забезпечити необхідний рівень розрізнення об'єктів, а у другу – оцінювати загальний обсяг обчислень.

Метрика в (5) обчислюється  $m * w$  разів. Для застосувань з обмеженими ресурсами бажано використовувати як можна менші значення  $m$ . З іншого боку, інформації від розподілів окремих бітів чи пар бітів може не вистачити для досягнення достатнього рівня відмінності описів.

### Результати експериментального дослідження

Для визначення релевантності зображень та оцінювання ефективності запропонованого підходу будемо використовувати тестові зображення чотирьох монет (приклад на рис. 1), змінюючи кількість КТ у описі. Розмір зображень складає 635x640 [12]. Вибрано програмне середовище IntelliJ IDEA 2019. Алгоритм реалізовано мовою Java із використанням засобів бібліотеки Open CV [10-13]. Виміри швидкодії проводились на комп'ютері з процесором Intel Core i5-4510U 2.40 ГГц.

На рис. 2 наведені гістограми розподілів значень біту (0 та 1) для першого зображення рис. 1 (1000 КТ). Значення стовпця відображає кількість дескрипторів з відповідним значенням у  $i$ -му фрагменті. Для фрагментів у один біт – це кількість нулів та одиниць.



Рис. 1. Приклади тестових зображень з виділеними координатами КТ

Рис. 3 демонструє порівняння частоти значення 1 у відповідних фрагментах зображень 1 та 2 (рис. 1) для перших 20 фрагментів. З гістограм рис. 3 видно, що значення розподілів, хоч і дуже схожі, зате у достатній мірі відрізняються майже у кожному біті.

У таблиці 1 наведені нормовані на число КТ від 0 до 1 відстані, що розраховані для пар експериментальних зображень із різною кількістю КТ за формулою (5).

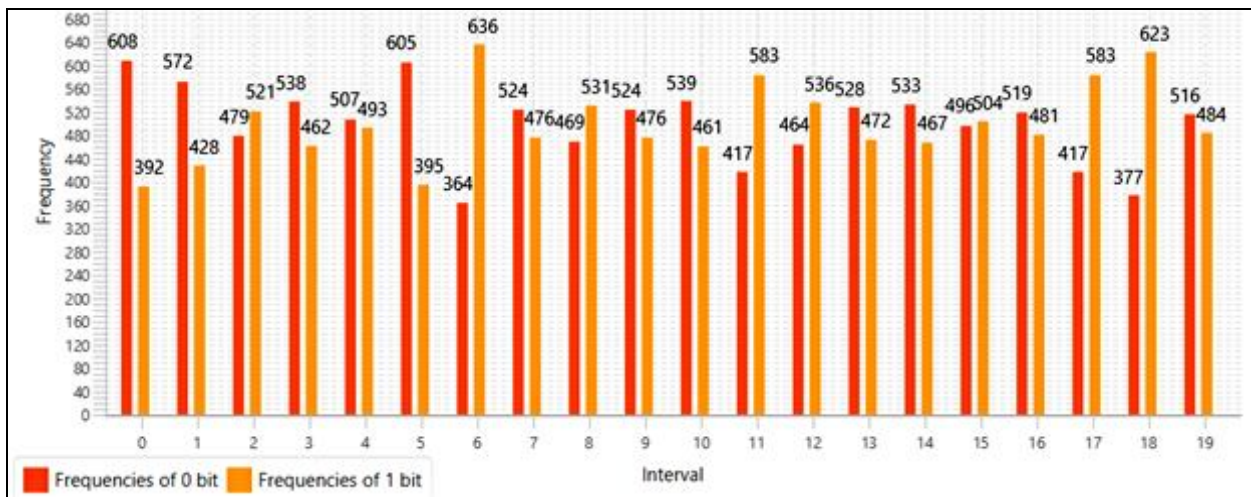


Рис. 2. Розподіл значень 20 однобітових фрагментів

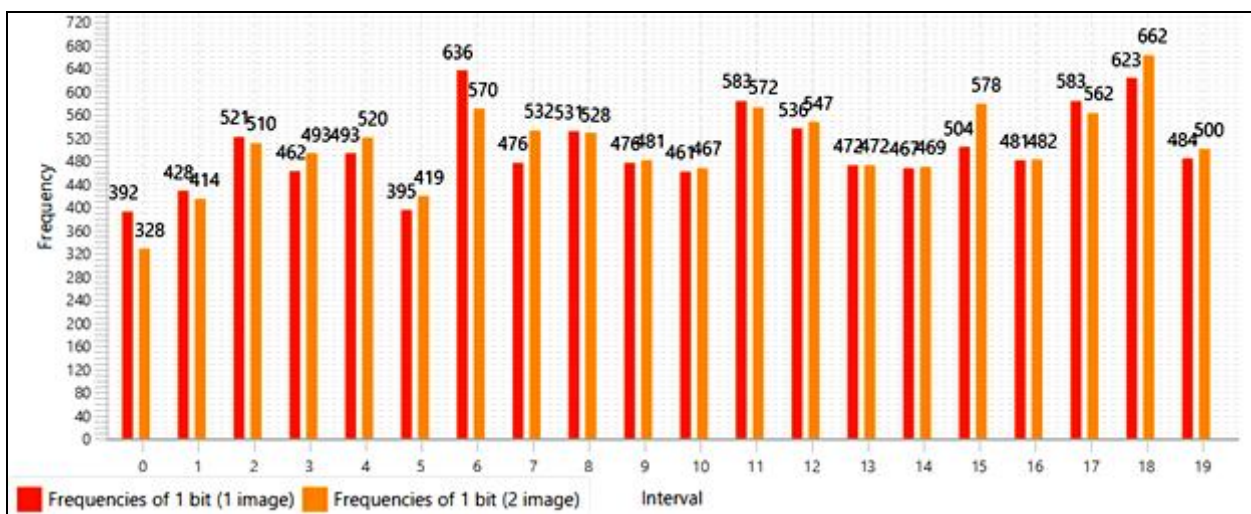


Рис. 3. Розподіли значень для зображень рис. 1

Таблиця 1-Обчислені відстані для пар зображень (1 біт)

КТ	Пари	Відстані					
		1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
100		0.0657	0.0823	0.0731	0.0849	0.0632	0.0813
300		0.0492	0.0518	0.0507	0.0546	0.0502	0.0657
500		0.0408	0.0453	0.0411	0.0407	0.0453	0.0534
1000		0.0275	0.0321	0.0297	0.0316	0.0350	0.0393

Як бачимо, для усіх пар зображень відстань не перевищує 10% від максимальної відстані та зменшується зі збільшенням числа КТ. Такий результат вважаємо прийнятним, оскільки зображення, що порівнюються, візуально доволі схожі (рис. 1). На підставі цього дослідження можна вказати на наявні чіткі позитивні властивості ознак статистичних розподілів щодо завдання розрізнення описів.

Оцінимо, як впливає на значення відстані довжина фрагменту. У таблиці 2 наведені значення відстаней для пар зображень із різною кількістю КТ та довжиною фрагмента 2 біти.

Можна помітити, що відстані для пар зображень у порівнянні з табл. 1 дещо збільшились. Цей

факт свідчить про те, що на підставі 2-бітових розподілів зображення розрізняються краще, ніж із використанням 1-бітових. Зі збільшенням кількості КТ у описі відстань, як і у випадку з фрагментами довжиною 1, зменшується, тобто дані «зближаються».

З аналізу гістограми значень фрагментів для 2 бітів, аналогічної до гістограми на рисунку 3, стає помітним тренд до збільшення різниці значень. Ця властивість стає більш вираженою при збільшенні розміру фрагменту. Таблиці 3 та 4 містять відстані для пар зображень із довжиною 4 та 8 бітів (до 1000 КТ). З цих даних можна вивести, що у порівнянні з 2 бітами відстані у таблицях 3 та 4 збільшились у 2 та 5-6 разів відповідно.

Таблиця 2 – Відстані для пар тестових зображень (2 біти)

Пари КТ	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
100	0.1095	0.1298	0.1223	0.1316	0.1076	0.1289
300	0.0800	0.0813	0.0811	0.0883	0.0811	0.1043
500	0.0629	0.0707	0.0653	0.0678	0.0693	0.0837
1000	0.0442	0.0507	0.0486	0.0506	0.0543	0.0595

Таблиця 3 – Відстані для пар тестових зображень (4 біти)

Пари КТ	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
100	0.2328	0.2477	0.2444	0.2491	0.2370	0.2550
300	0.1548	0.1519	0.1515	0.1600	0.1592	0.1830
500	0.1218	0.1291	0.1241	0.1247	0.1307	0.1485
1000	0.0911	0.0956	0.0948	0.0921	0.0962	0.1030

Таблиця 4 – Відстані для пар тестових зображень (8 бітів)

Пари КТ	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
100	0.6709	0.6691	0.6541	0.6797	0.6750	0.6728
300	0.4793	0.4719	0.4685	0.4843	0.4742	0.4988
500	0.3906	0.3915	0.3864	0.3984	0.3916	0.4049
1000	0.2917	0.2916	0.2954	0.2939	0.2907	0.2945

Як бачимо, використання 8-бітових розподілів суттєво збільшує відстань між описами зображень, бо бінарні значення даних тепер уже «розмазані» у діапазоні від 0 до 255. Як показали проведені нами додаткові експерименти, застосування таких розподілів з досить великою (1000-2000) кількістю КТ дають значні показники відстані для різних зображень та значно менші для однакових зображень з геометричними трансформаціями.

Проаналізувавши отримані таблиці, можна сказати, що для забезпечення ефективного розрізнення зображень з прикладної бази еталонів (рис. 1) найбільш дієвими будуть варіанти з розміром фрагмента 4-8 бітів та 1000-2000 КТ. Для довільних зображень конфігурація фрагментів та число КТ обирається експериментально задля досягнення необхідного ступеню розрізненості.

Проведемо вимірювання швидкодії обчислення релевантності з використанням детектору ORB і фрагментів розміром у 1 та 8 бітів. Будемо фіксувати сумарний час роботи детектора (для двох зображень), побудови розподілів та підрахунку відстані ( $t_{total}$ ,  $t_{dist}$ ), а також окремо час підрахунку відстані ( $t_{dist}$ ). Результатом вважатимемо середнє значення серед трьох запусків програмної моделі. Заміри занесемо у табл. 5.

Таблиця 5 – Виміри швидкодії

1 біт				8 біт			
Число КТ	$t_{dist}$ нс	$t_{total}$ нс	Відстань	Число КТ	$t_{dist}$ нс	$t_{total}$ нс	Відстань
100	65	35699	0.0632	100	29	23433	0.6750
300	59	38966	0.0502	300	45	34934	0.4742
500	48	44001	0.0453	500	50	39757	0.3916
1000	52	54105	0.0350	1000	49	37950	0.2907
2000	47	91111	0.0258	2000	46	44398	0.2144

Згідно з отриманими показниками витрат часу, застосування детектору ORB демонструє достатньо високу швидкодію, яка практично не зменшується при збільшенні кількості КТ в межах від 100 до 2000. Це робить його найліпшим вибором при визначенні релевантності зображень та вирішенні практичних задач, пов'язаних з необхідністю оброблення у реальному часі. При порівнянні половин табл. 5 помітна суттєва різниця між значеннями  $t_{total}$  при тому, що кількість КТ не змінилась, а  $t_{dist}$  змінилась несуттєво. Так трапилось, бо з довжиною фрагменту у 1 біт число фрагментів у 8 разів більше, тому безпосередньо побудова розподілу займає значну частку часу. На величину часу обчислення відстані майже не впливає кількість КТ, а визначну роль відіграє тільки розмір дескриптора.

## Висновки

Дослідження показало, що подання зображень візуальних об'єктів у вигляді статистичних розподілів для фрагментів дескрипторів їх опису та подальше зіставлення цих розподілів у побудованому просторі ознак забезпечує необхідну результативність розпізнавання та дає можливість приймати рішення про релевантність за окремими елементами, що важливо у прикладному сенсі. Таке оброблення реалізується значно швидше, ніж на підставі традиційних процедур голосування.

Оброблення за значеннями згрупованих розподілів формує структуру даних зі змінюваним параметром деталізації та значимими властивостями опису. Ключовим параметром при цьому є розмір фрагменту, що визначає виразність розподілу.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні методу класифікації зображень на основі впровадження блочної структури із використанням інтегрованих значень розподілу для системи фрагментів множини дескрипторів опису.



Практична значущість роботи – досягнення суттєвого рівня підвищення швидкодії при обчисленні релевантності, підтвердження результативності запропонованої системи ознак на прикладах зображень, отримання прикладних програмних моделей для дослідження та впровадження методів класифікації в системах комп'ютерного зору.

Перспективи дослідження пов'язані із використанням розробленого методу як підгрунтя при розв'язанні задач класифікації, де на множині фрагментів дескрипторів аналізується структура, у якій підмножини фрагментів можуть підтримувати суперечливі рішення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гороховатский В.А. (2014) Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении, Харьков, Компания СМІТ, 316 с.
2. Гороховатський В.О., Гадецька С.В., Пономаренко Р.П. (2018) Статистичні розподіли та ланцюжкове подання даних при визначенні релевантності структурних описів візуальних об'єктів. Системи управління, навігації та зв'язку, №6 (52), с. 87–92.
3. Gorokhovatsky, V.O. and Gadetska, S.V. (2019) Determination of Relevance of Visual Object Images by Application of Statistical Analysis of Regarding Fragment Representation of their Descriptions, Telecommunications and Radio Engineering, 78 (3), pp. 211–220. – doi: 10.1615/TelecomRadEng.v78.i3.20.
4. Гороховатский В.А., Ересько Ю.Н., Путятин Е.П., Стрельченко В.И. (1990) Локализация объектов на изображениях визуальных сцен. Автоматика, №6, с. 3-7.
5. Gorokhovatsky V.A., Gorokhovatsky A. V., Berestovsky A.Ye. (2016) Intellectual Data Processing and Self-Organization of Structural Features at Recognition of Visual Objects. Telecommunications and Radio Engineering, vol. 75, No 2. – P. 155–168.
6. Gorokhovatskiy V.A. (2011) Compression of Descriptions in the Structural Image Recognition. Telecommunications and Radio Engineering, vol. 70, No 15. – p. 1363–1371.
7. Гороховатський В.О., Руденко Д.О., Сірик Т.О. (2019) Дослідження системи ієрархічних ознак при блочному поданні опису у складі множини ключових точок зображення. Системи управління, навігації та зв'язку, №2 (54), с. 69–73. – doi: 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
8. Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., and Bradski, G., (2011) ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Proceedings, pp. 2564-2571.
9. Вадзинский Р. (2008) Статистические вычисления в среде EXCEL. Библиотека пользователя, СПб., 608 с.
10. Прохоренко Н.А. OpenCV и Java. (2018), Обработка изображений и компьютерное зрение, СПб., БХВ-Петербург, 320 с.
11. OpenCV Open Source Computer Vision [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.opencv.org/master/index.html>.
12. Зображення нових монет Національного банку України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://telegraf.design/news/natsionalnij-bank-prezentuvav-novi-obigovi-moneti>.
13. Vinay, A., Cholin, A.S., Bhat, A.D., Murthy, K.B., Natarajan, S. (2018) An Efficient ORB based Face Recognition framework for Human-Robot Interaction. Procedia Computer Science 2018, 133, 913–923.
14. Y Zhang, C Li, C Cao et al. (2018) An Improved ORB Feature Point Matching Algorithm. Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence, pp. 207-211.
15. Bian J, Lin W Y, Matsushita Y et al. (2017) GMS: Grid-Based Motion Statistics for Fast, Ultra-Robust Feature Correspondence. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
16. Мариношенко А. П. (2018) Использование методов особых точек с целью улучшения идентификации и детектирования навигационных сигналов. Молодой ученый. — 2018. — №4.
17. Гороховатский В.А. (2008) Иерархия пространственных отношений структурных признаков в задачах сопоставления визуальных объектов. Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр., 3(7), с. 85–89.
18. Porter, F.C. (2008) Testing Consistency of Two Histograms. ArXiv e-prints, pp. 1–35.

Received (Надійшла) 19.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Investigation of the effectiveness of data features distribution for image relevance estimation

V. Gorokhovatskiy, A. Zaporozhchenko, T. Siryk, O. Tarasenko

**Abstract.** The subjects of the paper are the models of data attributes distribution of key point descriptors for recognition and classification of visual objects in computer vision systems. **The goal** is the investigation of the modification of an image structural classification method based on the matching fragment distributions of image descriptor set. **The tasks** include the development of mathematical and software models of efficient relevance estimation based on the data distribution, investigation of the properties of these models, evaluation of the effectiveness of image classification. **Methods below** are used: an ORB detector to form the key point descriptors, data mining, methods for construction of the bitwise data distribution, a method of metric relevance estimation, software modeling. **The following results** were obtained. The transition from the sets of descriptors to distributions of fragments, the construction and matching of distributions provide the decent classification performance. Classification is performed several times faster compared to the usage of descriptor sets directly. **Conclusion.** The contribution of the paper is the improvement of the structural image classification method with the description of a block structure using distribution values for fragments of the set of key point descriptors. **The practical significance** of the paper is the increase of image relevance calculation speed, verification of the effectiveness of the proposed attribute space with image examples, obtaining of an application software models for research and implementation of classification methods in computer vision systems.

**Keywords:** computer vision, structural image classification methods, key point, ORB detector, descriptor, fragment data distribution, descriptive relevance, Manhattan metric, speed of relevance estimation.

Н. В. Ічанська, С. І. Улько

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## ОСНОВНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ТА ВИБІР ІНСТРУМЕНТІВ ЇХ РОЗРОБКИ

**Анотація.** У роботі описано основні хронологічні аспекти розвитку мережі, наведено опис основних відмінностей нативної і багатоплатформної розробок мобільних додатків, подано їх порівняльний аналіз, аргументовано ефективність поєднання цих двох технологій. На думку авторів симбіоз цих розробок є універсальним та альтернативним варіантом для створення різноманітних проектів, які, зазвичай, розробляються або нативно або багатоплатформно. Поєднання технологій розробок рекомендується авторами саме для тих проектів, які не потребують високої продуктивності, але є достатньо масштабними, наприклад, навчальні додатки для освітніх закладів. Авторами подано оптимальний алгоритм відбору засобів створення мобільних додатків. Популярність мобільних платформ та мобільних додатків невпинно росте і тому ринок мобільних додатків має постійно оновлюватися і відповідати сучасним вимогам. Модернізація технологій розробки є **актуальною темою**, що викликає широкий інтерес замовників, розробників і користувачів. **Предметом** дослідження роботи є засоби реалізації створення мобільних додатків. **Мета роботи** – надати рекомендації по якісному вибору сучасних технологій та існуючих і широкоживаних засобів розробки, що є найбільш популярними для створення мобільних додатків. **Результати** – проаналізовано сучасні технології та інструменти розробки мобільних додатків, наведено їх порівняльний аналіз. Аналізуючи проведене в роботі дослідження, користувач може створити власний мобільний додаток, наприклад, навчальний.

**Ключові слова:** фреймворк, мобільний додаток, нативний, багатоплатформний, мова програмування, JavaScript, React Native, Java, Kotlin, Objective C, Swift, Android, iOS.

### Вступ

Ефективне існування кожної із сучасних галузей неможливе без застосування інформаційних технологій (ІТ). Усі сфери діяльності сучасної людини: спілкування, харчування, медицина, транспорт, послуги та інше використовують інтернет. Мережа стає невід'ємною та необхідною умовою успішного функціонування всіх ланок економічного простору. Кожен із нас є користувачем мережі й це є ознакою сучасного світу.

### Аналіз проблеми та постановка задачі

Інтернет виник більше ніж півстоліття тому як результат рішення задачі комутації пакетів Агентства перспективних дослідницьких проектів Міністерства Оборони США [1]. У 1969 році в Каліфорнійському університеті було вперше встановлено з'єднання, що дорівнювало відстані 640 км (Стенфордський університет), фінальною крапкою щодо розв'язання задачі комунікації став 1971 рік. Зауважимо, що саме у цьому році почала працювати перша мережева система електронної пошти [2].

Важливим етапом розвитку інтернету є 1984 рік, тоді стартувала перша комп'ютерна система розподілу доменних імен, яка дозволяла отримати інформацію про область сайту в мережі [1].

У 1988 році створення протоколу IRC (Internet Relay Chat) заклало основу першого чату, що забезпечило спілкування користувачів між собою в реальному часі [1].

Основним постачальником даних глобальна мережа стала лише у 1995 році, коли її трафік (за обсягом інформації, що пересилається) перевищив поширений протокол передачі файлів FTP (File

Transfer Protocol) [1]. Це надало глобального значення термінам «інтернет» і «всесвітня мережа» та стало поштовхом для створення W3C (Консорціум Всесвітньої павутини) [3].

Розвиток індустрії мобільних пристроїв спричинив спад актуальності використання персонального комп'ютера. Сучасний світ почав широко застосовувати мобільний інтернет і мобільні додатки. Функціональність мобільних додатків є надзвичайно різноманітною: від ігор та сервісів виклику таксі до офісних програм та фітнес-трекерів.

Із розвитком сучасних технологій зростає роль мобільних додатків, їх використання стає більш універсальним. Користувач хоче бачити використовувати телефон, роль персонального комп'ютера вже не така важлива. Компанії також надають більшу перевагу використанню мобільних додатків у порівнянні з сайтами. Для прикладу, у Tinder [4] до 2017 року не було веб-сервісу, а український Monobank [5] інтегрував цілий банк в один додаток, при цьому у Monobank існує сайт, але його роль в основному ознайомча, там подано посилання на скачування та умови отримання банківських послуг.

Невпинний рух вперед розвитку мобільних пристроїв породив ідею вмонтування до телефону браузер. Це стало можливим завдяки WAP (Wireless Application Protocol) в 1998 році [6], результатом появи якого стало об'єднання інтернету та мобільного зв'язку. Але головним додатком у системі все ж залишався лише браузер.

У 2001 році операційна система (ОС) Symbian стала відкритою і в цей же час з'явилася Nokia 7650 з можливістю встановлювати додатки сторонніх розробників. Це був значний крок вперед та все ж смартфони ще мали обмежені можливості і викори-

стання мови C++ створювало певні складності у розробці [7].

У цей час відбувається стартовий розвиток ринку Java-додатків. Мова Java набуває популярності та часто використовується при розробці застосунків для Windows Mobile, Android, Bada, Palm OS і BlackBerry OS. Зауважимо, що у операційній системі Symbian, на той момент, існувала можливість підтримки підмножини Java – J2ME, але функціональність таких програм була дещо обмежена [8].

У 2007 році Стів Джобс представив світу перший iPhone, де було подано достатньо повний перелік додатків. Архітектура iOS була схожа на MacOS, але система була повністю закритою. С. Джобс не хотів надавати доступ стороннім розробникам до програм для iOS, а отже, не збирався відкривати SDK (Software Development Kit) [9]. Хоча при цьому С. Джобс сприяв подальшому розвитку індустрії веб-додатків для iPhone і тому він дав можливість створювати браузерні закладки на домашньому екрані. Але допитливі зламали файловою системою, почали писати інсталювати для додатків і заодно – самі додатки. Так з'явився джейлбрейк (відкриття файлової системи iOS-пристроїв). Пізніше рада директорів Apple все ж переконав Джобса легалізувати сторонні додатки. У підсумку в березні 2008 року набір засобів розробки iPhone SDK стає доступним всім бажаючим, а в липні світ отримав магазин додатків App Store. Це означало, що Apple організовує дистрибуцію продуктів розроблених користувачами. App Store став поштовхом до розвитку індустрії розробки додатків, та все ж мова програмування Objective-C залишалася проблемною [9].

Objective-C для iOS кардинально відрізнялася від популярних тоді скриптових мов JavaScript і Flash Action Script. У той час зростає популярність мобільних ігор, що призводить до збільшення попиту на їх розробку, а значить і збільшення прибутків від них. Та все ж, попит на розробку сервісів і додатків для бізнесу ще не є достатньо великим. Тільки з появою у 2008 році Android Market, а в 2010 році – Windows Mobile Store різноманітність додатків суттєво збільшилася. Ці дистрибуційні платформи дали поштовх для розробників не тільки ігрових додатків [8].

Розвиток мобільного інтернету набирає високі оберти і разом з цим розширюється набір інструментів SDK, різноманітні платформи отримують цікаві рішення з безпеки та інтеграції. Це був новий етап розвитку в розробці додатків: від розваг розробники перейшли до вирішення завдань бізнесу.

Швидкий паралельний розвиток iOS і Android створив двополярну систему, що породжує перед розробниками нову задачу, а саме: підтримання кількох платформ одночасно. На той момент з багатоплатформних інструментів використовувалися лише Flash і звичайний мобільний браузер, причому в 2010 році Apple відмовилися від підтримки технології Adobe Flash в iOS. Розв'язання цієї зада-

чі, навіть в простому рішенні для різних платформ впиралися в людські, часові та матеріальні ресурси. На допомогу прийшли бібліотеки компонентів і фреймворки Xamarin, Cordova, Phonegap для створення додатків на Android і iOS на базі браузерних технологій без використання мов програмування.

Фреймворки – це програмні продукти, які спрощують створення і підтримку технічно складних або навантажених проєктів [10]. Фреймворк, як правило, містить тільки базові програмні модулі, а всі специфічні для проєкту компоненти реалізуються розробником на їх основі. Що надає не тільки високу швидкість розробки, а й гарантує велику продуктивність і надійність рішень. За допомогою фреймворків створюється мобільний сайт, зверху накладається платформний код, який транслює двосторонні виклики між системою та додатком. З появою перших фреймворків (Xamarin, Cordova, Phonegap) було розв'язано деякі проблеми маленьких додатків з невеликим функціоналом. Та все ж, проблеми продуктивності, споживання ресурсів, чутливості багатоплатформних додатків і «чужорідного» дизайну залишилися відкритими [8].

У 2015 році розробниками Facebook на конференції React.js Conf було представлено свій інструмент для багатоплатформних рішень – фреймворк React Native [11], де компоненти програми, написані на JS, транслюються в нативні Android і iOS. Цей інструмент принципово відрізняється від інших систем для створення багатоплатформних додатків:

- відсутністю WebView і HTML-технологій;
- візуалізацією інтерфейсу. У RN її виконує ОС пристроєм, а не браузер;
- відсутністю додаткової «обгортки» коду – замість неї JS взаємодіє з ОС через спеціальний міст.

Завдяки цим відмінностям додатки з використанням React Native максимально схожі на нативну розробку та менш конфліктні з продуктивністю.

У цей час з'являються мови програмування Swift і Kotlin як рішення задачі мінімізації складнощів при розробці нативних додатків. Swift було представлено компанією Apple на конференції WWDC (Worldwide Developers Conference) в 2014 році. Ця мова має багато спільного з Objective-C, але вона працює за аналогією зі скриптовими мовами. Її код визначається типами змінних, а не покажчиками. Це робить вивчення Swift простішим для тих, хто вже володіє будь-якою скриптовою мовою.

Kotlin з 2010 року розробляла компанія JetBrains [12] з метою створення більш лаконічної і простої мови в порівнянні з Java, яка вже накопичувала багаж невдалих рішень. З 2017 Kotlin офіційно рекомендується Майком Клероном – одним з директорів Google для Android-додатків.

Сьогодні, 99,9% смартфонів функціонують на операційній системі iOS або Android [13]. Більшість компаній використовують мобільні додатки як канал інформування користувачів, а не як спосіб ведення бізнесу. Економічний розвиток компаній, їх стабільність та успішне існування підкреслює

актуальність створення нативних або багатоплатформних розробок і в освітній галузі також. Розробка додатку дає можливість навчальному закладу покращити якість освіти та набагато ширше презентувати свій навчальний потенціал: електронні бібліотеки, книги, додатки для спрощення навчання чи тестування.

У цій роботі подано опис основних відмінностей нативної та багатоплатформної розробок мобільних додатків, проаналізовано їх переваги та недоліки.

Тема вибору правильних інструментів для створення мобільних додатків викликає інтерес багатьох розробників [14-18]. Переваги нативної чи багатоплатформної систем серед розробників породжують активну дискусію.

Автори цієї роботи вважають, що доцільно використовувати поєднання обох технологій. Цей симбіоз вперше було запропоновано Марком Цукербергом – президентом і генеральним директором Facebook та Джорданом Волком – інженером програмного забезпечення Facebook у 2015 році як фреймворк React Native [19]. До сьогоднішнього дня він знаходиться ще на стадії розробки, але вже встиг завоювати довіру багатьох розробників мобільного програмного забезпечення. Рекомендована технологія розробки є ефективною для саме тих проєктів, які не потребують високої продуктивності, але можуть бути масштабними, зокрема, додатки для навчальних закладів.

У роботі розглянуто алгоритм відбору засобів створення мобільного додатку. Предметом дослідження є засоби реалізації створення мобільного додатку.

**Мета роботи** – надати рекомендації по вибору інструментів для розробки додатку навчального закладу.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо та порівняємо основні інструменти для розробки додатків, наприклад, навчальних. Мобільні додатки можна поділити на дві категорії: нативні та багатоплатформні.

Нативні додатки [19] – це додатки, що розроблено для конкретної платформи (iOS чи Android) з урахуванням її специфіки та доступом до всіх ресурсів.

Багатоплатформні додатки [19] – це універсальні додатки, що створено для кількох платформ одразу і мають аналогічну функціональність незалежно від самої платформи.

Зазвичай це веб-сайт у звичному форматі мобільного додатку.

Розробка нативного додатку – це технологія, яка відповідає вимогам ядра операційної системи з використанням SDK (а також з наданням можливості роботи з пам'яттю, внутрішніми датчиками пристрою та іншими встановленими додатками) [19].

Переваги нативних додатків включають в себе:

- високу продуктивність;
- основний призначений для користувача досвід;

– велику видимість в магазинах додатків.

За допомогою "рідних" кожній платформі інструментів створюється величезна кількість додатків, але вони не є ідеальні.

Недоліки нативного додатку полягають в тому, що в його розробці будуть задіяні декілька команд, в неможливості перевикористання коду, як наслідок – більша витрата часу.

Розробка багатоплатформного додатку – це технологія, яка сумісна з безліччю операційних систем і таким чином працює на різних смартфонах і планшетах [20].

Існує два типи реалізації багатоплатформної розробки: нативні багатоплатформні та гібридні. Опишемо кожен з них.

**Нативні багатоплатформні додатки.** Кожна операційна система має власний SDK і технічний стек (Java для Android і Objective-C / Swift для iOS). Досвідчений розробник може створити єдиний API, що функціонує на native Software Development Kit і використовує одну і ту ж кодову базу для Android і IOS. Нативні багатоплатформні програми зазвичай створюються за допомогою Xamarin, React Native, NativeScript.

**Гібридний HTML5 додаток.** Хоча, мобільні додатки розробляються для смартфонів і планшетів, їх бекенд сервери справляються з логікою програми. З тих пір як IOS і Android SDK почали характеризуватися як просунуті веб-компоненти, кваліфіковані розробники програмного забезпечення часто використовують WebView, щоб створити різні частини програми GUI (Graphical User Interface) з використанням HTML5, CSS і JavaScript.

Найбільш популярним засобом є фреймворк – Apache Cordova (раніше відомий як PhoneGap).

Опишемо основні інструменти багатоплатформних розробок.

**Apache Cordova.** Технічний стек Apache Cordova складається з HTML5, CSS3 і JavaScript. Механізми розробки мобільних додатків дають доступ до вбудованого акселерометру смартфона, сховища файлів, GPS, контактним даним, мультимедіа та оповіщенням. Apache Cordova також може похвалитися кількома перевагами включаючи досить простий API і можливість використовувати будь-який JS фреймворк. Проте, платформа являє UI (User Interface) інтерфейс програми через веб-браузер (який, звичайно, може зависати при великих додатках).

**Xamarin.** Додатки на Xamarin створюються за допомогою C# і .Net. Xamarin дозволяє розробникам повторно використовувати код і полегшує процес створення динамічного макета для IOS. Однак компоненти UI не можуть бути здійснені на MonoTouch і MonoDroid, з тих пір як вони поклалися на специфічні особливості Android і IOS.

**React Native.** Рішення від Facebook, яке є логічним продовженням React, але для мобільної розробки та використовує:

- мову програмування JavaScript;
- нативний UI для кожної платформи;
- UI як функцію поточного стану.

UI виділяється в окремі компоненти для забезпечення промальовування стану.

Дуже важливо правильно організувати data-flow (потік даних), а також налагодити взаємодію між компонентами. Це необхідно для хорошої організації структури коду.

Ізольованість UI дає можливість великого перевикористання коду між Mobile- і web-рішенням.

**Native Script.** Фреймворк використовує:

- нативний рендеринг без WebView;
- фреймворк Angular 2;
- стандартний двосторонній біндинг.

Зауважимо, що NativeScript у порівнянні з:

- Phonegap не потребує жодних плагінів для використання нативних API;
- ReactNative використовує Angular2.

Опишемо основні переваги та недоліки багатоплатформних додатків.

Перевагами розробки багатоплатформної програми є:

1. Більш короткий час розробки. Якщо обрати правильний технічний стек і розпланувати ретельно проєкт, можна перевикористати до 80% коду.

2. Рентабельність. Розробка нативного мобільного додатку є більш вартісна у порівнянні з розробкою багатоплатформного мобільного додатку.

3. Вплив на велику кількість користувачів. Багато багатоплатформних додатків працюють на IOS і Android системах (також на Windows, Linux, Tizen і навіть Symbian).

4. Синхронізація оновлень. У світі, де розробники додатків впроваджують оновлення приблизно 4 рази на місяць, технічне обслуговування забирає більшу частину прибутків, що підкреслює вираженість багатоплатформних розробок.

Недоліками розробки багатоплатформної програми є:

1. Проблеми з продуктивністю. Обчислювальна потужність смартфонів відносно мала. Сприяння матеріально-технічного забезпечення HTML5 / CSS UI, навпаки, вимагає багато ресурсів GPU (Graphics Processing Unit) / CPU (Central Processing Unit) і може збільшити час відгуку програми.

2. Проблеми з дизайном. Поєднання UX (User Experience) вимог до дизайну двох платформ може викликати складнощі. Apple відомі своїм Human Interface Guidelines і відхиляють веб-сайти в нативній обгортці. Однак 20% відмов у App Store припадають на баги (помилки в програмі) і поганий UI дизайн. Та цю проблему легко може усунути надійна компанія з розробки гібридних багатоплатформних додатків.

Вибір між нативною і багатоплатформною розробкою програми залежить від набору функцій програми та її призначення.

Якщо передбачається, що додаток стане самостійним бізнесом (наприклад, фітнес додатки, додатки по турботі про здоров'я), то слід обирати нативні способи розробки. Для компаній, які замовляють суто інформативні додатки (або додатки для поширення інформації), краще використовувати багатоплатформні розробки.

Зауважимо, що вартість проєкту суттєво зростає, при розробці повністю нативного додатку на Android та iOS окремо. Тоді є два варіанти розв'язання цієї проблеми замовити або гібридний, або нативний багатоплатформний додаток. При цьому, у першому випадку, витрати на розробку є мінімальними, проте додаток може бути ненадійним (його легко зламати) та повільним у роботі. Щодо другого випадку, вартість більша у порівнянні з витратами на створення гібридного додатку, але значно менша за вартість повністю нативної розробки. Отриманий таким чином додаток є продуктивним та достатньо безпечним, оскільки вся його логіка скомпільюється у повністю бінарний код.

Існує багато різних платформ, та все ж основним є платформи: Android та iOS. Інші з часом втрачають свою актуальність і тому засоби розробки мобільних додатків мають базуватися на цих двох платформах. Це є продуктивно і не звужує коло користувачів.

Одним із важливих критеріїв популярності мобільних додатків є ергономіка. Ергономіка застосування – це зручність користування. Запорука ергономічності будь-якої мобільної розробки полягає у використанні звичного для платформи дизайну, нативних елементів та логічного управління. На зручність додатку впливає відповідність його дизайну тій платформі під яку він створюється. Але при створенні гібридного додатку 100% «схожості» із платформою досягти важко, оскільки HTML ніяк не зможе замінити нативні компоненти. Інколи розв'язання цієї проблеми можливе, але це призводить до збільшення розміру додатку та зниження його швидкодії.

При розробці нативного додатку цієї проблеми не виникає. При створенні нативного багатоплатформного додатку стандартні компоненти вже присутні в фреймворці, а дизайн допускає налаштування відповідні до конкретної платформи.

Проведений порівняльний аналіз технологій розробки, показує що:

1. Розробка гібридного додатку є доцільною при організації невеликих за масштабом проєктів, які не потребують складної логіки та дизайну. Наприклад, інформаційний портал.

2. Розробка нативного додатку є доцільною при організації швидкодійних, безпечних та багатоструктурних за своїм дизайном проєктів. Наприклад, соціальна мережа чи додаток для банку.

3. Розробка нативного багатоплатформного додатку є найбільш універсальною. Реалізує основні задачі масштабних проєктів, гарантує швидкодію, безпеку та дизайн відповідно базової платформи. Наприклад, додаток навчального закладу з власним форумом та можливістю подавати новини, проводити онлайн тестування чи опитування.

## Висновки

Поданий у роботі аналіз інструментів та засобів можна практично реалізувати в процесі створення мобільного додатку, а саме при виборі інструментів розробки. Рекомендації, що подані в роботі, дають

можливість швидко та ефективно створювати мобільні застосунки, що володіють швидкодійністю та універсальністю, є дешевими в розробці, простими в підтримці, нескладними в обслуговуванні. Правильний аналіз розглянутих методів та засобів дозволить

обрати правильну розробку конкурентоспроможного мобільного додатку, яка буде мінімальною по часовим та матеріальним витратам, але водночас дасть безпечний, інтуїтивно зрозумілий та швидкодіючий додаток.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія виникнення інтернету, 2016, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://webbuilding.com.ua/ukr/articles/istoriya-interneta/>
2. A brief history of email: dedicated to Ray Tomlinson, 2016, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://phrasee.co/a-brief-history-of-email/>
3. W3C [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.w3.org/>
4. Tinder, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://tinder.com/?lang=uk>
5. Monobank | Universal Bank, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.monobank.ua/?lang=uk>
6. Wireless Application Protocol 2.0, 2001, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=23999>
7. Восход и закат Symbian, 2011, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/128361/>
8. Эволюция в вашем кармане: как развивались мобильные приложения, 2018, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://appttractor.ru/info/articles/evolyutsiya-v-vashem-karmane-kak-razvivalis-mobilnyie-prilozheniya.html>
9. Walter Isaacson “Steve Jobs”, Simon & Schuster, 2011
10. Framework, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://whatis.techtarget.com/definition/framework>
11. React Native. Build native mobile apps using JavaScript and React, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://facebook.github.io/react-native/>
12. Kotlin, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Kotlin>
13. iOS и Android занимают уже 99,9% рынка мобильных ОС, 2018, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ixbt.com/news/2018/02/24/iOS-android-99-9.html>
14. Native vs. Cross-Platform Apps – You’ll Be the Winner, 2018, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.zeolearn.com/magazine/native-vs-cross-platform-apps-youll-be-the-winner>
15. Cross-platform vs. Native Mobile App Development: Choosing the Right Dev Tools for Your App Project, 2017, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/all-technology-feeds/cross-platform-vs-native-mobile-app-development-choosing-the-right-dev-tools-for-your-app-project-47d0abafee81>
16. Cross-platform vs native app development?, 2019, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.brightec.co.uk/ideas/cross-platform-vs-native-app-development>
17. Омелян, О. М.; Ічанська, Н. В. “Використання інформаційно- комунікаційних технологій у процесі викладання математики”, Математика в сучасному технічному університеті: Матеріали Шостої міжнародної науково-практичної конференції, (Київ 28-29 грудня, 2017 р.) – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського (Київ), 2018. – С. 370-374.
18. Методологія підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем: Монографія / О. В. Шефер. – Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2019. – 236 с.
19. React Native, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/React\\_Native](https://en.wikipedia.org/wiki/React_Native)
20. Типи мобільних додатків, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://smile-ukraine.com/ua/mobile-apps/mobile-apps-types>

Received (Надійшла) 26.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Main aspects of creating mobile applications and selecting the instruments for their development

N. Ichanska, S. Ulko

**Abstract.** The paper describes the main chronological aspects of network development, describes the main differences between native and multi-platform development of mobile applications, presents their comparative analysis, shows the effectiveness of combining these two technologies. According to the authors, the symbiosis of these developments is a universal and alternative option for creating various projects that are usually developed either native or multi-platform. The combination of development technologies is recommended by the authors specifically for those projects that do not require high productivity, but are large enough, for example, educational applications for educational institutions. The authors presented the optimal selection algorithm for creating mobile applications. The popularity of mobile platforms and mobile applications is constantly growing, and therefore the mobile application market must be constantly updated and meet modern requirements. Modernization of development technologies is an **urgent** topic, which causes widespread interest of customers, developers and users. The **subject** of research is the means of implementing the creation of mobile applications. The **purpose** of the work is to give recommendations on the high-quality selection of modern technologies and existing widely used development tools, which are the most popular for creating mobile applications. **Results** - modern technologies and tools for developing mobile applications are analyzed, their comparative analysis is given. Analyzing the research carried out in the work, the user can create his own mobile application, for example, a training one.

**Keywords:** framework, mobile application, native, multi-platform, programming language, JavaScript, React Native, Java, Kotlin, Objective C, Swift, Android, iOS.

Т. А. Кошель

Головний центр спеціального контролю Державного космічного агентства України,  
смт Городок, Радомишльський район, Житомирська область

## ВИБІР МЕТОДА ЛІНГВІСТИЧНОЇ СТЕГАНОГРАФІЇ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ З РЕЄСТРАЦІЇ СЕЙСМІЧНИХ ПОДІЙ

**Анотація.** Важливим завданням сьогодення в області захисту інформації є впровадження криптологічних методів. Однак на цьому шляху багато невирішених проблем, пов'язаних з руйнівним впливом на криптозасоби таких складових інформаційної зброї, як комп'ютерні віруси, логічні бомби, автономні реплікативні програми. Метою статті є вивчення особливостей синтаксичних методів лінгвістичної стеганографії. У ході досліджень вирішувались задачі ефективного застосування сил та засобів головного центру спеціального контролю під час передачі для обробки даних реєстрації сейсмічних явищ у ближній та дальній зонах. Об'єктом дослідження в роботі є пунктуаційний метод приховування інформації у текстових контейнерах. Запропоновано використовувати модель приховування повідомлень у текстових контейнерах з відкритим доступом. Це можливо на основі блокування несанкціонованого доступу до інформації шляхом шифрування змісту повідомлень. Предметом дослідження є принципи вбудовування та вилучення повідомлень за реалізованим алгоритмом. Методи дослідження: формалізація теоретичної інформації, порівняльний аналіз, розробка методів реалізації. Розглянуто також атаки на стеганографічні системи та виділено особливості всіх атак. Перевагу було надано синтаксичному методу на основі пунктуації для здійснення приховування інформації під час передачі даних від периферійних центрів до головного центру приймання і обробки інформації. Кінцевими результатами проведеної роботи передбачена реалізація програми вбудовування та вилучення повідомлення в/з контейнера. Було проведено порівняльний аналіз щодо використання типів текстових контейнерів та здійснено аналіз часових рамок процедур вбудовування та вилучення повідомлення. Вказано також і на можливі недоліки пунктуаційного методу. Такі, як складність програмної реалізації, після якої заповнений контейнер повинен відповідати усім вимогам нормальної стеганосистеми, і . труднощі дотримання вимог до пропускнув спроможності.

**Ключові слова:** лінгвістична стеганографія, синтаксичні методи, текстові контейнери, варіативність розділових знаків, пунктуація, кодування.

### Вступ

У сучасному світі настільки сильно все залежить від інформації та Інтернету, що нікого не здивуєш викладанням авторських перекладів відомих художніх творів чи власних думок та різноманітних описів, як на просторі Інтернету для завантаження іншими, так і для опублікування у блогах та різних соціальних мережах. Тому для застосування у Головному Центрі Спеціального Контролю (ГЦСК) пропонується модель приховування повідомлень саме у текстових контейнерах, з відкритим доступом. Захист інформації від несанкціонованого доступу - одна з найдавніших проблем. Як відомо, ціль криптографії полягає в блокуванні несанкціонованого доступу до інформації шляхом шифрування змісту повідомлень. Ціль стеганографії - приховати сам факт існування секретного повідомлення. При цьому обидва способи можуть бути об'єднані і використані для підвищення ефективності захисту інформації (наприклад, для передачі криптографічних ключів). Комп'ютерні технології додали новий імпульс розвитку й удосконалюванню стеганографії, з'явився новий напрямок в області захисту інформації - лінгвістична стеганографія на основі текстових контейнерів. Дослідження нині відомих синтаксичних методів лінгвістичної стеганографії обумовлюється своєю різноманітністю використання та є запорукою успіху на шляху до розуміння структури приховування та стегоаналізу, для створення власних реалізацій алгоритмів, в залежності від поставлених цілей. Приховування інформації у текстових контей-

нерах за допомогою пунктуаційного методу несе з собою ряд розробок і пропозицій щодо покращення алгоритму та можливої взаємодії з іншими методами лінгвістичної стеганографії. Актуальність алгоритмів обумовлюється існуючою постійною необхідністю у передачі секретних повідомлень, а досліджені синтаксичні методи лінгвістичної стеганографії мають високу стійкість до виявлення, що дуже цінується у сучасній цифровій стеганографії. Необхідно провести аналіз атак на стеганографічні системи та оцінити особливості всіх атак, що розуміється як відсутність модифікації вбудованих повідомлень для забезпечення непомітності своєї дії. Дослідження, що проводяться в ході виконання поставлених завдань [1] на АСП «ХАРКІВ» допомагають виявити переваги та недоліки методів приховування, складність реалізації та оцінити роботу даного методу [2]. Реалізація алгоритмів приховування та вилучення несе за собою необхідність у детальному вивченні пунктуаційних норм та надмірностей української мови, що також допомагає при аналізі відмінностей між пустим та заповненим контейнерами.

### Постановка задачі

Одним з основних завдань, пов'язаних з вирішенням питань передачі інформаційних повідомлень з периферійних пунктів спостереження на всій території України до центрального пункту прийому, обробки даних і прийняття рішення щодо застосування сил та засобів ГЦСК, є забезпечення безперервності функціонування каналу передачі даних за

умов достовірності, оперативності і постановці перешкод в розпізнаванні або розкритті змісту прихованих повідомлень [3]. Остання умова виконання завдань є актуальною на цей день для ГЦСК.

### Основний матеріал

Стеганографічна або, скорочено, стегосистема – сукупність засобів та методів, які використовуються для формування непомітного каналу передачі інформації. Її метою є не обмежувати доступ до контейнеру, а в значній мірі гарантувати, що вбудовані дані залишаться цілими і немодифікованими та з подальшою можливістю вилучення [4].

При побудові стеганосистеми повинні враховуватися наступні положення [5]:

1) стеганосистема повинна мати допустиму обчислювальну складність реалізації – кількість кроків або арифметико-логічних операцій, необхідних для вирішення проблеми. В даному випадку – процесу приховування/вилучення конфіденційної інформації в/з контейнеру;

2) повинна забезпечуватися необхідна пропускна спроможність, що є особливо актуальним для стеганосистем системи прихованої передачі інформації;

3) повинні забезпечуватися автентичність та цілісність секретної інформації для авторизованого користувача;

4) потенційний стегоаналітик має повне уявлення про стегосистему та деталі її реалізації, єдине, що йому не відоме – це ключ, за допомогою якого можна визначити факт наявності прихованого повідомлення та його зміст;

5) якщо факт наявності прихованого повідомлення стає відомим стегоаналітику, це не повинно дозволити останньому вилучити його до тих пір, поки ключ залишається секретним;

6) порушник не повинен мати будь-яких технічних та інших переваг в розпізнаванні або розкритті змісту прихованих повідомлень.

### Характеристики методів

Обираючи алгоритм, за допомогою якого вирішуватиметься поставлена проблема, необхідно опиратися на обов'язкові переваги наступних характеристик:

1) пропускна спроможність – це максимальна кількість інформації, що може міститися в одному контейнері; при цьому, приховувані повідомлення повинні бути безпомилково передані приймальної стороні (отримувачеві) та захищені від атак несанкціонованих користувачів, таких як спроби виявлення наявності каналу прихованого зв'язку, вилучення прихованих повідомлень та навмисне введення хибних даних або руйнування вбудованої в контейнер інформації [6];

пропускна спроможність відкритого каналу зв'язку визначається як кількість інформації, яка може бути безпомилково передана за один сеанс використання каналу зв'язку;

пропускна спроможність каналу прихованого зв'язку значно менша за попередню, адже тут за

один сеанс використання каналу прихованого зв'язку передається один елемент контейнеру, в який вбудована прихована інформація [7];

2) якість приховування – це міра спотворення контейнеру, адже будь-яке приховування повідомлення так чи інакше змінює структуру контейнеру [8];

3) цю характеристику неможливо виразити в числах, тож найкращий спосіб її виміряти – самостійно або за допомогою групи людей наглядно оцінити контейнер до та після приховування; якість приховування залежить від сприйняття людини або групи людей. Висока пропускна спроможність, зазвичай, погіршує якість приховування;

4) робастність – це міра здатності методу зберігати повідомлення навіть після деяких перетворень над контейнером, таких, як лінійна та нелінійна фільтрація, додавання випадкового шуму, стиснення з втратами та відновлення або деякі види обробки [8];

5) стійкість до спотворень – унеможливлення зміни повідомлення несанкціонованим користувачем у разі спроби спотворення замість знищення [8]; алгоритми, що дотримуються цієї характеристики ускладнюють задачу зміни вбудованого повідомлення або його заміни;

6) стійкість до виявлення – унеможливлення несанкціонованим користувачем виявлення наявності в тексті прихованого повідомлення шляхом статистичної обробки контейнеру, наприклад, підрахунку ймовірнісних критеріїв букв для заданої мови, кількості пробілів або регістрів літер [6];

7) співвідношення «сигнал/шум» [9]; ця величина є мірою якості приховування та стійкості до спотворень; в основному, великі значення співвідношення є ідеальними для систем комунікації, а малі – для стеганографії, адже контейнер – це шум, а повідомлення – сигнал.

Пропускна спроможність, стійкість до виявлення та робастність відіграють тут взаємопов'язану роль – покращення однієї з характеристик алгоритму, погіршує інші [10], саме тому жодний з алгоритмів не може бути абсолютно стійким до виявлення, повністю робастним та мати максимальну пропускну спроможність. Залежність методів від характеристик показана на рис. 1.



Рис. 1. Взаємопов'язана схема характеристик алгоритмів лінгвістичної стеганографії



## Класифікація методів лінгвістичної стеганографії

1. Семаграми – приховують інформацію, використовуючи спеціальні позначки, які ледь помітні людському окові та сприймаються як чинні речі, наприклад, завитки на рукописних літерах або трохи змінені крапки у друкованому варіанті. Текстові семаграми приховують повідомлення, модифікуючи контейнер, змінюючи розмір літер або шрифт [5].

2. Використання «жаргонізмів» - деяких слів або словосполучень, зрозумілих для певної групи людей та не набутих осмисленням для інших. Використання певного «жаргонізму», попередньо знайденого в таблиці з підставленими бітами допомагає приховати невеликі повідомлення не визиваючи тривоги [5].

3. Метод зміни регістрів символів [5]. Даний метод пропонує кодування нульового біта повідомлення нижнім регістром, а одиничного біта – верхнім. Вміст файла-контейнера зчитується посимвольно та змінюється згідно з повідомленням. Кожна буква може містити один біт інформації, тож пропускна спроможність тут досягає ста відсотків. Алгоритм є базовим, тож стійкість до виявлення тут близька до нуля. Робастність також не забезпечується – при найпростішому форматуванні – переводі тексту в один регістр – повідомлення руйнується.

4. Метод додавання кінцевих пробілів. – здійснюється додавання в кінець строки другого пробілу для кодування одиничного біту та залишення одного пробілу для кодування нульового біту [6]. Пропускна спроможність залежить від кількості рядків у контейнері та є досить низькою – порядку 0.05 – 0.1%.

Стійкість до виявлення висока – заповнений контейнер достатньо непомітний для неозброєного ока. Робастність не забезпечується, адже навіть при друкуванні повідомлення руйнується, не кажучи вже про автоматичне форматування та видалення зайвих пробілів.

5. Модифікований метод додавання кінцевих пробілів – в кінці кожного рядка додається від нуля до п'ятнадцяти пробілів, кодуючи пів байт [6]. При правильному форматуванні контейнер залишається непомітним, а пропускна спроможність зростає у порівнянні з попереднім методом.

6. Однаковість написання символів. – ряд українських та англійських символів візуально не відрізняється, але вони мають різне позначення у ASCII-таблицях [6]. Пропускна спроможність визначається кількістю схожих символів, а їх майже половина, тобто, порядку п'ятдесяти відсотків. Стійкість до виявлення визначається характером обробки – заміна у текстових редакторах може підсвічуватися як помилка у написанні. Робастність досить висока – прості атаки на форматування не зруйнують повідомлення [11].

7. Допущення помилок в тексті – вставка в текст помилок навмисно для кодування кожного неправильно слова одиничним бітом, можна змінювати слова як на типові помилки, характерні для

української мови – «є/и», «ш/щ», «у/ю», «з/с», «н/nn», так і на символ, що знаходиться поряд із замінованим на клавіатурі, при невеликих об'ємах приховуваного повідомлення це залишається непомітним для людського ока [8]. При відсутності коротких слів у контейнері є можливість приховування одного біта в одне слово.

Для цього методу характеристики «якість приховування» та «співвідношення сигнал/шум» є обернено пропорційними.

8. Використання синонімів – маючи великий словник синонімів та зроблену з нього правильно підібрану таблицю для різних випадків, можна замінити слова згідно з цією таблицею на потрібні для приховування повідомлення [8].

Змінювати можна хоч кожне слово, що забезпечує високу пропускну спроможність, виявлення неможливе без якого-небудь неточного використання синонімів, що може підштовхнути на думку про наявність прихованого повідомлення в тексті, але це лише у текстах, сформованих особисто, наприклад, будь-які заміни у загальновідомих літературних творах одразу ж розпізнаються. Робастність висока, адже будь-які зміни контейнера не призведуть до зміни тексту.

9. Застосування емодзі – піктограм, що зображують емоції [9]. У кожній емодзі є своє кодове уявлення, також на одну й ту саму емоцію доводиться порядку трьох – чотирьох емодзі. Шляхом виявлення синтаксично - емоціональної складової речення можна в кінці проставляти деякі з них, в залежності від приховуваного повідомлення, відсутність же емодзі відзначати нульовим бітом. Пропускна спроможність досить висока. Щодо виявлення – це малоймовірно. Робастність залежить від типу відображення та кодування операційної системи: деякі емодзі можливо замінити просто на квадрати, що призведе до знищення повідомлення.

10. Пунктуаційна варіативність – приховування даних у контейнері шляхом використання правил української мови при перерахуваннях, узагальнюваних словах та при зміні структури тексту, наприклад, - розбиття речення на два простих замість одного складного, щоб прибрати кому, та, навпаки, вставити цю кому, об'єднавши прості речення [9].

Також дієвим способом є заміна ком на сполучники при перерахуваннях та навпаки. Пропускна спроможність досить невелика, адже у порівнянні з кількістю символів, кількість розділових знаків є незначною, але це компенсується високою стійкістю до виявлення та робастністю.

## Оцінка алгоритмів лінгвістичної стеганографії

Виконаємо аналіз існуючих методів та занесемо результати у таблицю (табл. 1), використовуючи такі критерії:

1. *Якість приховування:*

«2» – різниця між заповненим контейнером та контейнером без прихованого повідомлення не відчувається;

«1» – різниця помітна, якщо її шукати. «0» – наявність прихованого повідомлення можна побачити неозброєним оком.

#### 2. Робастність:

«2» – після дій над контейнером повідомлення збереглося у повному обсязі;

«1»- після змін контейнера повідомлення можливо вилучити та прочитати, але з невеликими спотвореннями. «0» – повідомлення зруйноване.

#### 3. Пропускна спроможність:

«2» – порядку 61-100%.

«1» – порядку 41-60%. «0» – порядку 11-40%

Таблиця 1 – Оцінка алгоритмів лінгвістичної стеганографії

Назва алгоритму	Оцінка 1	Оцінка 2	Оцінка 3	Загальна оцінка
Семаграми	1	0	2	3
Використання «жаргонізмів»	1	2	1	4
Метод зміни регістрів символів	0	0	2	2
Метод додавання кінцевих пробілів	2	0	0	2
Модифікований метод додавання кінцевих пробілів	2	0	1	3
Однаковість написання символів	1	2	1	4
Припущення помилок в тексті	1	1	1	3
Використання синонімів	2	2	2	6
Застосування емодзі	2	1	2	5
Пунктуаційна варіативність	2	2	1	5

### Класифікація атак на лінгвістичні методи стеганографії

1. Найбільш розповсюджена та проста атака – суб'єктивна, а саме, спроба виявити наявність прихованого повідомлення «на око». Може застосовуватися лише для абсолютного захищених стеганосистем. Тим не менш, вона найбільш розповсюджена на початковому етапі [9].

Першочерговий аналіз може містити у собі наступні пункти [12]:

1.1) первинне сортування стеганосистеми за зовнішніми ознаками;

1.2) виділення стеганосистеми з відомим алгоритмом вбудовування;

1.3) визначення використаних алгоритмів;

1.4) перевірка достатності обсягу матеріалів для стегоаналізу;

1.5) перевірка можливості проведення аналізу в окремих випадках;

1.6) фналітична розробка стегоматеріалів та методів зламу стеганосистеми;

1.7) виділення стегосистеми з відомими алгоритмами приховування але невідомими ключами.

2. Атака на основі відомого заповненого контейнера [6]. У цьому випадку несанкціонований користувач має одне або декілька стего, при цьому приховування повідомлення здійснювалося одним й тим самим способом. Задача полягає у виявленні факту наявності прихованого повідомлення та його вилучення або знаходженні ключа. Знаючи ключ, можливо провести аналіз наступних повідомлень.

3. Атака на основі відомого вбудованого повідомлення [6]. Цей тип атаки є характерним для систем захисту інтелектуальної власності, коли в якості водяного знаку використовується відомий

логотип фірми. Задачею аналізу є отримання ключа. Якщо відповідний прихованому повідомленню заповнений контейнер – невідомий, то задача досить важко вирішується.

4. Атака на основі обраного секретного повідомлення [6]. У цьому випадку правопорушник має змогу пропонувати свої повідомлення та аналізувати отримані стего.

5. Адаптивна атака на основі вибраного секретного повідомлення [6]. Ця атака є частковим випадком попередньої, у цьому випадку правопорушник має змогу нав'язувати повідомлення, виходячи з аналізу попередніх стего.

6. Атака на основі вибраного заповненого контейнера [6]. Стегоаналітик має детектор стего у вигляді «чорної скриньки» та декілька стего. Задача полягає у знаходженні ключа.

7. Атака на основі відомого пустого контейнера [6]. Шляхом порівняння пустого контейнера з стего, стегоаналітик завжди може встановити факт наявності прихованого повідомлення.

8. Атака на основі вибраного пустого контейнера [6]. Зазвичай використовуються такі контейнери, приховати наявність повідомлення в яких досить важко.

9. Атака на основі відомої математичної моделі контейнера або його частини [6]. При цьому необхідно виділити різницю підозрілого повідомлення від відомої моделі. Задача приховування полягає у тому, щоб не пошкодити статистичну структуру контейнера.

Всі ці атаки мають одну особливість: вони не змінюють повідомлення та не спрямовані на протидію декодерів. В цьому їх позитивна сторона: вони навряд чи можуть насторожити відправника та отримувача.

Стеганосистема вважається зламанною, якщо порушнику вдалося, принаймні, довести факт існування прихованого повідомлення в перехопленому контейнері [13]. Передбачається, що порушник здатний здійснювати будь-які атаки і має необмежені обчислювальні можливості. Якщо йому не вдається підтвердити гіпотезу про те, що в контейнері приховане повідомлення, то стеганосистема вважається стійкою.

Ефективність розробленої стеганосистеми будемо досліджувати за наступними показниками:

1. За показником ємкості – це співвідношення розміру файлу-повідомлення до розміру файлу-контейнеру.

2. За часом приховування.

3. За часом вилучення.

4. За суб'єктивною оцінкою різниці між порожнім та заповненим контейнерами.

5. За показником ефективності – добутком першого та третього показників.

Контейнери класифікуватимемо за стилями сучасної української літератури:

1. *Художній стиль*. У ньому поєднано емоційність, образність та експресивність. В ньому зосереджується все багатство української мови з використанням неосязної кількості розділових знаків та їх неоднозначним використанням.

2. *Науковий стиль*. Особливістю є використання термінів, точності та логічності. Менш багатий на пунктуацію за попередній стиль.

3. *Офіційно-діловий стиль*. Це мова ділових паперів та законів, і хоч розділових знаків тут достатньо, та їх зміна буде доволі підозрілою.

4. *Публіцистичний стиль*. Зазвичай використовується в засобах масової інформації із застосуванням великого обсягу потрібних нам розділових знаків.

5. *Епістолярний стиль*. Особливістю є використання великої кількості вставних слів та форм ввічливості, що збільшує кількість пунктуаційних знаків.

Перейдемо до оцінки ефективності застосування представлених пустих контейнерів за показником ємкості. Графік залежності можна побачити на рисунку (рис. 2).

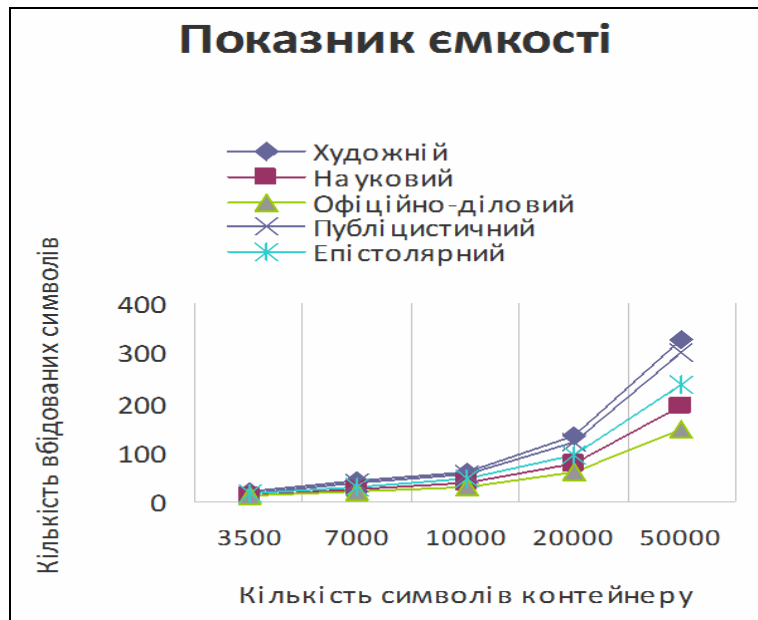


Рис. 2. Залежність показника ємкості від збільшення повідомлення

Роздивившись уважно цей рисунок, можна зробити висновок, що для невеликих повідомлень до двадцяти символів однаково ефективно можна застосовувати будь-який з обраних за стилем пустий контейнер. З ростом вбудованого повідомлення можемо виявити залежність, а саме, що найбільш сприйнятливим для приховування є контейнер художнього стилю, на другому місці – контейнер публіцистичного стилю, на третьому – епістолярний, на четвертому – науковий, і останнє, п'яте місце посідає контейнер офіційно-ділового стилю.

Час приховування інформації – це час в мілісекундах, через який пустий контейнер стане заповненим. Основними компонентами є складність реалізації, тобто час на обробку правил вбудовування, пошук розділових знаків при зчитуванні контейнеру та заміна необхідних пунктуаційних знаків (рис. 3).

Розглянувши уважно ці графіки, можна зробити висновок, що тип контейнеру майже не впливає на час приховування, адже процедура вбудовування однакова для всіх типів контейнерів, різницю становить лише зчитування контейнеру, а саме, його необхідна кількість символів для приховування. Різниця на невеликих обсягах прихованого повідомлення взагалі не відчувається і становить порядку секунди, з ростом об'єму повідомлення ця величина може сягати порядку до півхвилини.

Процедура зчитування відбувається шляхом посимвольного зчитування контейнеру та декодування розділових знаків із подальшим перетворенням бітової послідовності у текст. На рисунку (рис. 4) показано графік залежності часу від розміру прихованого повідомлення для усіх типів контейнеру одночасно.

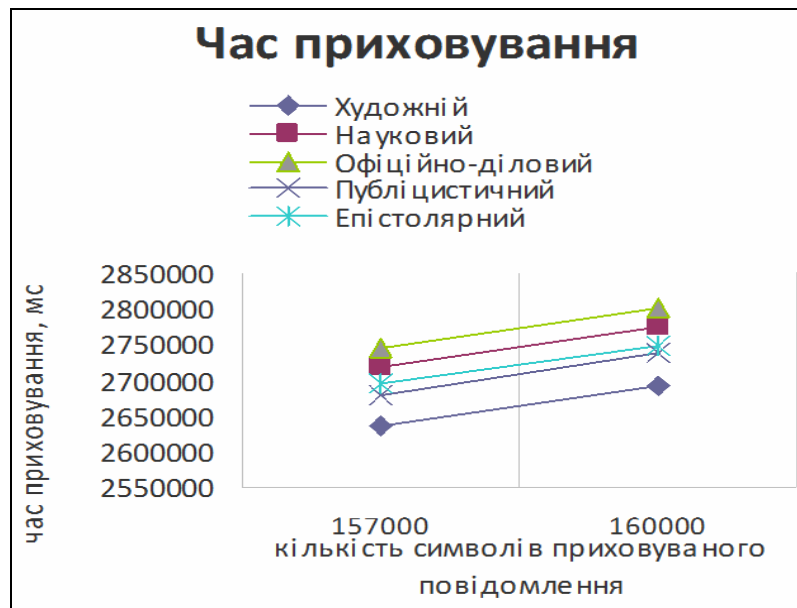


Рис. 3. Аналіз часових рамок процедури вбудовування

Проаналізувавши час, необхідний для вилучення повідомлення при використанні різних типів контейнерів, можна зробити висновок, що тип контейнеру не впливає на процедуру вилучення, адже процедура зчитування та декодування є однаковою для всіх типів.

Суб'єктивне оцінювання стеганосистем є найпоширенішим видом атак і полягає у самостійному,

без використання технічного або програмного забезпечення, аналізуванні та прийняття рішення щодо наявності прихованого повідомлення у контейнері.

Для аналізу різниці пустого від заповненого контейнерів було запропоновано саме цю модель виявлення прихованого повідомлення.



Рис. 4. Графік залежності часових рамок від кількості прихованих символів для процедури вилучення повідомлення

Проведення порівняння здійснювалося як самостійно, так із залученням групи людей, було виявлено деякі закономірності:

1. Тип контейнеру впливає на виявлення прихованої інформації.

2. Виявлення факту наявності повідомлення «на око» прямо порційно залежить від ступеню знання пунктуаційних норм української мови дослідником.

3. Стійкість до виявлення залежить від кількості пробілів та розділових знаків у самому прихованому повідомленні.

Пропозицією щодо підвищення стійкості до виявлення може слугувати більш детальний підхід до вибору типу текстового контейнеру або ж, самостійне його створення

### Висновки

Характерною тенденцією в даний час в області захисту інформації є впровадження криптологічних методів. Однак на цьому шляху багато ще невирішених проблем, пов'язаних з руйнівним впливом на криптозасоби таких складових інформаційної зброї, як комп'ютерні віруси, логічні бомби,

автономні реплікативні програми. Об'єднання методів лінгвістичної стеганографії і криптографії є запропонованим виходом з положення, що створилося. У цьому випадку можна усунути слабкі сторони відомих методів захисту інформації і розробити більш ефективні нові нетрадиційні методи забезпечення інформаційної безпеки. Проаналізувавши всі, нині відомі, методи лінгвістичної стеганографії та оцінивши засоби їхнього використання, було обрано синтаксичний метод на основі пунктуації для здійснення приховування інформації під час передачі даних від периферійних центрів до головного центру приймання і обробки інформації. Дослідження всіх методів у подальших дослідженнях допоможе характеризувати та структурувати межі застосування запропонованих методів у ГЦСК, виявити недоліки та переваги окремих ал-

горитмів та вибрати цікавий та неординарний напрямок для подальшого його реалізації та застосування за призначенням. Аналіз пунктуаційної варіативності української мови на другому етапі досліджень зможе дати поштовх для вибору методу кодування та вибору окремих розділових знаків для використання у процедурах приховування та вилучення повідомлення. Практична цінність виконаної роботи полягає у використанні рекомендацій під час розробки алгоритмів вбудовування та вилучення інформації з можливістю їхнього подальшого вдосконалення. Проведений аналіз допоміг виявити можливі недоліки пунктуаційного методу. По-перше, це складність програмної реалізації, після якої заповнений контейнер повинен відповідати усім вимогам нормальної стеганосистеми. По-друге, це боротьба із пропускнуою спроможністю.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виноградов Ю. А. Комплексное применение сейсмического и инфразвукового методов регистрации волновых полей для выделения сигналов от наземных взрывов в процессе мониторинга природной среды в Евро-Арктическом регионе: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 2004, 26 с.
2. Дубровин В. И., Смирнов А. А. Совместное использование инфразвуковых и сейсмических данных для повышения точности локализации. Вестник НЯЦРК. 2011. Вып. 3. С. 140-144.
3. Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. О. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів та землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України. Геофіз. журн. 2009. Т. 31. № 3. С. 121-129.
4. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г.Ф. Коначович, А.Ю. Пузыренко – К.: МК – Пресс, 2006 – 288 с.
5. Основи комп'ютерної стеганографії / Хорошко В.О., Азаров О.Д., Шелест М.Є., Яремчук Ю.Є. – В.: ВДТУ, 2003. – 143 с.
6. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев – М.: САЛОН-ПЕСС, 2009 – 272с. (Серия «Аспекты защиты»).
7. Garces, M. A. Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere / M. A. Garces, R. A. Hansen, K. G. Lindquist // Geoph. J. Int., 1998. - P. 135, 255-263.
8. Beutelspacher A. Kryptologie: Eine Einführung in die Wissenschaft vom Verschlüsseln, Verbergen und Verheimlichen. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
9. Потапова Р. К. Речь: коммуникация, информация, кибернетика. М.: Изд-во УРСС, 2010. 600 с
10. Лящук О. І., Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. О., Карягін С. В., Корнієнко І. В. Можливість використання даних інфразвукового моніторингу під час ідентифікації природи сейсмічних подій. Геофіз. журн. - 2015. - 37, № 6. - С. 105-114.
11. Gibbons S. J., Ringdal F., Kværna T., 2007. Joint seismic-infrasonic processing of recordings from a repeating source of atmospheric explosions. J. Acoust. Soc. Am. 122 (5), 158-164. doi: 10.1121/1.2784533
12. Wayne P. Strong Theoretical Steganography. – Berlin: Cryptologia, 2005. 410 p.
13. Асминг В. Э., Евтюгина З. А., Виноградов Ю. А., Федоров А. В. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками. Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 2. С. 300-307.

Received (Надійшла) 22.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.01.2020

**The choice of linguistic steganography method for seismic events registration tasks**

T. Koshel

**Abstract.** Today an important challenge for information security is the introduction of cryptological methods. However, there are many unresolved issues related to devastating impact on the cryptocurrencies of such components of information weapons as computer viruses, logic bombs, and standalone replication programs. The purpose of the article is to study the features of syntactic methods of linguistic steganography. In the course of the research the problems of effective use of forces and means of the MainVcenter Of Special Control during transfer for processing of data of seismic phenomena registration in near and far zones were solved. The object of the study is the punctuation method of hiding information in text containers. It is suggested to use a message hiding model in open-source text containers. It is possible by blocking unauthorized access to information by encrypting the message content. The subject of the study is the principles of embedding and removing messages by the implemented algorithm. Research methods are the formalization of theoretical information, comparative analysis and development of implementation methods. Attacks on steganographic systems are also considered and features of all attacks are highlighted. Preference was given to a punctuation-based syntactic method for concealing information while transmitting data from peripheral centers to the main receiving and processing center. The final results of the work provided for the implementation of the program embedding and removing messages to and from the container. A comparative analysis was conducted on the use of text container types and an analysis of the timeframe for embedding and retrieving procedures, and the possible disadvantages of the punctuation method. Such as the complexity of the software implementation, after which the filled container must meet all the requirements of a normal quilting system, and, difficulties in meeting bandwidth requirements.

**Keywords:** linguistic steganography, syntactic methods, text containers, variability of single signs, punctuation, coding.

Н. Г. Кучук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## СИНТЕЗ МЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НА ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНІЙ ПЛАТФОРМІ

**Анотація.** Метою статті є розробка методу синтезу мережевих моделей на основі часових мереж Петрі. Розроблена модель дозволить побудувати модель, що дозволяє досягти ступеня адекватності для прогнозування продуктивності програмного комплексу з необхідною достовірністю. **Результати дослідження.** Запропоновано метод синтезу часової мережі Петрі, що базується на трасуванні даних. Даний метод був використаний при моделюванні процесу функціонування комплексу програм. Основним недоліком запропонованого підходу є необхідність постійного збору виміральної інформації в комп'ютерній системі. Показано, що від точності виміральної інформації залежить ступінь адекватності моделі. Проаналізована адекватність опису динаміки досліджуваного процесу. Для оцінки ефективності запропонованої моделі вона була використана для прогнозу продуктивності пакета композитних застосунків, що використовуються при продажі авіаквитків. **Висновок.** Для практичних застосувань у більшості випадків достатньо синтезувати мережеву модель комп'ютерної системи на гіперконвергентній платформі на основі 30-35 вимірювань. Вибір більшого значення з метою зменшення розміру довірчого інтервалу одержуваних оцінок не буде виправданим, якщо основне завдання прогнозування - мінімізація помилки прогнозу.

**Ключові слова:** гіперконвергентна платформа; модель, мережа Петрі.

### Вступ

**Постановка завдання.** Конвергентні та гіперконвергентні рішення для базових комп'ютерних мереж за рахунок централізації управління суттєво зменшують витрати на обслуговування [1]. При такому технологічному рішенні передбачається об'єднання пам'яті, обчислювальних, програмних і мережевих ресурсів в пул, заздалегідь об'єднаних для роботи в дата-центрі [2]. Управління відбувається через загальну консоль адміністрування [3]. Але на сьогодні недостатньо досліджені питання аналізу якості комплексів програм, що функціонують в гіперконвергентних середовищах. Особливо важливим для таких систем є аналіз продуктивності. Для багатьох комп'ютерних систем необхідно забезпечення необхідного рівня цього показника. На етапі розробки Software це є важкою практичним завданням. Навіть налагоджені відтестовані на коректність програми в реальних умовах можуть показувати незадовільну продуктивність. Це відбувається внаслідок того, що при складанні та виконанні тестів необхідно враховувати паралелізм обчислювальних процесів. Також час надходження і обробки вхідних даних має бути додатковим параметром кожного тесту. Це вимагає неприйнятно великих обсягів тестування і значно ускладнює інтерпретацію його результатів. Одним із шляхів вирішення зазначеного вище завдання є використання моделей програмних систем. Модель дозволяє врахувати специфіку організації паралельних обчислювальних процесів в гіперконвергентних системах. Крім того, модель може врахувати особливості реалізації Software.

**Аналіз літератури.** Загальним підходом до аналізу складної системи є оцінка поведінки її моделі під впливом подій, що генеруються моделлю зовнішніх впливів [4-7]. Для комп'ютерних систем множина вхідних завдань називається робочим навантаженням [8]. Залежно від цілей дослідження під робочим навантаженням можуть розумітися як вхід-

ні дані, так і програми [9]. Для всіх відомих методів моделювання програмних систем досить складним є опис моделі робочого навантаження [10-14]. При цьому необхідно вирішувати окреме завдання, пов'язану з оцінкою їх точності та адекватності [15]. Широко поширені графові моделі програм будуються на основі вивчення статичних структур їх початкового тексту [16, 17]. Однак вони не враховують реальної динаміки поведінки процесів, а відображають погляд дослідника або розробника на передбачувану поведінку системи [18]. Найбільш відомі трасові моделі, засновані на даних вимірювань реальних системи, як вказувалося раніше, надмірно об'ємні і недостатньо гнучкі [19, 20]. Однак всі розглянуті підходи не в повній мірі враховують особливості проектування та реалізації сучасних програмних платформ, зокрема гіперконвергентних. Внаслідок цього недостатньо дослідженими залишилися питання, пов'язані з аналізом якості комплексів програм, що функціонують в гіперконвергентних середовищах [21, 22]. Особливо це позначається при розрахунку такого показника, як продуктивність.

**Мета статті.** Важливим завданням при розробці програмних комплексів є прогнозування продуктивності. Метою статті є розробка методу синтезу мережевих моделей на основі часових мереж Петрі. Розроблена модель дозволить побудувати модель, що дозволяє досягти ступеня адекватності для прогнозування продуктивності програмного комплексу з необхідною достовірністю.

### 1. Синтез часової мережі Петрі, що базується на трасуванні даних

Для побудови моделі використовується концептуальна модель функціонування програмної системи. Метод заснований на поданні трас подій, що відбуваються в системі, часовими мережами Петрі. Для визначення часу кожного переходу використовуються випадкові величини. Кожна випадкова величина описується законом розподілу загального

вигляду. Введемо поняття ансамблю переходів. Він описується повною групою несумісних подій. Кожен перехід в складі ансамблю визначається ймовірністю відповідної події. Реалізація ансамблю переходів дозволяє організувати вибір напрямку розвитку процесу. Пропонується метод синтезу часової мережі Петрі з використанням трасувань даних. Метод використовує ансамблі переходів і складається з таких кроків.

**Крок А.** Виділення  $N$  типів часових подій. Ці події істотні з точки зору цілей моделювання: Вони складають множину  $\Omega$  :

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N\}, \quad (1)$$

де  $\omega_i$  –  $i$ -й тип часової події.

Для побудови моделі робочого навантаження мережі в якості подій розглядаються надходження заявок на обробку. Для моделювання комплексу програм розглядаються процеси обробки заявок конкретних типів за заданими алгоритмами.

**Крок В.** Організація збору інформації про параметри подій з  $\Omega$ ; виділення трас подій.

**Крок С.** Виділення станів програмної системи. Множина станів  $S$  формується на основі аналізу отриманих трас:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_M\}, \quad s_j = (\omega_{j_1}, \omega_{j_2}, \dots, \omega_{j_k}), \quad (2)$$

де  $j_k$  – кількість часових подій, що визначають вектор  $s_j$ ;  $s_j$  – вектор опису події  $j$ .

**Крок Д.** Опис траси спрямованим зваженим графом. Множина вершин даного графа  $T$  - виділені стани, дуги графа відображають послідовності переходів від одного стану до іншого. Вага кожної дуги графа визначається як ймовірність відповідного переходу.

**Крок Е.** Побудова часової мережі Петрі. Мережа  $NP$  будується на основі графа подій таким чином:

$$NP = \{P, \Omega_{tr}, F, H, G_V, G_S, M_0\}, \quad (3)$$

де  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$  – множина позицій умов

$$Track = (\omega_2, \omega_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_2, \omega_1, \omega_5, \omega_2, \omega_3, \omega_4), \text{card}(Track) = 12. \quad (6)$$

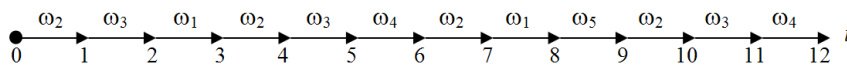


Рис. 1. Подіє-часова траса

Послідовність подій (6) є марківським ланцюгом. У цьому випадку множина  $S$  станів системи ізоморфна множині  $\Omega$ . Граф, відповідний трасі (6), наведено на рис. 2. Відзначимо, що дуги графа на рис. 2, які виходять із вершин  $s_4$  і  $s_5$ , реалізуються звичайними часовими переходами. Дуги графа, які виходять із вершин  $s_1, s_2$  і  $s_3$ , реалізуються ансамблями переходів. Кількість переходів в ансамблі визначається кількістю вихідних дуг. Імовірність спрацювання переходу з ансамблю визначається вагою відповідної дуги.

виконання подій; вона визначається наявністю вхідних дуг графу подій;  $L$  – кількість вхідних дуг;

$\Omega_{tr}$  – множина переходів, що відповідають множині подій  $\Omega$ ;

$$P \cap \Omega_{tr} = \emptyset; P \cup \Omega_{tr} \neq \emptyset; \quad (4)$$

$F : P \times \Omega_{tr} \rightarrow \{0, 1\}$  – булева функція передування множини позицій  $P$  і переходів  $\Omega_{tr}$ ; функція визначається вхідними дугами графа подій;

$H : \Omega_{tr} \times P \rightarrow \{0, 1\}$  – булева функція слідування множини переходів  $\Omega_{tr}$  і позицій  $P$ ; функція визначається вихідними дугами графа подій;

$G_V : \Omega_{tr} \times R_V \rightarrow f(Z_V)$  – функція відповідності між множинами переходів  $\Omega_{tr}$  і множиною випадкових величин часу виконання подій  $R_V$ ; елементи  $R_V$  розподіляються за законом розподілу  $Z_V$ ; закон розподілу і його параметри визначаються на основі даних траси;

$G_S : \Omega_{tr} \times P_S \rightarrow \{0, 1\}$  – функція відповідності між множинами переходів  $\Omega_{tr}$  і множиною ймовірностей їх спрацювання  $P_S$ ; елементи множини  $P_S$  дорівнюють вагам графа подій;

$M_0 : P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$  – початковий розподіл маркерів часової мережі Петрі; в одній вершині мережі може бути більше одного маркера.

## 2. Застосування синтезу часової мережі Петрі при моделюванні комплексу програм

Розглянемо приклад застосування запропонованого підходу для моделювання найпростішої програмної системи. Нехай пакет композитних застосунків використовує п'ять різних запитів до сховища даних. Запити утворюють множину

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\}, N = 5. \quad (5)$$

В результаті експериментального виконання пакету була отримана така траса (рис. 1):

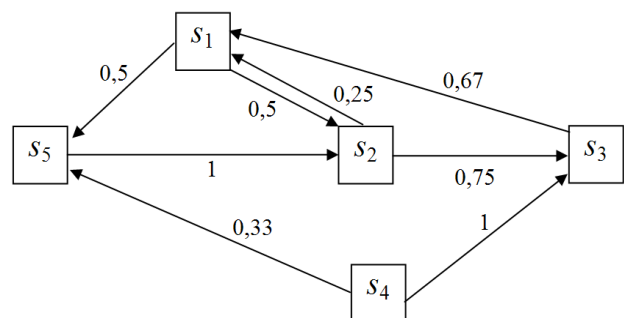


Рис. 2. Граф траси рис. 1

Відповідно до кроків А - Е наведеного вище алгоритму, побудуємо часову мережу Петрі (формула (3) та рис. 3).

Початковий маркер потрапляє в вершину  $p_2$ , тому що подія  $\omega_2$  означає початок обробки пакета композитних застосунків.

Додатково введена вершина  $p_0$ . Вона відповідає умові «запуск траси». Перехід  $\omega_0$  генерує випадкове час запуску пакета.

Проведемо аналіз запропонованого методу синтезу часової мережі Петрі з використанням трасувань даних для моделювання комплексу програм.

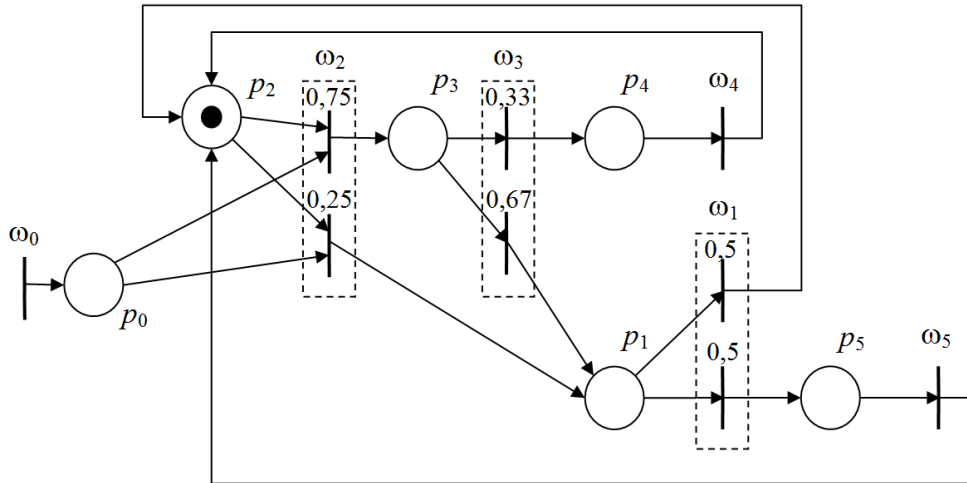


Рис. 3. Часова мережа Петрі траси на рис. 1

Необхідні умови для застосування методу:

- наявність інформації про послідовність і тривалості мережевих подій;
- застосування вимірювальних моніторів;
- припущення про стаціонарності ймовірностей переходів системи з обраним станів.

Перевагами запропонованого методу є:

- орієнтованість на дослідження паралельних процесів;
- можливість використання різних рівнів деталізації і ієрархічного моделювання;
- можливість дослідження за допомогою однієї моделі як робочого навантаження, так і комплексу програм;
- можливість декомпозиції і складання моделей;
- простота врахування станів зовнішнього середовища.

Основний недолік методу - необхідність постійного збору вимірювальної інформації в комп'ютерній системі. Від точності вимірювальної інформації залежить ступінь адекватності моделі.

### 3. Оцінка адекватності мережевої моделі

Основна вимога до моделі – адекватність реальної системі. Процеси функціонування реальних програмних комплексів неможливо описати повно і детально. Це, в першу чергу, обумовлено їх значною складністю. Тому можна говорити лише про ступінь адекватності моделі. Підвищення ступеня адекватності може бути досягнуто за рахунок використання різних рівнів деталізації. Для оцінки ступеня адекватності моделі необхідно вибрати критерій, відповідний розв'язуваній задачі. В даній статті оцінка адекватності заснована на ступені відповідності поведінки моделі системи. Іншими словами аналізується адекватність опису динаміки досліджуваного процесу.

На кроці С запропонованого вище алгоритму визначено настроюваний параметр  $M$  – кількість станів системи. Цей параметр залежить від тривалості передісторії  $D$ . При  $D = 0$  маємо марківський процес без передісторії. Використання гіпотези про марковість досліджуваних процесів ( $D = 0$ ) призводить до отримання найбільш компактною стохастичної моделі. Збільшення  $D$  аж до розгляду довжини історії всієї траси, дає більш точний результат. Однак при цьому істотно зростає складність трасування моделі.

Верхня межа можливого числа станів системи розраховується як

$$M_{max} = C_N^D \cdot D! = N! / (N - D)! \quad (7)$$

При моделюванні комплексу програм необхідно вирішити задачу вибору конкретного значення тривалості врахування передісторії розвитку процесів. При цьому треба оцінити достовірність подання поведінки системи трасовою мережевою моделлю.

Задамо множину можливих початкових станів системи таким чином:

$$S_0 = \{s_1^{(0)}, s_2^{(0)}, \dots, s_N^{(0)}\} \quad (8)$$

Відмітимо, що  $S_0$  є ізоморфним  $\Omega$ , причому  $D = 0$ .

Ітеративно збільшуючи значення  $D$  можна добитися необхідного рівня адекватності моделі. При цьому зростає розмірність множини  $S_0$ . Тому необхідно не перевищити допустимий рівень складності моделі.

Нехай на кроці  $\xi$  ітераційного процесу розглядається множина подій  $S_\xi$ . Для даної множини визначимо ймовірності переходу системи зі стану  $i$  в



стан  $j$  за  $n$  кроків ( $n \in \mathbb{N}$  – натуральне число) –  $P_{ij}^{(n,\xi)}$ . Розглянемо матрицю перехідних ймовірностей марківського ланцюга –  $Q^{(\xi)} = \left\| q_{ij}^{(\xi)} \right\|$ , яка має розмірність  $\rho$ . Тоді  $P_{ij}^{(0,\xi)} = q_{ij}^{(\xi)}$ .

Введемо виробляючу функцію процесу

$$\tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) = \sum_{n=0}^{\infty} P_{ij}^{(n,\xi)} \zeta^n, \quad |\zeta| < 1. \quad (9)$$

Пмноживши обидві частини рівності (9) на  $\zeta \cdot q_{ij}^{(\xi)}$  і підсумовуючи по  $i = \overline{1, \rho}$ , отримуємо співвідношення

$$\begin{aligned} s \sum_{i=1}^{\rho} q_{ij}^{(\xi)} \tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) &= \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=1}^{\rho} q_{ki} P_{ij}^{(n,\xi)} \zeta^{n+1} = \tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) - P_{kj}^{(0)}, \end{aligned} \quad (10)$$

яке визначає систему рівнянь вигляду

$$\tilde{P}_{kj}^{(\xi)}(\zeta) - \zeta \sum_{i=1}^{\rho} q_{ij}^{(\xi)} \tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) = P_{kj}^{(0)}, \quad (11)$$

$$k = \overline{1, \rho}, \quad j = \overline{1, \rho}.$$

Їх рішеннями при фіксованих  $k$  і  $\zeta$  є функції вигляду

$$\tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) = \frac{G_{ij}(\zeta)}{D(\zeta)}. \quad (12)$$

Дріб (12) розкладається на прості дробі

$$\tilde{P}_{ij}^{(\xi)}(\zeta) = \sum_{\lambda=1}^{\rho} \frac{g_{ij}^{(\lambda)}}{1 - \zeta \cdot r_{\lambda}}, \quad (13)$$

де  $r_{\lambda}$  – власні значення матриці  $Q^{(\xi)}$  перехідних ймовірностей;  $g_{ij}^{(\lambda)}$  – коефіцієнти, отримані при розкладанні.

Нехай  $h$  – довільний лівий власний вектор матриці  $Q^{(\xi)}$ , тобто

$$h Q^{(\xi)} = r_{\lambda} h. \quad (14)$$

Розглянемо суму елементів векторів лівої і правої частини рівності (14).

$$\sum_{j=1}^{\rho} \sum_{i=1}^{\rho} h_i q_{ij}^{(\xi)} = \sum_{j=1}^{\rho} h_i \sum_{i=1}^{\rho} q_{ij}^{(\xi)} = \sum_{j=1}^{\rho} h_i = r_{\lambda} \sum_{j=1}^{\rho} h_i. \quad (15)$$

За умови, що всі  $h_i$  є позитивними,  $r_{\lambda} = 1$  означає спектральний радіус матриці  $Q^{(\xi)}$ . Отже, все її власні значення задовольняють нерівності

$$|r_{\lambda}| \leq 1, \quad (16)$$

тому  $\frac{1}{1 - \zeta \cdot r_{\lambda}} = \sum_{i=0}^{\infty} \zeta^i r_{\lambda}^i$ , (17)

а з (13) слідує, що

$$P_{ij}^{(n,\xi)} = \sum_{\lambda=1}^{\rho} g_{ij}^{(\lambda)} r_{\lambda}^n. \quad (18)$$

Для знаходження значень коефіцієнтів  $g_{ij}^{(\lambda)}$  скористаємося ітераційністю процесу:

$$\begin{aligned} P_{ij}^{(n+1,\xi)} &= \sum_{\lambda=1}^{\rho} g_{ij}^{(\lambda)} r_{\lambda}^{n+1} = \sum_{k=1}^{\rho} q_{ik}^{(\xi)} P_{kj}^{(n,\xi)} = \\ &= \sum_{k=1}^{\rho} q_{ik}^{(\xi)} \sum_{\lambda=1}^{\rho} g_{kj}^{(\lambda)} r_{\lambda}^n = \sum_{\lambda=1}^{\rho} r_{\lambda}^n \sum_{k=1}^{\rho} q_{ik}^{(\xi)} g_{kj}^{(\lambda)}. \end{aligned} \quad (19)$$

Із (19) отримуємо:

$$g_{ij}^{(\lambda)} r_{\lambda} = \sum_{k=1}^{\rho} q_{ik}^{(\xi)} g_{kj}^{(\lambda)}. \quad (20)$$

З іншого боку,

$$\begin{aligned} P_{ij}^{(n+1,\xi)} &= \sum_{\lambda=1}^{\rho} g_{ij}^{(\lambda)} r_{\lambda}^{n+1} = \sum_{k=1}^{\rho} P_{ik}^{(n,\xi)} q_{kj}^{(\xi)} = \\ &= \sum_{k=1}^{\rho} \sum_{\lambda=1}^{\rho} g_{ik}^{(\lambda)} r_{\lambda}^n q_{kj}^{(\xi)} = \sum_{\lambda=1}^{\rho} r_{\lambda}^n \sum_{k=1}^{\rho} g_{ik}^{(\lambda)} q_{kj}^{(\xi)}. \end{aligned} \quad (21)$$

отже,

$$g_{ij}^{(\lambda)} r_{\lambda} = \sum_{k=1}^{\rho} g_{ik}^{(\lambda)} q_{kj}^{(\xi)}. \quad (22)$$

У матричній формі вирази (20) і (22) можуть бути записані як

$$G^{(\lambda)} Q^{(\xi)} = r_{\lambda} G^{(\lambda)}, \quad (23)$$

$$Q^{(\xi)} G^{(\lambda)} = r_{\lambda} G^{(\lambda)}. \quad (24)$$

Таким чином, стовпці матриці  $G^{(\lambda)}$  є правими власними векторами матриці  $Q^{(\xi)}$ . Вони визначаються при  $r = r_{\lambda}$  ненульовими рішеннями системи рівнянь

$$\sum_{k=1}^{\rho} q_{kj}^{(\xi)} x_k - r \cdot x_i = 0; \quad i = \overline{1, \rho}. \quad (25)$$

Рядки матриці  $G^{(\lambda)}$  є лівими власними векторами. Вони визначаються ненульовими рішеннями  $y_j^{(\lambda)}$  системи

$$\sum_{k=1}^{\rho} y_k q_{kj}^{(\xi)} - r \cdot y_j = 0; \quad j = \overline{1, \rho}. \quad (26)$$

Тоді з точністю до постійного множника  $C^{(\lambda)}$  визначаємо

$$g_{ij}^{(\lambda)} = C^{(\lambda)} x_i^{(\lambda)} y_j^{(\lambda)}. \quad (27)$$

Значення  $C^{(\lambda)}$  розраховуються виходячи з ортонормованості лівих і правих власних векторів:

$$C^{(\lambda)} \cdot \sum_{k=1}^{\rho} x_k^{(\lambda)} y_k^{(\lambda)} = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C^{(\lambda)} = \left( \sum_{k=1}^p x_k^{(\lambda)} y_k^{(\lambda)} \right)^{-1} \quad (28)$$

Таким чином можна розрахувати теоретичні значення перехідних ймовірностей  $P_{ij}^{(n,\xi)}$ .

За даними спостережимої траси станів реальної системи обчислюються частоти переходу системи зі стану  $i$  до стану  $j$  за  $k = \overline{1, N}$  кроків. Вони представляються матрицею  $V_i = \{v_{ij}^{(k)}\}$ , при цьому

$$\sum_{(j)} v_{ij}^{(k)} = n_i^{(k)} \quad (29)$$

Припустимо, що кількості спостережень  $n_i^{(k)}$  досить для застосування критерію Пірсона. Тоді в якості статистики, що характеризує відхилення експериментальних частот від відповідних теоретичних значень, можна прийняти величину

$$\begin{aligned} \chi_n^2(V_i) &= \sum_{(j)} \frac{[v_{ij}^{(k)} - n_i^{(k)} \cdot P_{ij}^{(k)}]^2}{n_i^{(k)} \cdot P_{ij}^{(k)}} = \\ &= \sum_{(j)} \frac{[v_{ij}^{(k)}]^2}{n_i^{(k)} \cdot P_{ij}^{(k)}} - n_i^{(k)}. \end{aligned} \quad (30)$$

Задамося рівнем значущості  $\alpha$ . Тоді гіпотеза про поведінку системи з кількістю станів  $L$  відкидається при перевищенні величини  $\chi_n^2(V_i)$ . Дана величина розподілена за законом  $\chi^2$  з  $L-1$  ступенями свободи. Вона відповідає табличному значенню  $\chi_{1-\alpha, L-1}^2$ .

При великих значеннях  $L$  можна використовувати інформаційний критерій

$$J_C = \frac{N_i^{(k)} - M(H_i^{(k)})}{\sqrt{D(H_i^{(k)})}}, \quad (31)$$

де:

$$N_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^L \frac{v_{ij}^{(k)}}{n_i^{(k)}} \cdot \ln \left( \frac{v_{ij}^{(k)}}{n_i^{(k)}} \right) - \quad (32)$$

статистична оцінка ентропії емпіричного розподілу;

$$M(H_i^{(k)}) = h_i^{(k)} - (L-1) / n_i^{(k)} - \quad (33)$$

математичне сподівання;

$$D(H_i^{(k)}) = \frac{1}{n_i^{(k)}} \left( \sum_{j=1}^L P_{ij}^{(k)} \cdot \ln^2(P_{ij}^{(k)}) - [h_i^{(k)}]^2 \right) - \quad (34)$$

дисперсія ентропії теоретичного розподілу;

$$h_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^L P_{ij}^{(k)} \cdot \ln(P_{ij}^{(k)}). \quad (35)$$

Статистика  $J_C$  розподілена нормально з ну-

льовим математичним сподіванням і одиничною дисперсією. Для заданого рівня значущості  $\alpha$  і квантиля розподілу  $u_{1-\alpha}$  виконується рівність

$$|J_C| \leq u_{1-\alpha}. \quad (36)$$

Інформаційний критерій за потужністю практично не поступається критерію Пірсона. У ньому ймовірність відкинути вірну гіпотезу при великій кількості спостережень значно нижче.

При великій кількості станів системи складно отримати вирази для теоретичних ймовірностей  $P_{ij}^{(n)}$ . У цьому випадку в якості альтернативи аналітичному підходу значення теоретичних ймовірностей можуть бути отримані методом Монте-Карло, тобто при імітаційному моделюванні поведінки відповідного марківського ланцюга. При цьому завдання перевірки гіпотези про відповідність експериментальних і модельних ймовірнісних розподілів може бути вирішена на основі критерію вигляду

$$\chi_n^2(V_i) = n_i^{(k)} m_i^{(k)} \sum_{(j)} \frac{\left( \frac{v_{ij}^{(k)}}{n_i^{(k)}} - \frac{\omega_{ij}^{(k)}}{v_{ij}^{(k)} + \omega_{ij}^{(k)}} m_i^{(k)} \right)^2}{v_{ij}^{(k)} + \omega_{ij}^{(k)}}, \quad (37)$$

де  $\omega_{ij}^{(k)}$  – частоти переходу моделі із стану  $i$  до стану  $j$  за  $k = \overline{1, N}$  кроків;  $\sum_{(j)} \omega_{ij}^{(k)} = m_i^{(k)}$ .

Таким чином, запропонований підхід дозволяє оцінити ступінь адекватності розроблених мережевих моделей на основі тимчасових мереж Петрі, врахувати передісторію подій і процесів та обґрунтувати вибір довжини траси.

#### 4. Експеримент

Для оцінки ефективності запропонованої моделі вона була використана для прогнозу продуктивності пакета композитних застосунків, що використовуються при продажі авіаквитків.

Для побудови мережевої моделі, яка описує пакет композитних додатків, використовувалися трасувальні дані. Дані були отримані при 400 тестових прогонах розробляється підсистеми. Загальна кількість викликів запитів склало 75000.

Модель пакета задана подієвим графом. Граф описується матрицею перехідних ймовірностей. Матриця була побудована на результатах аналізу трасувань даних. На базі матриці була сформована часова мережа Петрі, що описує процес функціонування пакету композитних застосунків.

Для перевірки адекватності первинної моделі було проведено імітаційне моделювання. В результаті були отримані частотні характеристики переходу системи з обраного стану в усі інші стани за  $K$  кроків.

Для оцінки адекватності моделі використовувався критерій хі-квадрат  $\chi_n^2(k)$ , де  $k (k \in \overline{1, K})$  – кількість кроків.

Для  $K = 10$  були отримані такі результати:

$$\chi_n^2(1) = 1.1, \chi_n^2(2) = 1.3, \chi_n^2(3) = 12.5, \chi_n^2(4) = 15.8,$$

$$\chi_n^2(5) = 26.1, \chi_n^2(6) = 109.4, \chi_n^2(7) = 133.0,$$

$$\chi_n^2(8) = 226.1, \chi_n^2(9) = 279.1, \chi_n^2(10) = 413.7.$$

На підставі цих даних був зроблений висновок про істотне порушення адекватності при  $K > 5$ . Основна причина - припущення про те, що процеси переходів є марківськими. Для побудови більш адекватної моделі в даному випадку необхідно врахувати передісторію викликів. Оцінка відхилення параметрів закону розподілу часу виконання запиту при моделюванні від реального наведена в табл. 1.

Застосування критерію  $\chi^2$  дозволило отримати кількісну оцінку відповідності поведінки моделі реальної системі. Підвищення ступеня достовірності результатів моделювання підтверджується експериментальними даними, отриманими при різних

припущеннях про час перебування системи в різних станах. Проведені експерименти свідчать про можливість налагодження оптимальних параметрів розробленого методу на основі контрольної вибірки. При цьому слід враховувати залежність розміру  $R_b$

довірчого інтервалу оцінки  $\hat{f}$  – нахила прогнозуєної прямої від значення  $N$  – кількості вимірів. Графік такої залежності при різних постійних значеннях оцінки дисперсії  $s^2$  представлений на рис. 4.

Таблиця 1 – Оцінка математичного сподівання і дисперсії часу виконання за результатами імітаційного моделювання

Закон розподілу часу виконання запитів $T$	Реальна система		Модель	
	М	Д	М	Д
Детермінований, $T = 0.01$ с	1.86	2.65	1.99	3.85
Рівномірний, $T = [0, 0.01]$	0.93	0.52	1.01	0.97
Експоненційний, $M(T) = 0.01$	1.86	2.68	1.95	3.72

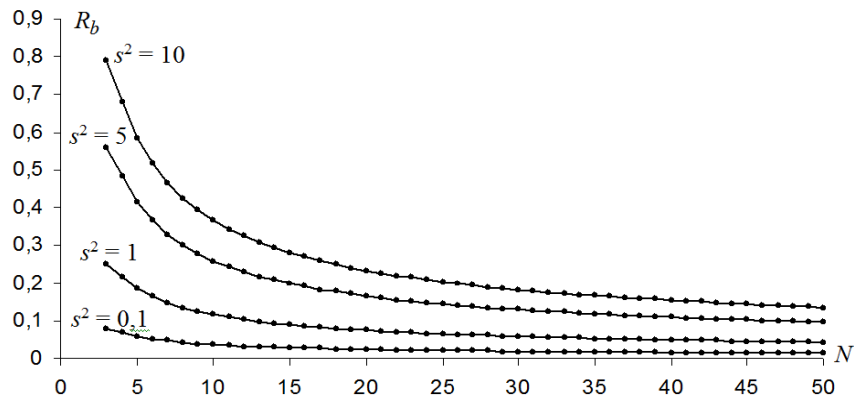


Рис. 4. Залежність розміру довірчого інтервалу від кількості вимірювань при  $\alpha = 0,05$

Отже, як бачимо з графіків, в більшості практичних випадків прогнозування часових рядів може бути рекомендовано значення  $N$ , що не перевищує 30-35. Вибір більшого значення з метою зменшення розміру довірчого інтервалу одержуваних оцінок не буде виправданим, враховуючи основне завдання методу прогнозування - мінімізацію помилки прогнозу.

### Висновки

Запропоновано метод синтезу часової мережі Петрі, що базується на трасуванні даних. Даний метод був використаний при моделюванні процесу функціонування комплексу програм. Основним недоліком запропонованого підходу є необхідність постійного збору вимірювальної інформації в комп'ютерній системі. Показано, що від точності вимірювальної інформації залежить ступінь адекватності моделі. Проаналізована адекватність опису динаміки досліджуваного процесу. Для оцінки ефективності запропонованої моделі вона була використана для прогнозу продуктивності пакета композитних застосунків, що використовуються при продажі авіаквитків. Для

практичних застосувань у більшості випадків достатньо синтезувати мережеву модель комп'ютерної системи на гіперконвергентній платформі на основі 30-35 вимірювань. Вибір більшого значення з метою зменшення розміру довірчого інтервалу одержуваних оцінок не буде виправданим, якщо основне завдання прогнозування - мінімізація помилки прогнозу.

**Напрямок подальших досліджень:** проведення порівняльного аналізу різних методів мінімізації помилки прогнозу у гіперконвергентних системах.

### Вдячність

Цю роботу було частково профінансовано Європейським Союзом у контексті проекту «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за програмою ERASMUS+. Підтримка Європейською Комісією створення цієї роботи не означає повного схвалення її змісту, який віддзеркалює лише погляди авторів. Комісія не може нести відповідальності за будь-яке використання інформації, яку розміщено в цій роботі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. White Paper: Riverbed Hyper-converged Edge, available at: <https://www.riverbed.com/document-repository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html>.

2. Черняк, Л. (2012), "Время конвергентных инфраструктур", Открытые системы. СУБД, № 4, available at: <https://www.ospr.ru/os/2012/04/13015754/>.
3. Ганьжа, Д. (2016), "Гиперконвергенция: ИТ-инфраструктура на раз, два, три", /Журнал сетевых решений, № 5, available at: [www.ospr.ru/lan/2016/05/13049349](http://www.ospr.ru/lan/2016/05/13049349).
4. Кучук Н. Г. Метод розгалуження запитів до сховищ даних систем, що мають гіперконвергентну інфраструктуру / Н. Г. Кучук, І. С. Зиков, В. І. Панченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2019. – Вип. 5(57). – С. 51-54. – DOI: <https://doi.org/10.26906//SUNZ.2019.5.051>
5. Кучук Г. А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / Г. А. Кучук, І. В. Рубан, О. П. Давікоза // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
6. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
7. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
8. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACIT.2017.8020083>
9. Кучук Г.А. Распределение каналов по трактам узла коммутации при адаптивной маршрутизации / Г.А. Кучук // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – № 26. – С. 167 – 172.
10. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
11. Кучук Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г. А. Кучук, О. П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3 (12). – С. 154-158.
12. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.
13. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святы вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
14. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 12, Is. 1, doi: <http://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i1/139577>
15. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, N. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
16. Кучук Г.А., Мохаммад А.С., Коваленко А.А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей. *Системи обробки інформації*. 2011. № 8(98). С. 211-218.
17. Кучук Г. А., Можяев А. А. Прогнозирование трафика для управления перегрузками интегрированной телекоммуникационной сети // Радиозлектронные и компьютерные системы. 2007. № 8 (27). С. 261-271.
18. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
19. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
20. Svyrydov, A., Kuchuk, N., Tsiara, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
21. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
22. Kosenko V. Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network. *Сучасні інформаційні системи (Advanced Information Systems)*. 2017. Т. 1, № 2. С. 4-9. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.01>

Received (Надійшла) 25.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Synthesis of computer system network model on a hyperconverged platform

N. Kuchuk

**Abstract.** The purpose of the article is to develop a method for synthesizing network models based on Petri time networks. The developed model will allow to build a model that allows to achieve the degree of adequacy for forecasting the performance of the software complex with the required reliability. **Research results.** A method of synthesis of a Petri time network based on data tracing is proposed. This method was used in modeling the process of functioning of a complex of programs. The main disadvantage of the proposed approach is the need to constantly collect measurement information in a computer system. It is shown that the degree of adequacy of the model depends on the accuracy of the measurement information. The adequacy of the description of the dynamics of the studied process is analyzed. To evaluate the effectiveness of the proposed model, it was used to predict the performance of the composite package used in airline sales. **Conclusions.** In practical applications, in most cases, it is sufficient to synthesize a network model of a computer system on a hyper-converged platform based on 30-35 measurements. Selecting a larger value to reduce the size of the confidence interval of the estimates obtained will not be justified if the prediction task is to minimize the prediction error.

**Keywords:** hyperconverged platform; model, Petri net.

Н. В. Лада<sup>1</sup>, С. В. Рудницький<sup>1</sup>, В. М. Зажома<sup>2</sup>, Ю. В. Рудницька<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

<sup>2</sup> Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, Черкаси, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ І СИНТЕЗ ГРУПИ СИМЕТРИЧНИХ МОДИФІКОВАНИХ ОПЕРАЦІЙ ПРАВСТОРОННЬОГО ДОДАВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ ЧОТИРИ

**Анотація.** В статті представлено основні результати дослідження і синтезу групи двохоперандних двохранних симетричних операцій правостороннього додавання за модулем чотири шляхом використання групи двохранних однооперандних операцій криптоперетворення. Синтез групи операцій на основі операції правостороннього додавання за модулем чотири, раніше не досліджувався. Встановлено, що побудована група операцій криптографічних перетворень відрізняється від груп криптооперацій побудованих на основі додавання за модулем два та класичним лівостороннім додаванням за модулем чотири. Використання нової синтезованої групи дає змогу підвищити якість потокового шифрування за рахунок збільшення варіативності криптографічних перетворень. Встановлено, що за рахунок симетричних синтезованих операцій в системах потокового шифрування буде використовуватися додатково до двадцяти чотирьох таблиць підстановки.

**Ключові слова:** криптографічна операція, модифікації операцій, математична група операцій, додавання за модулем, моделі операції, потокове шифрування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день ні у кого не викликає сумнівів, що інформація посідає провідне місце в життєдіяльності людства. В свою чергу надійний захист інформаційних ресурсів є запорукою інформаційної безпеки як кожної людини так і держав в цілому. Тенденція постійного збільшення обсягів інформації, що обробляється, зберігається та передається в інформаційних системах вимагає вирішення проблеми підвищення швидкодії систем захисту інформації [1, 2]. Одним з основних напрямків захисту інформації були і залишаються криптографічні методи її захисту [3, 4]. Особливо актуальними в наш час стають дослідження спрямовані на збільшення швидкодії та надійності засобів криптографічних обчислень, придатних до застосування в постквантовій криптографії.

Однією з тенденцій покращення якості алгоритмів сучасної комп'ютерної криптографії стає збільшення варіативності криптографічних операцій, придатних до практичного застосування [5-7]. І хоча даному напрямку приділяється все більше уваги, питання побудови нових логічних операцій криптографічного перетворення інформації, дослідженням їх побудови або використанням арифметичних операцій з різними модулями все ще потребують більш детального дослідження. Розвиток даного напрямку є досить різновекторним, вимагає систематизації та комплексного підходу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Провівши аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких проведено дослідження спрямовані на розширення спектра нових криптографічних операцій замість криптографічного додавання за модулем, варто виділити наступні роботи. В роботі [8] запропоновано вирішення даної проблеми за рахунок застосування багаторозрядних операцій криптографічного кодування під управлінням криптосистем. В роботах [8, 9] доведено, що застосування матричних

операцій криптографічного перетворення підвищує швидкодню обробки даних в криптосистемах за рахунок паралельного процесу виконання операцій криптоперетворення, а складність виконання матричних операцій криптоперетворення інформації на пряму залежить від кількості операндів.

В роботі [10] представлено результати дослідження взаємозв'язків між операціями в матричних моделях криптографічного перетворення. Послідовність кроків переходу від результатів комп'ютерного моделювання до придатної в інженерній практиці формалізованої операції криптоперетворення інформації наведена в [11]. Синтезу нових операцій потокового шифрування на основі модифікації операцій додавання по модулю з точністю до перестановки також присвячена робота [12]. Особливої уваги заслуговують дослідження груп симетричних модифікованих операцій додавання за модулем два та модулем чотири [13-18]. Синтезовані модифікації двохранної двохоперандної операції додавання за модулем чотири, наведені в табл. 1 [18].

**Метою роботи** є дослідження і синтез груп двохоперандних двохранних симетричних модифікованих операцій додавання за модулем чотири на основі використання лівостороннього та правостороннього розповсюдження переносів для підвищення варіативності алгоритмів комп'ютерної криптографії.

### Основний матеріал

При побудові модифікованих операцій додавання за модулем чотири було встановлено що синтез проводиться за умови:

$$\begin{cases} y_1 = x_2 \cdot k_2 \oplus k_1, \\ y_2 = k_2. \end{cases} \quad (1)$$

Операція додавання за модулем два описується як

$$O_1^{\text{mod } 2} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Таблиця 1 – Результати дослідження синтезу модифікацій двохрозрядної двооперандної операції лівостороннього додавання за модулем чотири

Класифікатор операцій	Операції інверсії			
	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$
Базові операції	$O_1 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_2 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_3 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_4 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_5 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_6 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_7 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_8 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_9 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{10} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{11} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{12} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
Операції перестановок	$O_{13} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{14} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{15} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{16} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_{17} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{18} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{19} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{20} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_{21} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{22} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{23} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{24} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$

Операція додавання за модулем чотири описується виразом

$$O_1^{\text{mod } 4} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Якщо  $x_2, k_2$  - молодші розряди операндів, а  $x_1, k_1$  - старші розряди операндів, то умову (1) можна розглядати як правила формування переносу з молодшого розряду в старший. Даний алгоритм криптографічного додавання за модулем чотири назвемо лівостороннім двохрозрядним додавання за модулем чотири, тому що традиційно переноси формувалися в сторону старших розрядів, тобто вліво. Дану модифікацію операції позначимо як  $O_1^{\text{mod } 4\leftarrow}$ .

Якщо в операціях криптографічного додавання за модулем чотири виділено лівостороннє додавання, то повинно існувати і правостороннє додавання, яке повинно описуватися виразом:

$$O_1^{\text{mod } 4\rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus x_1 \cdot k_1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Виходячи з виразу (4) наведемо умову для синтезу модифікованих операцій правостороннього криптографічного додавання за модулем чотири:

$$\begin{cases} y_1 = k_1, \\ y_2 = k_2 \oplus x_1 \cdot k_1 \end{cases}. \quad (5)$$

Перевіримо коректність припущення, що на основі умови (5) можливо синтезувати групу синтезу модифікованих операцій правостороннього криптографічного додавання за модулем чотири. Синтезуємо три базові операції для побудови групи моди-

фікованих операцій правостороннього криптографічного додавання за модулем чотири.

Так як перша базова операція лівостороннього додавання за модулем чотири була отримана як [18]:

$$O_1^{\text{mod } 4\leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

то і операція правостороннього додавання за модулем буде синтезована таким чином:

$$O_1^{\text{mod } 4\rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus x_1 \cdot k_1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Друга базова операція лівостороннього [18] та правостороннього додавання за модулем чотири представлені відповідними виразами:

$$O_5^{\text{mod } 4\leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \oplus y_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$O_5^{\text{mod } 4\rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \oplus y_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Так як синтез третьої базової операції лівостороннього додавання за модулем чотири представлений виразом [18]:

$$O_9^{\text{mod } 4\leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_1 \oplus y_2 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

то і третя базова операція правостороннього додавання за модулем буде синтезована таким чином:

$$O_9^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_1 \oplus y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Розглянемо синтез інших модифікацій операції правостороннього криптографічного додавання за модулем чотири. На основі моделей модифікації базової операції групи модифікованих операцій лівостороннього криптографічного додавання за модулем чотири, що описуються виразами (12-14) [18] синтезуємо відповідні їм операції (15-17)

$$O_2^{\text{mod } 4 \leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}; \quad (12)$$

$$O_3^{\text{mod } 4 \leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}; \quad (13)$$

$$O_4^{\text{mod } 4 \leftarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \cdot k_2 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}; \quad (14)$$

$$O_2^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}; \quad (15)$$

$$O_3^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}; \quad (16)$$

$$O_4^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}; \quad (17)$$

По аналогії було синтезовано інші модифікації двохрандної двооперандної операції правостороннього додавання за модулем чотири.

Зведені результати дослідження синтезу модифікації двохрандної двооперандної операції правостороннього додавання за модулем чотири наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати дослідження синтезу модифікацій двохрандної двооперандної операції правостороннього додавання за модулем чотири

Класифікатор операцій	Операції інверсії			
	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$
Базові операції	$O_1^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_2^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_3^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_4^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_5^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_6^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_7^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_8^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_9^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{10}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{11}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{12}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
Операції перестановки	$O_{13}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{14}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{15}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{16}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_{17}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{18}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{19}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$O_{20}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
	$O_{21}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{22}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \\ x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$O_{23}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus k_1 \end{bmatrix}$	$O_{24}^{\text{mod } 4 \rightarrow} = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$

За результатами порівняння синтезованої групи операцій з групами операцій додавання за модулем два [17] та лівостороннього криптографічного додавання за модулем чотири, представленого в роботі [18] встановлено: синтезовані моделі нових операцій відрізняються від відомих операцій; таблиці істинності синтезованих операцій та результати їх виконання також відрізняються.

Операція криптоперетворення буде симетричною, якщо повторне її використання приведе до розшифрування інформації.

Якщо  $O_i^{\text{mod } 4 \rightarrow}(x) = y,$

то  $O_i^{\text{mod } 4 \rightarrow}(O_i^{\text{mod } 4 \rightarrow}(x)) = x,$

де  $x$  і  $y$  - вхідні дані і результат виконання  $i$ -ої операції криптоперетворення відповідно.

Перевірка синтезованих операцій на симетричність проводилась на основі обчислювального експерименту. Результати експерименту підтвердили, що всі модифікації операції правостороннього додавання за модулем чотири відповідають вимогам симетричності операцій.

Так як практичне застосування групи операцій лівостороннього криптографічного додавання за модулем чотири забезпечило підвищення варіативності потокового шифрування, то можна стверджувати що збільшення кількості операцій за рахунок використання нової синтезованої групи також підвищить варіативність потокового шифрування.

## Висновки

1. Синтезована група двохоперандних двохо-розрядних симетричних операцій правостороннього додавання за модулем чотири. Встановлено, що побудована група операцій криптографічних перетворень відрізняється від груп криптооперацій побудованих на основі додавання за модулем

два та класичним лівостороннім додаванням за модулем чотири.

2. Встановлено, що всі синтезовані операції забезпечують як пряме так і обернене криптоперетворення, що значно спрощує їх використання в поточних шифрах. Невелика складність наведених моделей операцій забезпечує простоту їх реалізації як на апаратному так і програмному рівнях.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудницький В.М. Криптографічне кодування: обробка та захист інформації: колективна монографія. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. 139 с.
2. Мао Венбо. Современная криптография: теория и практика. пер. с англ. Изд. дом «Вильямс», 2005. 768 с.: ил. Парал. тит. англ. ISBN 5-8459-0847-7 (рус.)
3. Хорошко В.А. Чекатков А. А. Методи й засоби захисту інформації. К.: Юніор, 2003. 504 с.
4. Richard A. Mollin, «Codes: the guide to secrecy from ancient to modern times», Chapman & Hall/CRC, 2005. С.142.
5. Бабенко В. Г. Дослідження матричних операцій криптографічного перетворення на основі арифметичних операцій за модулем. Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. К., 2012. Вип. 4 (24). С. 85–88.
6. Рудницький В. М., Бердибаєв Р. Ш., Бреус Р. В., Лада Н. В., Пустовіт М. О. Синтез обернених двохо-розрядних двохо-операндних операцій строгого стійкого криптографічного кодування на основі перетворення другого операнда (eng.) Сучасні інформаційні системи. Харків, 2019. Т. 3, № 4, С. 109-114. - DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.16>
7. Бабенко В.Г., Лада Н.В. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. Вип. 2 (118). С. 116–118.
8. Рудницький В.М. Алгебраїчна структура множини логічних операцій кодування / В.М. Рудницький, В.Г. Бабенко, Д.А. Жилияев // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. журн. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2011. – № 2 (6). – С. 112-114.
9. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. Вип. 2 (118). С. 116–118.
10. Бабенко В. Г., Лада Н. В., Лада С. В. Дослідження взаємозв'язків між операціями в матричних моделях криптографічного перетворення. Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2016. № 1. С. 5–11
11. Рудницький В. М., Лада Н. В., Козловська С. Г. Технологія побудови двохоперандних операцій криптографічного перетворення інформації за результатами моделювання. Сучасні інформаційні системи, Т. 2, № 4, С. 26-30, 2018.
12. В.М.Рудницький, Н.В. Лада, В.Г. Бабенко. Криптографічне кодування: синтез операцій потокового шифрування з точністю до перестановки: монографія. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. 184 с.
13. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
14. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaev, M. Mozhaev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
15. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), “Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study”, Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
16. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
17. Лада Н. В., Козловська С. Г., Рудницький С. В. Побудова математичної групи симетричних операцій на основі додавання за модулем два. Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал. Київ, 2019. № 4 (59). С. 33-41.
18. Лада Н. В., Козловська С. Г., Рудницька Ю. В. Дослідження і синтез групи симетричних модифікованих операцій додавання за модулем чотири. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Збірник наукових праць. Кропивницький: КНТУ, 2019. Вип. 2 (33). С. 181–189.

Received (Надійшла) 11.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Research and synthesis of a group of symmetric modified operations of right-handed addition by module four

N. Lada, S. Rudnitsky, V. Zazhoma, Y. Rudnytska

**Abstract.** The main results of research and synthesis of a group of two-operand two-bit symmetric operations of right-handed addition by module four by using a group of two-bit single-operand cryptocurrency operations are presented in the article. Synthesis of a group of operations on the basis of operation of right-handed addition by module four has not previously been investigated. It is established that the constructed group of operations of cryptographic transformations differs from cryptocurrency groups built on the basis of addition by module two and classic left-handed addition by module four. The use of a new synthesized group allows to improve the quality of streaming encryption by increasing the variability of cryptographic transformations. It is revealed that up to twenty-four substitution tables will be used due to symmetrical synthesized operations in streaming encryption systems.

**Keywords:** cryptographic operation, operations modifications, mathematical group of operations, addition by module, operation models, streaming encryption.



О. А. Руденко<sup>1</sup>, О. М. Одарущенко<sup>2</sup>, З. М. Руденко<sup>3</sup>, О. Б. Одарущенко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

<sup>2</sup> Науково-виробниче підприємство «Радікс», Кропивницький, Україна

<sup>3</sup> Полтавський коледж нафти і газу національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

<sup>4</sup> Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна

## ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ВТОРИННИХ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ МОДЕЛЕЙ РОСТУ НАДІЙНОСТІ ДЖЕЛІНСЬКІ-МОРАНДИ І ШИКА-ВОЛВЕРТОНА

**Анотація.** Виконано аналіз множин моделей оцінювання надійності програмних засобів (МНПЗ) або за іноземною назвою моделей зростання надійності ПЗ (Software Reliability Growth Models – SRGM). Досліджено ймовірнісні МНПЗ з метою встановлення таких, що можуть бути використано для врахування фактору прояву вторинних дефектів. Під вторинними дефектами розуміються такі, що вносяться в ПЗ після усунення первинних, які проявляються та усуваються в процесі налагодження та тестування ПЗ. Проаналізовано припущення та аналітичні вирази моделей росту надійності програмних засобів Джелінські-Моранди, Шика-Волвертона, щодо питання їх застосування для врахування фактору внесення та прояву вторинних дефектів проектування програмних засобів. Запропоновано підхід щодо кількісної оцінки вторинних дефектів, що полягає в модифікації функцій ризику моделей внесенням до них параметра, який визначає число вторинних дефектів та комплексування модифікованих функцій ризику. Проаналізовані проблемні питання, що виникають при комплексуванні модифікованих простої експоненціальної моделі і моделі Джелінські-Моранди. Розглянуті підходи, при яких можливе комплексування модифікованих МНПЗ – узгодженість припущень, прийняття додаткових припущень, що узгоджують моделі, співставлення параметрів щодо умов здійснення аналітичних перетворень. Показані переваги комплексування модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона у порівнянні з комплексуванням модифікованої моделі росту надійності Джелінські-Моранди і модифікованої простої експоненціальної моделі. Проведено співставлення параметрів модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона, в результаті чого виявлено співпадання більшості з них. Додано припущення моделі росту надійності Шика-Волвертона про пропорційність функції ризику тривалості тестування, що не відповідає припущенню МНПЗ Джелінські-Моранди, оскільки відповідний параметр використовується в аналітичних перетвореннях при комплексуванні моделей. Обґрунтована можливість комплексування МНПЗ Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона. Показана послідовність аналітичних перетворень об'єднаної моделі модифікованих моделей Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона на основі яких одержана формула для оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів. Одержаний вираз спрощує оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ, у порівнянні з їх оцінюванням на основі комплексування модифікованих моделей Джелінські-Моранди і простої експоненціальної моделі. Одержана формула у поєднанні з МНПЗ інших класифікаційних ознак дозволяє прогнозувати значення функції ризику та далі використовувати її для комплексного оцінювання показників надійності та функціональної безпеки складних систем, у тому числі систем, які можливо віднести до класу критичних (наприклад, програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем АЕС).

**Ключові слова:** надійність програмного забезпечення, дефект, вторинний дефект, модель оцінювання надійності програмних засобів, модель Джелінські-Моранди, модель Шика-Волвертона, комплексування моделей, об'єднана модель Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона.

### Вступ

Впровадження інформаційних технологій у різноманітні галузі людської життєдіяльності вимагає забезпечення високої якості програмного забезпечення, що використовується.

Дослідження проблем надійності програмного забезпечення ведуться великою кількістю вітчизняних на закордонних вчених, таких наприклад, як Ліпаєв В.В., Маєрс Г., Муса Дж. та ін. Одними з основних результатів цієї діяльності є розроблення множин моделей оцінювання надійності програмних засобів (МНПЗ) або за іноземною назвою моделей зростання надійності ПЗ (Software Reliability Growth Models – SRGM). Ці моделі у відповідності до прийнятих при їх розробці припущень дозволяють отримати оцінки такої властивості ПЗ як надійність. Актуальність та необхідність оцінювання цієї властивості ПЗ підтверджується рядом державних та

міжнародних стандартів, наприклад ISO 25010 [2]. Моделі оцінювання надійності програмних засобів базуються на припущеннях, які визначають їх аналітичні вирази, що пов'язують параметри моделей. Але припущення не завжди адекватно відображають реалії етапів життєвого циклу програмних засобів. Дане дослідження стосується частини МНПЗ із множини ймовірнісних (Джелінські-Моранди та Шика-Волвертона). Одним з припущень, що містить ряд моделей, є припущення про те, що дефекти постійно коректуються без внесення нових (моделі Джелінські-Моранди [3], Шика-Волвертона [4], проста експоненціальна модель [5] та ін.). В ряді інших моделей цей фактор взагалі не обумовлюється. Проте досвід розробки, налагодження та тестування ПЗ доводить, що в процесі усунення дефектів може бути внесено нові (умовно назвемо їх вторинними). Неврахування фактору внесення та прояву вторинних дефектів у процесі оцінювання показни-

ків надійності може привести до одержання неточних результатів, або значних відхилень одержаних результатів від реальних.

Одним з принципів кількісної оцінки вторинних дефектів є модифікація функцій ризику моделей шляхом внесення до них параметра, що визначає їх число. При цьому проводиться аналіз припущень моделей та аналітичних виразів функцій ризику на предмет можливості таких модифікацій. В [6-9] показана можливість модифікацій моделей Джелінські-Моранди, Шика-Волвертона, Ліпова та простої експоненційної моделі. Однак при знаходженні параметрів функцій ризику моделей одержуються системи рівнянь, що містять на одну невідому більше, ніж кількість рівнянь [8]. Тому однозначно кількість внесених дефектів визначити неможливо. Можливе комплексування з моделями інших класифікаційних груп для знаходження параметра – початкова кількість дефектів у програмі.

Одержання системи рівнянь у якій кількість рівнянь і невідомих однакова можливе при комплексуванні двох модифікованих моделей, як це показано на прикладі об'єднання модифікованої моделі Джелінські-Моранди та модифікованої простої експоненційної моделі [8]. Проте розв'язування одержаної системи у загальному вигляді пов'язане з проблемами технічного характеру: рівняння подані у неявному вигляді відносно змінної  $K$  – коефіцієнт пропорційності, шукана невідома  $n^{BH}$  – кількість внесених дефектів знаходиться як у верхньому індексі знака суми так і під знаком диференціала. Складність одержаної системи рівнянь пояснюється, перш за все, достатньою складністю системи рівнянь для знаходження параметрів простої експоненційної моделі. Структура системи рівнянь для знаходження параметрів моделі Шика-Волвертона більш проста, ніж для простої експоненційної моделі.

При комплексуванні модифікованих моделей оцінки надійності програмних засобів крім співставлення параметрів моделей щодо можливості їх аналітичних перетворень важливою умовою є узгодження припущень моделей. У цьому сенсі об'єднання модифікованої моделі Джелінські-Моранди та модифікованої простої експоненційної моделі обґрунтовується збігом припущень моделей за виключенням припущення про вигляд функції ризику в інтервалах між проявами дефектів, що в даному випадку не є принциповим.

**Мета** статті – одержання аналітичного виразу для оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів на основі модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона шляхом їх комплексування.

### Основна частина

**Модель Джелінські-Моранди.** Припущення моделі [5].

1 Інтенсивність виявлення дефектів  $\lambda(t)$  (функція ризику) пропорційна поточній кількості дефектів у програмі, де поточна кількість це різниця між кількістю ДП ПЗ оцінена після завершення розробки

ПЗ та кількістю усунених (первинних) під час налагодження та тестування.

2 Прояв дефектів рівноймовірний і їх прояв не залежить один від одного.

3 Усі дефекти мають однакову складність.

4 Час до наступної відмови розподілений експоненціально.

5 Дефекти постійно коригуються без внесення нових.

6 Програмний засіб функціонує в середовищі близькому до реальних умов.

7  $\lambda(t) = const$  в інтервалі між двома суміжними моментами прояву дефектів.

Відповідно до цих припущень функція ризику подається у вигляді

$$\lambda(t) = K(B - (i-1)), \quad (1)$$

де  $t$  – довільний момент часу між виявленням  $i-1$ -го та  $i$ -го дефекту;  $K$  – коефіцієнт пропорційності;  $B$  – початкова (невідома) кількість дефектів у програмному засобі.

Таким чином, якщо за час  $t$  було виявлено  $(i-1)$  дефектів, то в ПЗ ще залишається їх  $B-(i-1)$ .

Вважаючи  $X_i = t_i - t_{i-1}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) і використовуючи четверте припущення можна стверджувати, що всі  $X_i$  мають експоненціальний розподіл.

**Модель Шика-Волвертона.** Припущення:

1. Функція ризику пропорційна кількості дефектів у програмному засобі, а також, величині часу тестування.

2. Прояв дефектів рівноймовірний і незалежний.

3. Усі дефекти мають однакову складність.

4. Програмний засіб працює в умовах, близьких до реальних.

5. Дефекти постійно коригуються без внесення нових.

Функція ризику має такий вигляд:

$$\lambda(t) = K(B - (i-1))X_i, \quad (2)$$

де  $X_i$  – час тестування, що минув від моменту  $t_{i-1}$  виявлення  $(i-1)$ -го дефекту до поточного моменту  $t_i$ ,  $K$  – коефіцієнт пропорційності;  $B$  – початкова (невідома) кількість дефектів у програмному засобі [4].

Припущення моделей Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона фактично співпадають, за виключенням припущення про пропорційність функції ризику величині часу тестування.

Формули (1) і (2), що характеризують функції ризику моделей Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона містять однакові параметри, за виключенням параметра  $X_i$ . В об'єднаній моделі слід прийняти припущення про пропорційність функції ризику тривалості тестування, оскільки аналітичні вирази містять цей параметр, а також, припущення про те, що на кожному часовому інтервалі виявляється один дефект. Вид розподілу часу між виявленням  $i-1$ -го та  $i$ -го дефекту у контексті задачі, що розглядається не є принциповим.

Виконаний аналіз припущень моделей Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона дозволяє сформулювати висновок про їх узгодженість.

Урахування вторинних дефектів передбачає уточнення п'ятого припущення моделей у наступній редакції: дефекти постійно коригуються. Крім того, у функції ризику моделей додається параметр  $n^{BH}$  – кількість внесених дефектів, внаслідок чого формули (1) і (2) відповідно набудуть вигляду

$$\lambda(t_i) = K(B - (i - 1) + n^{BH}) \quad (3)$$

$$\lambda(t) = K(B - (i - 1) + n^{BH})X_i. \quad (4)$$

На основі других припущень моделей одержані системи рівнянь для знаходження оцінки максимальної правдоподібності величин  $K$ ,  $B$ ,  $n^{BH}$  моделей Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона відповідно [7].

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i}, \\ \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} = \frac{(n + n^{BH}) \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i}. \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n_1} (B - i + 1 + n^{BH}) \frac{X_i^2}{2}}, \\ \sum_{i=1}^{n+n_1} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} = \frac{K}{2} \sum_{i=1}^{n+n_1} X_i^2. \end{array} \right. \quad (6)$$

З урахуванням припущення про виявлення одного дефекту на кожному часовому інтервалі, в системі рівнянь (6) у верхньому індексі суми  $n_1$  замінюється на  $n^{BH}$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH}) \frac{X_i^2}{2}}, \\ \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} = \frac{K}{2} \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2. \end{array} \right. \quad (7)$$

Кожна з систем (5), (7) складається з двох рівнянь, у яких міститься три невідомих, що свідчить про те, що їх розв'язки не можна знайти однозначно.

В об'єднаній моделі маємо систему рівнянь, що складається з рівнянь систем (5), (7).

$$K = (n + n^{BH}) / \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i,$$

$$\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} = \frac{(n + n^{BH}) \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i},$$

$$K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH}) \frac{X_i^2}{2}}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} = \frac{K}{2} \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2.$$

Одержана система рівнянь має чотири рівняння при трьох невідомих, проте вираз

$$\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} \frac{1}{B - i + 1 + n^{BH}} \quad (9)$$

при перетворенні системи слід виключити, оскільки невідомі, які він містить не можна виразити через інші невідомі.

Прирівнявши друге і четверте рівняння системи (8) виключаємо вираз (9). Маємо

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i}, \\ \frac{(n + n^{BH}) \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i} = \frac{K}{2} \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2, \\ K = \frac{n + n^{BH}}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH}) \frac{X_i^2}{2}}. \end{array} \right. \quad (10)$$

Виключаємо  $K$ , співставляючи перше і третє рівняння системи (10). Маємо

$$2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i = \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} (B - i + 1 + n^{BH})X_i^2. \quad (11)$$

Проводимо перетворення рівності (11). Одержана формула містить шукану величину  $n^{BH}$  у верхньому індексі сум. Тому додавання має здійснюватися до виявлення останнього дефекту. Інша невідома  $B$  – початкова кількість дефектів у програмному засобі визначається з використанням моделей прогнозу потенційної кількості дефектів програмних засобів (наприклад, моделі Холстеда [10]):

$$\begin{aligned} & -2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i + 2(B + 1 + n^{BH}) \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i = \\ & = - \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i^2 + (B + 1 + n^{BH}) \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2. \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} (B+1+n^{BH}) \left( 2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i - \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2 \right) = \\ = 2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i - \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i^2. \end{aligned} \quad (13)$$

$$n^{BH} = \frac{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i^2 - 2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} iX_i}{\sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i^2 - 2 \sum_{i=1}^{n+n^{BH}} X_i} - B - 1 \quad (14)$$

Отриманий результат (14) округлюється до цілих.

### Висновки

Одержано аналітичний вираз для оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів на основі комплексування модифікованих моделей

Джелінські-Моранди та Шика-Волвертона. Цей вираз значно спрощує оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ, у порівнянні з їх оцінюванням на основі комплексування модифікованих моделей Джелінські-Моранди і простої експоненціальної моделі. Даний вираз у поєднанні з МНПЗ інших класифікаційних ознак [5] дозволяє спрогнозувати значення функції ризику (інтенсивності прояву ДП ПЗ, як функції часу) та далі використовувати її для комплексного оцінювання показників надійності та функціональної безпеки складних систем, у тому числі систем, які можливо віднести до класу критичних (наприклад, програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем АЕС).

Подальшими напрямками досліджень, спрямованих на одержання аналітичних виразів для оцінювання числа вторинних дефектів програмних засобів є аналіз можливості комплексування інших моделей, зокрема моделей, що належать до інших класифікаційних ознак.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордеев А. А. Эволюция моделей качества программного обеспечения: методика и результаты анализа в контексте стандарта ISO 25010 / А.А. Гордеев, В.С. Харченко // Системы обработки информации. – 2013. – №6(113), С. 15-34.
2. International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2010, 34 p.
3. Jelinski Z. Software reliability research / Z. Jelinski, P. Moranda // Statistical computer performance evaluation W.Freiburger, Ed. Academic Press. – 1972. – P. 465-484.
4. Shick G.J. An analysis of computing software reliability models / G.J. Shick, R.W. Wolverson // IEEE Tras. Software Eng. – V. SE-4. – № 2. – 1978. – P. 104-120.
5. Полонников Р.И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения / Р.И. Полонников, А.В. Никандров. – СПб.: Политехника – 1992. – 78 с.
6. Одарушенко О. Н. Учет вторичных дефектов в моделях надежности программных средств / О. Н. Одарушенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // Математичні машини і системи. – Київ: ІПММС НАН України, 2010. – № 1. – С. 205-217.
7. Анализ сценариев и определение параметров для оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / В.С.Харченко, О. Н. Одарушенко, А. А. Руденко, Е. Б. Одарушенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Київ, 2011. – Випуск 2 (18). – С.273-280.
8. Харченко В. С. Учет фактора вторичных дефектов при оценке надежности программных средств / В.С.Харченко, А. А. Руденко, О.Н.Одарушенко, Е. Б. Одарушенко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. История. Политология. Экономика. Информатика. – Белгород, 2013. – № 22 (165). Выпуск 28/1. – С. 153-160.
9. Одарушенко О.Н. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / О.Н. Одарушенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7 (59). – С. 294-300.
10. Холстед М.Х. Начало науки о программах / М. Х. Холстед – М.: Финансы и статистика, 1981. – 128 с.

Received (Надійшла) 11.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Assessment of the number of secondary software defects based on combining the parameters of the Jelinski-Moranda and Shick-Wolverson software reliability growth models

O. Rudenko, O. Odarushchenko, Z. Rudenko, O. Odarushchenko

**Abstract.** Software Reliability Growth Models (SRGM) have been investigated to identify those that can be used to account for the factor of manifestation of secondary defects. The secondary defects are those that are introduced into the software after the removal of the primary ones, which are introduced and eliminated during software debugging and testing. The assumptions and analytical expressions of the Jelinski-Moranda, Shick-Wolverson SRGM on the question of their application for the consideration of the secondary defects of software design are analyzed. An approach is proposed to quantify the secondary defects, which is to modify the risk functions of the SRGM. The problematic issues arising from the complexisation of the modified simple exponential model and the Jelinski-Moranda model are analyzed. Approaches in which the modification of SRGM is possible - consistency of assumptions, acceptance of additional assumptions that agree on models, comparison of parameters regarding the conditions of implementation of analytical transformations are considered. The advantages of combining Jelinski-Moranda and Shick-Wolverson SRGM compared to combining a modified Jelinski-Moranda model and a modified simple exponential model are presented. The resulting formula, in conjunction with SRGM other classification features, allows to predict the value of the risk function and further use it to comprehensively evaluate the reliability and functional safety of complex systems, including systems that can be attributed to the class of critical (eg, Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants).

**Keywords:** software reliability, defect, secondary defect, Software Reliability Growth Models, modified Jelinski-Moranda reliability growth model, modified Shick-Wolverson reliability growth model, model aggregation, combined Jelinski-Moranda and Shick-Wolverson model.

В. М. Рудницький<sup>1</sup>, В. А. Дзюба<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

<sup>2</sup> ПВНЗ «Європейський університет», Черкаси, Україна

## СПЕЦІАЛІЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ З ПІДВИЩЕНОЮ ТОЧНІСТЮ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАДАЧ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ

**Анотація.** У статті пропонується новітній підхід до побудови спеціалізованої комп'ютерної системи (СКС) на основі ґрунтовного аналізу поставленої задачі, із врахуванням спільної роботи оболонки з внутрішнім наповнювачем, крайових умов, властивостей тонкостінної циліндричної оболонки, що знаходиться під дією навантаження, та разом з цим здатна зберігати початкові дані. Проведений огляд літературних джерел по тематиці статті. Обґрунтовано необхідність створення СКС, як успішної альтернативи традиційним комп'ютерним системам, оскільки поєднання апаратного та програмного забезпечення разом з механічними або іншими частинами, дає можливість знаходити рішення широкого класу задач прикладного характеру. Сформульовані загальні вимоги до структури СКС, яка призначена для вирішення найактуальніших проблем механіки деформованого твердого тіла. Деталізований алгоритм роботи розрахункового блоку із підвищеною точністю СКС, який зводиться до розв'язання СЛАР із використанням ітераційних методів, а саме методу Зейделя.

**Ключові слова:** спеціалізована комп'ютерна система, тонкостінна циліндрична оболонка, крайова задача, алгоритм, метод Зейделя, ітераційна схема, матриця, збіжність методу.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Головним інструментом сучасних інформаційних технологій є багатоформатні комп'ютерні системи (КС), які можна класифікувати за їх основними характеристиками та потужностями. За допомогою наявних комп'ютерних систем можна розв'язати велику кількість задач науково-технічного походження, проте, перед науковцями постають як окремі задачі, так і профільний підбір задач, які мають важливе практичне значення, але обчислювальні можливості існуючих апаратних комплексів КС є недостатніми для їх успішного вирішення [1-8].

Високий рівень розвитку сучасних інженерних технологій вимагає збереження надійності та міцності конструктивних систем, що призводить до виникнення нових теорій та комп'ютерних методів розрахунку, які локалізуються на базі СКС призначених для розрахункової роботи із підвищеною точністю для елементів оболонок, балок, пластин.

Тонкостінні циліндричні конструкції, є одними із найбільш поширених класів комбінованих конструкцій, які успішно використовуються в найрізноманітніших областях сучасної техніки. Це можна пояснити тим, що завдяки своїй криволінійній структурі такі циліндричні оболонки дозволяють найбільш раціонально розподілити матеріал в різнопланових спорудженнях та, крім цього, використовувати його властивості міцності при задоволенні умов міцності і стійкості [9].

При проведенні досліджень в галузі теорії оболонок, їх класифікацію визначають за їх серединною поверхнею, яка має всі необхідні геометричні та фізичні властивості, що характерні для її товщини. Актуальність дослідження в рамках тематики даної статті, стосовно побудови СКС, полягає в тому, що тонкостінні циліндричні оболонки є першоосновою

більшості відомих природних конструкцій, а також, тих, які вдосконалювали та пристосовували до використання у повсякденному житті жителі нашої планети.

Якщо до традиційних КС прийнято висувати, перш за все, умови універсальності та можливість масового поширення, то для СКС, головними вимогами є – унікальні особливості алгоритмічної та апаратної складової, а також надійність та стійкість при накладанні початкових обмежень на вихідні параметри системи тощо [10].

Провівши аналіз використання існуючих КС та компонентів можна виокремити такі основні передумови для необхідності розвитку проектування та застосування СКС:

1) розбіжності між математичною формалізацією задачі та її технічною реалізацією з використанням можливостей КС;

2) використання СКС дає змогу правильно інтерпретувати отриманий результат на потрібну предметну область;

3) гнучкість реалізації КС, тобто успішне поєднання та переміщення в інші системи [2, 10].

Успішне вирішення задач теорії тонкостінних циліндричних оболонок, неможливе без розробки СКС, як правило, подібного роду обчислювальні пристрої призначені для профільної роботи в тій чи іншій галузі науки чи техніки.

У зв'язку з цим, значна увага приділяється питанню створення СКС для моделювання замкнених оболонок змінної товщини та обрахунку їх механічних характеристик, з метою подальшого використання розрахунків підвищеної точності для виробництва тонкостінних циліндричних оболонок конструкцій, які володіють надважливими властивостями на міцність, жорсткість, стійкість тощо [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі теоретичні багато профільні можливості КС та

компонентів стосовно розрахунку елементів напружено-деформованого стану тонкостінних оболонкових конструкцій, при практичній реалізації, у більшості випадків, мають значні обчислювальні.

Існуючі дослідження в галузі теорії циліндричних оболонок та методів розрахунку тонкостінних оболонкових конструкцій можна виокремити у два напрямки: перший напрям – комбіновані аналітичні та напіваналітичні методи, які ґрунтуються на континуальній специфікованій моделі розрахунку, та, другий напрям, який базується на дискретному поданні розрахункової моделі, з метою використання добре відомих чисельних методів.

Аналіз наукових праць, таких відомих вчених, як: Григоренка Я. М., Григоренка А. Я., Влайкова Г. Г., Тимошенко С. П., Василенка А. Т., Стеблянка П. О., Кільчевського М. О., дає підстави стверджувати, що кожен з цих напрямків успішно розвивається та доповнює один одного [1-10]. Обидва напрямки мають в своєму арсеналі потужні обчислювальні комплекси, проте при практичній реалізації існуючих методів для складних оболонкових конструкцій виникає ряд проблем обчислюваного характеру.

Крім цього, виникає необхідність побудови загальних підходів для розрахунку оболонкових конструкцій, які б створили умови для широкого спектру застосування. Тобто виникає необхідність до розв'язання задач у просторовій постановці. При цьому з'являються математичні та обчислювальні труднощі при виконанні граничних умов з достатньою точністю.

Описані проблеми, які з'явилися на новітньому шляху розвитку є наслідком недостатньо розробленого методичного апарату для розрахунку циліндричних оболонок.

На сьогодні, серед провідних дослідників тематики даної роботи побутує думка, що значущий прогрес, можливий, при побудові спеціалізованих обчислювальних комп'ютерних систем та їх компонентів, на основі використання чисельних методів, але при умові успішного поєднання та вдосконалення апаратного комплексу аналітичних та напіваналітичних методів [9].

**Метою роботи** розробка спеціалізованої комп'ютерної системи, яка дозволить моделювати замкнені тонкостінні циліндричні оболонки та здійснювати розрахунок механічних характеристик задач пружно-деформованого стану оболонкових конструкцій із підвищеною точністю.

### Основний матеріал

Необхідність побудови СКС можна пояснити тим, що СКС входять до складу проблемно-орієнтованих КС, які мають багатогранні можливості відносно проектування вбудованих та розподілених сучасних комп'ютерних систем в межах реального часу. Очевидним є те, що передові сучасні багатифункціональні СКС повинні бути оснащені високорівневим програмно-апаратним комплексом [10].

Оскільки при розрахунку компонентів напружено-деформованого стану циліндричних оболонок, як складних систем, виникають обчислювальні тру-

днощі із врахуванням всіх можливих характеристичних властивостей, а для значної кількості задач теорії оболонок майже неможливо отримати достовірні результати.

Їх успішне вирішення можливе, за умови побудови нових СКС, які матимуть в основі: 1) необхідні модельні уявлення; 2) комбіновані підходи; 3) методи розрахунку з підвищеною точністю; 4) достовірну практичну реалізацію пропонованих алгоритмів. Описані вимоги до структури сучасних СКС та компонентів є однією з найактуальніших проблем механіки деформованого твердого тіла і представляє безсумнівний практичний інтерес. У зв'язку з тим, що поєднання апаратного та програмного забезпечення разом з механічними або іншими частинами, дає можливість знаходити рішення для широкого класу задач прикладного характеру.

Досліджується напружено-деформований стан несиметрично навантаженої поверхні із навантаженням –  $q_x, q_y, q_z$  циліндричної оболонки кругового поперечного перерізу радіусу  $R$  у серединній поверхні. В формулюванні допускається, що товщина  $h$  оболонки може змінюватись в окружному і меридіональному напрямках. Ключовими невідомими даної задачі є:  $u, v, w$  – переміщення за твірною, направляючою та нормаллю до серединній поверхні [2].

Аналітична модель задачі тонкостінної циліндричної оболонки має такий вигляд:

$$1) \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{W}{R_1} + \varepsilon_1;$$

$$2) \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial U}{\partial y} + \varepsilon_{12}; \quad 11) N_2 = c_{12}\varepsilon_1 + c_{22}\varepsilon_2;$$

$$3) \frac{\partial W}{\partial x} = W'; \quad 12) M_2 = D_{12}\chi_1 + D_{22}\chi_2;$$

$$4) \frac{\partial W'}{\partial x} = -\chi_1; \quad 13) Q_2 = H' + \frac{\partial M_2}{\partial y};$$

$$5) \frac{\partial N_1}{\partial x} = -\frac{\partial S}{\partial y}; \quad 14) \varepsilon_1 = \frac{1}{c_{11}}(N_1 - c_{12}\varepsilon_2);$$

$$6) \frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{\partial N_2}{\partial y}; \quad 15) \varepsilon_2 = \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{W}{R_2};$$

$$7) \frac{\partial M_1}{\partial x} = -\frac{\partial H}{\partial y} + Q_1; \quad 16) \varepsilon_{12} = \frac{S}{c_{66}};$$

$$8) \frac{\partial H}{\partial x} = H'; \quad 17) \chi_1 = \frac{1}{D_{11}}(M_1 - D_{11}\chi_2);$$

$$9) \frac{\partial Q_1}{\partial x} = -\frac{\partial Q_2}{\partial y} + \frac{N_2}{R_2} - q_z; \quad 18) \chi_2 = -\frac{\partial^2 W}{\partial y^2};$$

$$10) H' = 2\frac{\partial D_{66}}{\partial x}\chi_{12} + 2D_{66}\frac{\partial \chi_1}{\partial y}; \quad 19) \chi_{12} = -\frac{\partial W'}{\partial y},$$

вважається, що

$$D_{66} = \frac{Eh^3}{24(1+\nu)}, D'_{66} = \frac{Eh^2 h'(x)}{8(1+\nu)},$$

$$D'_{66} = \frac{Eh^2 b_0}{8(1+\nu)},$$

де товщина оболонки змінюється за лінійним законом

$$h(x) = a_0 + b_0 x, \quad h'(x) = b_0.$$

Структура СКС базується на використанні скінченно-різницевої апроксимації похідних. Якщо проаналізувати вплив округлення на апроксимацію похідної із використанням різницевої апроксимації, то ми побачимо, що при зменшенні кроку апроксимації наближення до похідної різницевою співвідношеннями, спочатку покращується, але потім погіршується, тобто похибка округлення у різницевому співвідношенні зростає із зменшенням кроку.

Альтернативний спосіб отримання кращої апроксимації полягає в тому, щоб запропонованим способом знизити неусувну погрішність округлення при тих же значеннях на даному кроці. Очевидним є те, що знайти успішний вихід з цієї ситуації можна, якщо вибрати більш точнішу формулу для апроксимації. У основі розробленої СКС закладено такий метод розрахунку з підвищеною точністю, який зводиться до розв'язання СЛАР із використанням ітераційних методів, а саме методу Зейделя. Із врахуванням вище сказаного, розрахункові формули для прямого  $(U_N^k)$  та оберненого  $(V_N^k)$  ходу методу прогонки, із врахуванням умов стійкості процесу розрахунку у методі Зейделя, матимуть вигляд:

$$U_1^k = \frac{1}{k_2} (6hf_{10}^{k-1} + k_1 U_0 + k_3 U_2^{k-1} - k_4 U_3^{k-1});$$

$$U_2^k = \frac{1}{k_6} (6hf_{11}^{k-1} + k_4 U_0 + k_5 U_1^{k-1} + k_0 U_3^{k-1});$$

$$U_3^k = \frac{1}{k_6} (6hf_{12}^{k-1} + k_4 U_1^{k-1} + k_5 U_2^{k-1} + k_0 U_4^{k-1});$$

$$\dots\dots\dots$$

$$U_i^k = \frac{1}{k_6} (6hf_{li-1}^{k-1} + k_4 U_{i-2}^{k-1} + k_5 U_{i-1}^{k-1} + k_0 U_{i+1}^{k-1});$$

$$U_{i+1}^k = \frac{12h}{n_0} f_{li}^{k-1} + U_{i-1}^{k-1} + \frac{k_0}{n_0} (U_{i+2}^{k-1} - U_{i-2}^{k-1});$$

$$U_N^k = \frac{6}{17} h (3f_{1N-1}^{k-1} + f_{1N}^{k-1}) + \frac{9}{17} (U_{N-1}^{k-1} + U_{N-2}^{k-1}) - \frac{1}{17} U_{N-3}^{k-1};$$

$$V_0^k = -\frac{6}{17} h [f_{20}^{k-1} + 3f_{21}^{k-1}] + \frac{9}{17} (V_1^{k-1} + V_2^{k-1}) - \frac{1}{17} V_3^{k-1};$$

$$V_{j-1}^k = \frac{1}{n_0} (-12hf_{2j}^{k-1} - k_0 (V_{j+2}^{k-1} - V_{j-2}^{k-1}) + V_{j+1}^{k-1}); j = 2;$$

$$V_j^k = \frac{1}{k_6} (-6hf_{2j+1}^{k-1} + k_0 V_{j-1}^{k-1} + k_5 V_{j+1}^{k-1} + k_4 V_{j+2}^{k-1});$$

$$V_{N-2}^k = \frac{1}{k_6} (-6hf_{2N-1}^{k-1} + k_0 V_{N-3}^{k-1} + k_5 V_{N-1}^{k-1} + k_4 V_N^k);$$

$$V_{N-1}^k = \frac{1}{k_2} (-6hf_{2N}^{k-1} - k_4 V_{N-3}^{k-1} + k_3 V_{N-2}^{k-1} + k_1 V_N^k);$$

$$V_N = V_*.$$

Перевагою застосування методу Зейделя є те, що процес ітерацій добре збігається, тобто число наближень, які необхідні для отримання розв'язку вихідної системи із заданою точністю, невелике, якщо елементи матриці малі по абсолютній величині. Бажано, щоб ітераційний процес не тільки збігався, але й збіжність мала монотонний характер, а не коливний [1-3].

Іншими словами, для успішної комп'ютерної реалізації ітераційного процесу модулі діагональних коефіцієнтів вихідної системи повинні мати перевагу, тобто бути більшими у порівнянні з модулями недіагональних коефіцієнтів цієї системи (вільні члени при цьому не беруться до уваги).

Не менш важливим етапом при проектуванні структури СКС, яка зосереджена на виробництві оболонкових конструкцій – є оцінка надійності кінцевого результату виробництва. При проведенні оцінки надійності, важливо враховувати початкові характеристики для моделюючої системи оболонок, а також здійснювати аналіз роботи наведеної розрахункової схеми та її складових компонент, оскільки вони мають безпосередній вплив на результативність роботи системи.

При незадовільному результаті оцінки надійності системи, необхідно скомпонувати множину розрахункових погрішностей її елементів та сформувати логічну схему взаємозв'язків між ними. Такого роду множина, дає потрібну характеристику для проведення подальшого дослідження та числового визначення параметрів логічної схеми. Відмітимо, що якісна характеристика надійності вихідної комп'ютерної системи, можлива за умови успішної працездатності компонентів логічної схеми.

Числові значення необхідних параметрів та коефіцієнтів логічної схеми представляються завдяки апаратній частині СКС, а саме блоку вимірювальної системи контролю за станом досліджуваного об'єкта.

Беззаперечними перевагами використання СКС є, те що вони слугують засобом для випробування в тестовому режимі новітніх методів для роботи з інформаційними даними, в основу яких закладені математичні розрахункові схеми. Відомі підходи, такі як: розпаралелювання, вирішення задач у просторовій постановці перед тим як використовуватися в КС були детально перевірені в СКС. Також до переваг можна віднести здатність оптимізаційних методів досліджувати СКС та виявляти недоліки і відслідковувати зв'язки між параметрами вихідної задачі, з метою проведення оцінки ефективності роботи СКС в тому чи іншому напрямі.

Інакше кажучи при проектуванні та створенні СКС перед розробником стоїть задача створити КС,

яка буде призначена для вирішення оптимізованих, різнопланових задач, які входять до вузького класу задач. СКС дає змогу отримати у числовій формі значення розподілу для таких полів, як: температурне, переміщення, деформації, напружень та ін.

Такого роду інформаційні дані в подальшому використовуються для проведення оцінки на міцність, жорсткість, довговічність елементів конструкції.

### Висновки

У статті пропонується новий підхід до проектування структури СКС, яка призначена для моделювання тонкостінних циліндричних оболонок та розрахунку механічних характеристик задач пружно-деформованого стану оболонкових конструкцій змінної товщини із підвищеною точністю.

Запропонована структура СКС полягає у використанні скінченно-різницевої апроксимації

похідних. Представлений алгоритм розрахунку аналітичного подання моделі тонкостінної циліндричної оболонки, який передбачає відшукання розв'язку СЛАЕ із використанням комбінованих ітераційних методів. Значною перевагою методу є те, що можна отримати результати максимально наближені до точних за рахунок дискретного подання апроксимації.

Таким чином, можна стверджувати, що результати використання математичних методів для оптимізації роботи СКС полягають у використанні великомасштабних ітераційних процедур, які представляються у вигляді комбінованих методів, які оцінюють якість та надійність вихідних даних.

Успішна реалізація роботи СКС відкриє нові перспективи для використання розрахунків при виробництві тонкостінних циліндричних оболонкових конструкцій, які володіють надважливими властивостями на міцність, жорсткість, стійкість тощо.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Berikelashvili G. Construction and Analysis of Difference Schemes for Some Elliptic Problems and Consistent Estimates of the Rate of convergence / G. Berikelashvili. — Tbilisi.: Mathematical Institute Georgian Academy of Sciences, 2006. — 1–131 p.
2. Grigorenko A.Ya., Vlaikov G.G. Some problems of elasticity theory for anisotropic bodies of cylindrical form A. Ya. Grigorenko, G. G. Vlaikov. — Kyiv. National Academy of Sciences of Ukraine, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, Technical Center. 2002. — 217 p.
3. Григоренко Я. М., Влайков Г. Г., Григоренко А. Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. — Киев: Академперіодика, 2006. — 472 с.
4. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. / Навчальний посібник/ – Тернопіль : ТЗОВ «Терно-граф», 2010. – 392 с., іл.
5. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
6. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
7. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
8. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaev, M. Mozhaiev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
9. Рудаков К. М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій. – К: Навч. Посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 379 с.
10. Рудницький В.М., Бабенко В.Г. Математичне моделювання дискретних пристроїв для систем інформаційної безпеки. Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007». Харків: НАУ ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2007. С. 227-229.

Received (Надійшла) 11.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### Specialized computer system for calculating with increased accuracy the mechanical characteristics of stress-strain state problems of thin-walled cylindrical shells of variable thickness

V. Rudnitsky, V. Dzyuba

**Abstract.** The article proposes the latest approach to building a specialized computer system (SCS) based on a thorough analysis of the task, taking into account the joint work of the shell with the internal filler, boundary conditions, and the properties of a thin-walled cylindrical shell under load, and at the same time is able to save the original data. A review of literary sources on the subject of the article. The necessity of creating SCS as a successful alternative to traditional computer systems is substantiated, since the combination of hardware and software together with mechanical or other parts makes it possible to find solutions to a wide class of applied problems. The general requirements to the structure of SCS, which is designed to solve current problems in the mechanics of a deformable solid, are formulated. A detailed algorithm for the operation of the calculation unit with increased accuracy of SCS, which is reduced to solving SLAE using iterative methods, namely the Seidel method.

**Keywords:** specialized computer system, thin-walled cylindrical shell, boundary value problem, algorithm, Seidel method, iterative scheme, matrix, method convergence.



М. В. Ткачук<sup>1</sup>, Р. О. Гамзаєв<sup>1</sup>, О. Т. Товстокоренко<sup>2</sup>, І. О. Мартінкус<sup>1</sup>, К. А. Нагорний<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

<sup>2</sup>НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## АНАЛІЗ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ CASE - ЗАСОБІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ В ПРОЦЕСАХ РОЗРОБКИ ЛІНІЙОК ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є інструментальні засоби (CASE – засоби) та метрики для моделювання та дослідження характеристик варіабельності архітектур та окремих компонентів лінійок програмних продуктів (ЛПП). Метою є аналітичний огляд функціональності та визначення критеріїв вибору відповідних CASE – засобів для моделювання архітектур ЛПП з урахуванням конкретних показників їх якості, які обчислюються на основі оцінки рівня їх варіабельності із застосуванням кількісних метрик, що має забезпечити можливість робити висновки щодо ефективності побудови та подальшого застосування ЛПП. Завдання: проаналізувати сучасні інформаційні джерела за темою дослідження, провести порівняльний аналіз декількох CASE – засобів та обрати тих, що уможливають моделювання характеристик варіабельності у різних типах ЛПП, запропонувати метрики для їх кількісного визначення та провести відповідні експериментальні дослідження. Використовуваними методами є: структурний аналіз особливостей побудови ЛПП; кількісні метрики визначення рівня варіабельності архітектури та окремих компонентів ЛПП. Отримані такі результати: проаналізовано функціональні можливості сучасних CASE – засобів для моделювання характеристик варіабельності в ЛПП, мотивовано обрано метрики для кількісного визначення рівня варіабельності та експериментально досліджено можливість їх застосування для аналізу ефективності процесів розробки та подальшого використання ЛПП. Висновки: проведені експериментальні дослідження для тестових моделей ЛПП показали, що за умов розширення функціональності наявних CASE – засобів шляхом застосування кількісних метрик для визначення рівня варіабельності можливо надавати практичні рекомендації щодо підвищення ефективності побудови та подальшого використання відповідних ЛПП. Напрямок подальших досліджень є розробка програмних рішень для вдосконалення функціональності існуючих CASE – засобів та проведення з їх використанням більшої кількості експериментальних досліджень ефективності запропонованого підходу.

**Ключові слова:** лінійка програмних продуктів, варіабельність, архітектура, компонент, CASE - засіб, метрика.

### Вступ

Актуальність проблеми автоматизації застосування методів доменного моделювання при розробці лінійок програмних продуктів. Сучасні методи розробки програмного забезпечення (ПЗ) повинні уможлилювати зменшення витрат на реалізацію відповідного проекту з урахуванням функціональних вимог та атрибутів якості до ПЗ, а також скорочення часу, потрібного для виходу на ринок нових програмних продуктів [1]. Для цього в сучасній інженерії ПЗ широко застосовується концепція предметно-орієнтованого проектування (domain-driven design), в якій центральне місце займає поняття доменної моделі (domain model) як засобу для концептуалізації знань щодо предметної області (ПрО) розробки ПЗ [2].

Такий підхід дозволяє перейти від розробки окремих програмних систем (ПС) до створення лінійок програмних продуктів (software product lines - SPL) [3].

Створення лінійок програмних продуктів (ЛПП) передбачає побудову доменної моделі (ДМ) для заданої ПрО, на основі якої, із використанням відповідних інструментальних засобів (CASE-tools), можлива генерація каркасу програмного коду (source code framework), який потім має бути основою для створення програмних компонентів повторного використання (reusable software component), які застосовуються в ЛПП. При цьому існує можливість комплексного застосування як різних методів побудови ДМ для заданої ПрО, так і відповідних

технологічних середовищ для створення, накопичення та контролю різних версій ЛПП, і ці питання досліджуються в [4-5]. Зокрема, в цих роботах показано, що на ефективність цих процесів впливають такі чинники як: (1) ступінь повторного використання програмного коду, який може бути згенерований на основі певної ДМ; (2) структурно-функціональна складність самої ДМ.

Не менш важливою науково-прикладною проблемою розробки сучасних ЛПП є забезпечення в них відповідного рівня варіабельності (variability). Це поняття в сучасній програмній інженерії (software engineering) узагальнює такі підходи до розробки та супроводу ПЗ як: розробка на основі моделей (model-driven development), адаптивне проектування (adaptive design), побудова ПС, які здатні пристосовуватися до змін в середовищі їх функціонування (self-adaptable software), що можуть бути достатньо легко сконфігуровані та налаштовані на нові вимоги користувачів (configurable software), а також таких ПС, які пристосовані до їх подальшої еволюції (software evolution) та реінжинірингу (software reengineering) [1-3,7]. Для автоматизації цих процесів на різних стадіях життєвого циклу створення та супроводу ЛПП на теперішній час існує спеціалізований клас інструментальних засобів (CASE-засобів), які дозволяють проводити моделювання варіабельності компонентів ЛПП, з метою визначення певних показників якості їх побудови та подальшого застосування. Саме тому тема дослідження, представленою у цій статті, є актуальною і практично значущою.

**Метою роботи** є аналітичний огляд функціональності та визначення критеріїв вибору відповідних CASE – засобів для моделювання архітектур ЛПП з урахуванням конкретних показників їх якості, які обчислюються на основі оцінки рівня їх варіабельності із застосуванням кількісних метрик, що має забезпечити можливість робити висновки щодо ефективності побудови та подальшого застосування ЛПП. Для цього необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати сучасні інформаційні джерела за темою дослідження, провести порівняльний аналіз декількох CASE – засоби та обрати таких, що уможливають ефективне моделювання характеристик варіабельності у різних типах ЛПП, запропонувати метрики для їх кількісного визначення та провести відповідні експериментальні дослідження.

### Стислий огляд останніх публікацій за темою дослідження

На теперішній час, поряд з великою кількістю публікацій щодо теоретичних підходів до побудови ЛПП з урахуванням характеристик їх варіабельності (напр., в [1, 3, 6]), значна увага дослідників привернута до питань розробки та застосування CASE-засобів, які дозволяють автоматизувати ці процеси на різних стадіях життєвого циклу створення та супроводу таких ЛПП. Зокрема, в останніх роботах за цією тематикою слід зазначити такі основні отримані в них результати:

– в [7] надано стислий огляд концептуальних засад розробки ЛПП із урахуванням властивостей варіабельності їх компонентів, включаючи опис формальних мов для моделювання цих процесів, таких як TVL (Text-based Variability Language), CVL (Common Variability Language), SXFM (Simple XML Feature Model), а також зроблено огляд відповідних інструментальних засобів;

– в [8] зроблено систематизований аналітичний огляд більш ніж 50 інструментальних програмних засобів для підтримки функцій управління варіабельністю в процесах розробки ЛПП, при цьому найбільшу увагу приділено тим, які використовують FODA (Feature Oriented Domain Analysis) – моделювання, при цьому наведені цікаві статистичні дані щодо оцінки якості окремих засобів їх користувачами за такими критеріями як продуктивність (Performance), масштабованість (Scalability), здатність до інтеграції з іншими системами (Integration) та зручність використання (Usability);

– в [9] подано найновітній (станом на 2019р) огляд проблем ЛПП на основі модельно-кеованого підходу (), при цьому значну увагу приділено засобам та технологіям для моделювання варіабельності в ЛПП, а саме моделям властивостей (Feature Model), моделям варіабельності архітектури (Product Line Architecture Variability), орто-

гональним моделям варіабельності (Orthogonal Variability Model).

Але слід зазначити, що в цих та у більшості інших наявних публікацій, практично відсутні дані щодо можливості та доцільності застосування у таких інструментальних засобах кількісних метрик для визначення рівня варіабельності, та дослідження можливості надавати практичні рекомендації щодо підвищення ефективності побудови та подальшого використання відповідних ЛПП.

### Основна частина

**1. Аналіз основних властивостей деяких CASE – засобів для моделювання варіабельності в ЛПП.** Один з найбільш змістовних оглядів джерел за тематикою розробки та застосування сучасних інструментальних CASE-засобів, який наведено в [8], визначив близько 40 таких систем для розробки та моделювання характеристик ЛПП. На основі обробки статистичних даних щодо відгуків користувачів, один з прикладів яких наведено на рис. 1, можливо сформулювати певні критерії вибору відповідних CASE-засобів, а також зробити певні висновки щодо їх переваг та недоліків.

Шляхом аналізу та узагальнення таких агрегованих даних з [8] було визначено, що для подальшого дослідження в цій роботі були обрані такі конкретні CASE-засоби як SPLOT, FeatureIDE та VariaMos, результат порівняльного аналізу функціональних можливостей яких наведено в табл. 1.

Умовні позначення в табл.1 є наступними: «+» - відповідна функціональність присутня, «-» - відсутня, «+/-» - присутня частково. Нижче наведено більш детальний опис цих систем [7, 8].

#### SPLOT (Software Product Line Online Tool).

Цей інструментальний засіб є некомерційним програмним продуктом з відкритим вихідним кодом, який розроблено на платформі Java [7]. Для опису побудованих моделей ЛПП використовується мова SXFM (Simple XML Feature Model), для чого створено спеціальний графічний Web-редактор. Для SPLOT слід відмітити такі три найбільш сильні сторони: наявність редактора моделей ЛПП, автоматичний аналіз властивостей вже побудованих моделей та наявність онлайн-доступу для всіх основних ре-

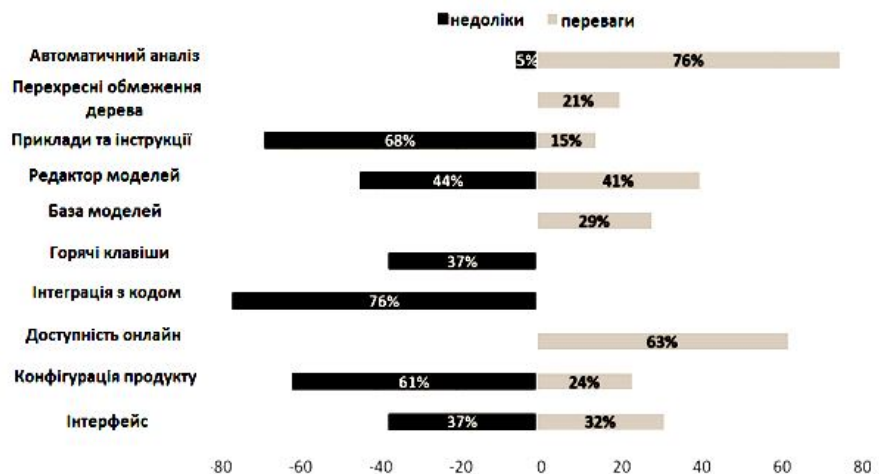


Рис. 1. Приклад статистичних даних щодо переваг та недоліків засобу SPLOT [8]

жимів роботи. До слабких сторін системи можна віднести: недоліки інтерфейсу користувача у редакторі моделей, недостатню кількість прикладів застосування цього продукту у його наявній документації та відсутність можливості генерації вихідним коду на основі вже наявних моделей ЛПП.

Таблиця 1 – Результати порівняльного аналізу обраних CASE-засобів

Засіб \ Властивість	SPLOT	Feature-IDE	VariaMos
Налаштування конфігурацій	+	+	
Збереження моделей	+	+	+
Підтримка та оновлення	+	+	+/-
Автоматичний аналіз моделей	+	+	+
Симуляція процесів часу виконання	-	-	+
Засоби інтеграції з іншими програмними системами	-	+	+
Можливість генерації коду	-	+	-

**FeatureIDE.** Інструмент FeatureIDE (Integrated Development Environment) є також некомерційним продуктом, який створено на платформі Eclipse і який передбачає можливість використання мов програмування C / C++, Java, Haskell, а також стандарт XML для опису та зберігання специфікацій моделей ЛПП [8]. Можливо стверджувати, що його перевагами додатково до характеристик SPLOT є такі як: наявність відповідних модулів (plug-in) для середовища Eclipse та можливість генерації вихідного коду на різних мовах програмування на основі побудованих моделей властивостей ЛПП.

Як основний недолік більшість користувачів FeatureIDE (прибл. 64%) зазначили проблеми графічного інтерфейсу, зокрема, складність навігації в системі меню для автоматичного аналізу моделі та конфігурації продукту. У цьому контексті досить важливими є інтерактивні механізми (наприклад, анімації, кольоровий відтінок та підсвічування), що використовуються для підтримки роботи користувачів, які переміщуються у дереві проекту Eclipse, вибирають функції та мають встановлювати взаємозалежність між ними.

**VariaMos (Variability Models).** Засіб моделювання варіабельності VariaMos також розроблено з використанням мови Java і тому його можна застосовувати в різних операційних середовищах (MS Windows, Mac OS and Linux), а для створення конфігураційних файлів та експорту / імпорту даних в ньому використовується формат JSON [10].

Як перевагу VariaMos слід назвати можливість побудови двох типів попередньо визначених метамоделей ЛПП: так званих адаптивних та функціональних моделей. Відповідно до обраного типу метамоделі, потім в цій системі можливо побудувати локальні моделі відповідної ЛПП: модель варіабельності (variability model), модель контексту (context model) та модель активів (assets model).

VariaMos також забезпечує імітаційні операції, такі як повторення всіх рішень часткової конфігурації, візуалізацію можливих адаптацій системи, оцінку рішення конфігурації та пропозицію альтернатив [10].

На основі результатів проведеного порівняльного аналізу було виявлено, що FeatureIDE має потужніші можливості для створення Feature моделей, але не має можливостей для моделювання та симуляції створення ДЛПП, які має VariaMos. Обидва CASE засоби мають можливість інтеграції компонентів моделей з вихідним кодом для управління розробкою ЛПП, де можна побачити які модулі все розроблені, а які ні, якої бракує SPLOT. Додатково, FeatureIDE має можливість генерації коду продукту з вихідного коду окремих модулів відповідно до вибраної конфігурації продукту. Отож, було прийнято рішення використати та протестувати FeatureIDE та VariaMos та провести практичне порівняння результатів застосування цих CASE-засобів для моделювання показників якості ЛПП.

**2. Метрики якості ЛПП з урахуванням показників її варіабельності.** Слід зазначити, що більшість загальновідомих метрик якості ПЗ (див., на пр., в [11]), які базуються на обчисленні певних характеристик вихідного коду, є недостатніми для визначення показників якості ЛПП. Вони не дозволяють визначити рівень варіабельності, як однієї з основних показників якості ЛПП. Слід зазначити, що сама концепція створення ЛПП передбачає два рівня опису її побудови, а саме [12]:

(i) рівень опису певної еталонної архітектури тих ПС, які є окремими програмними продуктами, або членами у відповідній ЛПП (SPL members), це так звана архітектура продуктової лінії (Product Line Architecture - PLA);

(ii) рівень опису окремих програмних компонентів, що входять до складу окремих ПС, які є членами ЛПП.

Саме тому відповідні метрики варіабельності повинні враховувати характерні особливості та кількісні параметри опису ЛПП на цих рівнях (i) – (ii), і деякі з них представлені нижче [12].

**Коефіцієнт варіабельності структури (Structure Variability Coefficient - SVC)** для певної ЛПП може бути обчислений за формулою:

$$SVC = |C_V| / (|C_C| + |C_V|), \quad (1)$$

де  $|C_C|$  – кількість спільних, а  $|C_V|$  – кількість змінних (тобто варіабельних) програмних компонентів в усіх продуктах, які належать до цієї ЛПП. Відповідно до цієї формули, значення цього показника належить до інтервалу [0,1] і чим воно є вищим, тим більш ефективним є повторне використання такої ЛПП.

**Частота повторного використання компонентів (Component Reusability Rate - CRR)** для певної ЛПП визначається наступною формулою

$$CRR = \sum_i Ex(M_i) / |M|, \quad (2)$$

де  $M$  – це загальна кількість програмних продуктів у

цій ЛПП, а  $Ex(M_i)$  є булева функція, як визначається за наступними правилами:  $Ex(M_i) = 1$ , якщо компонент є внутрішнім компонентом для  $M_i$  продукту ЛПП, інакше  $Ex(M_i) = 0$ . Якщо всі компоненти програмні компоненти є спільними у всіх продуктах цієї ЛПП, то  $CRR = 1$ .

**Коефіцієнта корисності повторного використання (Reuse Benefit Rate-RBR) компонентів ЛПП, який визначається за наступною формулою:**

$$RBR = \sum_i Size(M_i) / \sum_j Size(C_j), \quad (3)$$

де  $Size(C_j)$  – кількість рядків (line of code) вихідного коду компонента  $C_j$  у певній ЛПП,  $\sum_j Size(C_j)$  – це сума рядків коду всіх компонентів у ЛПП, а  $Size(M_i)$  – це кількість рядків коду у продукту  $M_i$  цієї ЛПП. У свою чергу, значення  $Size(M_i)$  також може бути розраховано як

$$Size(M_i) = \sum_k Size(C_k), \quad (4)$$

де  $\sum_k Size(C_k)$  – це рядки коду всіх компонентів у коду у продукту  $M_i$  цієї ЛПП. Слід зазначити, що значення метрики RBR не є нормованим, тобто може бути більше одиниці.

**3. Експериментальне дослідження CASE – засобів та аналіз отриманих результатів.** Для експериментального дослідження обраних CASE – засобів (п. 1) із використанням вищенаведених метрик (1) – (4), у середовищі FeatureIDE були побудовані тестові моделі 2-х умовних ЛПП, а саме:

- 1) ЛПП, членами якої є програмні редактори фотографій;
- 2) ЛПП, членами якої є програмні редактори зображень (рис. 2 та 3 відповідно).

На цих діаграмах представлені їх загальні компоненти (вони мають зв'язки, що позначені чорними кульками) та змінні компоненти (позначені прозорими кульками). Функціональність окремих компонентів цих ЛПП є цілком зрозумілою з їх найменувань, напр., на рис. 2 це: формат зображення (Format), зміна розміру (Change\_size) та ін.

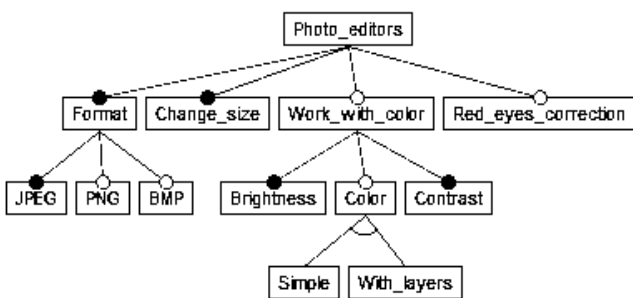


Рис. 2. Модель ЛПП редакторів фотографій

Використовуючи формулу (1) ми можемо розрахувати коефіцієнт варіабельності структури (SVC) для цих моделей ЛПП, які мають 11 спільних функцій та 3 відмінних відповідно, тобто:

$$SVC = 3 / (11+3) = 3 / 14 = 0,214.$$

Цей результат є цілком зрозумілим з точки зору Про застосування цих ЛПП, бізнес-логіка яких є

подібною, і таким чином, їх рівень варіабельності є доволі низьким. У реальному проекті такий результат є підставою зробити висновок щодо доцільності об'єднання цих ЛПП в одну цільову систему.

Для дослідження метрик ЛПП, які визначаються за формулами (2) – (4), у середовищі CASE – засобу VariMos, в режимі симуляції моделей варіабельності, були побудовані FODA – моделі для 3-х різних продуктів (SPL - members) у складі тестової ЛПП, яка була раніше представлена на рис. 3 (ці моделі наведені на рис. 4 – 6 відповідно).

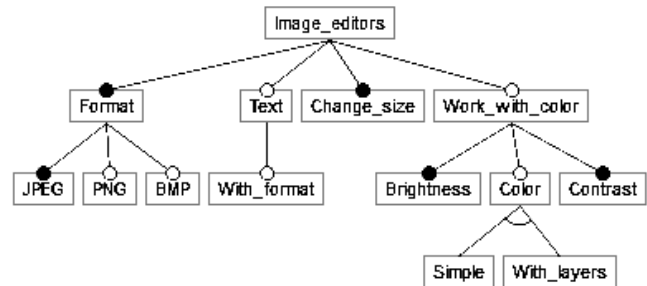


Рис. 3. Модель ЛПП редакторів зображень

Вони відрізняються варіабельними компонентами, які мають спеціальні візуальні позначки - орієнтовані праворуч трикутники у своїх верхній частині. Для цих 3-х моделей значення коефіцієнту повторного використання компонентів (CRR) обчислюється за формулою (2), і нижче наведено його значення для наступних компонентів ЛПП: «Текст», «Формат - PNG» та «Колір - простий», а саме:

$$CRR(\text{«Текст»}) = (0+1+0)/3 = 1/3 = 0.33 ;$$

$$CRR(\text{«Формат - PNG»}) = (1+0+1)/3 = 2/3 = 0.67;$$

$$CRR(\text{«Колір - простий»}) = (0+0+0)/3 = 0.$$

З точки зору програмної реалізації відповідних ЛПП це показує те саме компонент «Формат - PNG» має найвищий рівень варіабельності, тобто його використання є доцільним у всіх наявних та перспективних продуктах цієї ЛПП.

Для обчислення коефіцієнта корисності повторного використання варіабельних компонентів (RBR) у цих FODA - моделях потрібно мати дані щодо кількості рядків коду компонентів ЛПП, умовний приклад яких при реалізації на мові програмування Java представлено у табл. 2:

Таблиця 2 – Тестові дані про кількість рядків Java коду у кожному з компонентів ЛПП

Назва компонента	Кількість рядків коду
«Формат»	343
«Формат – PNG»	258
«Формат – BMP»	177
«Формат – JPEG»	202
«Текст»	44
«Форматування тексту»	663
«Зміна розміру»	50
«Робота з кольором»	36
«Яскравість»	48
«Колір»	89
«Колір – простий»	101
«Колір – за шарами»	209
«Контраст»	73

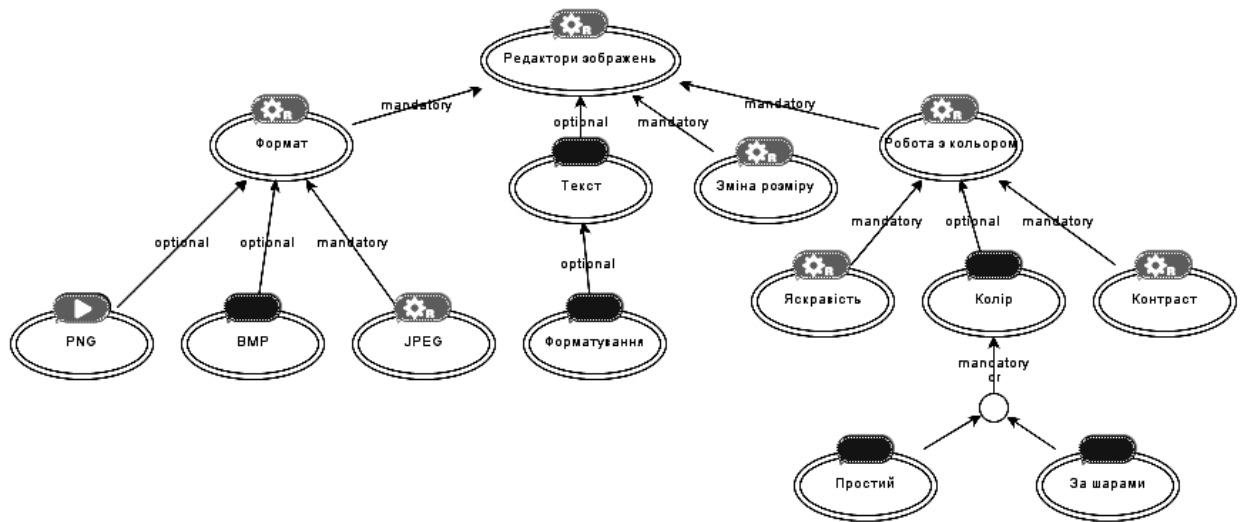


Рис. 4. Перший продукт у ЛПП

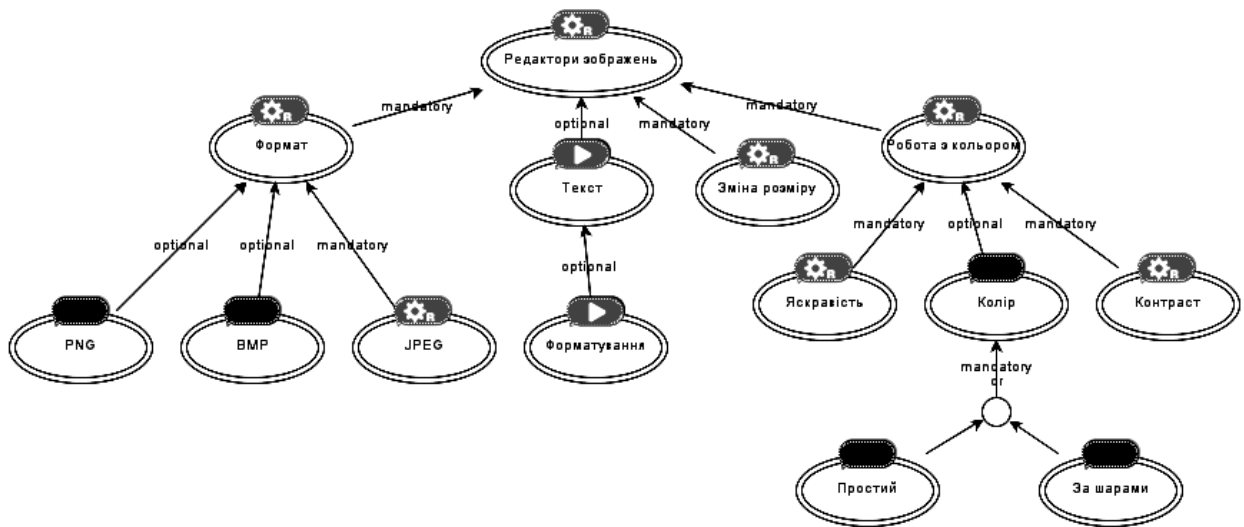


Рис. 5. Другий продукт у ЛПП

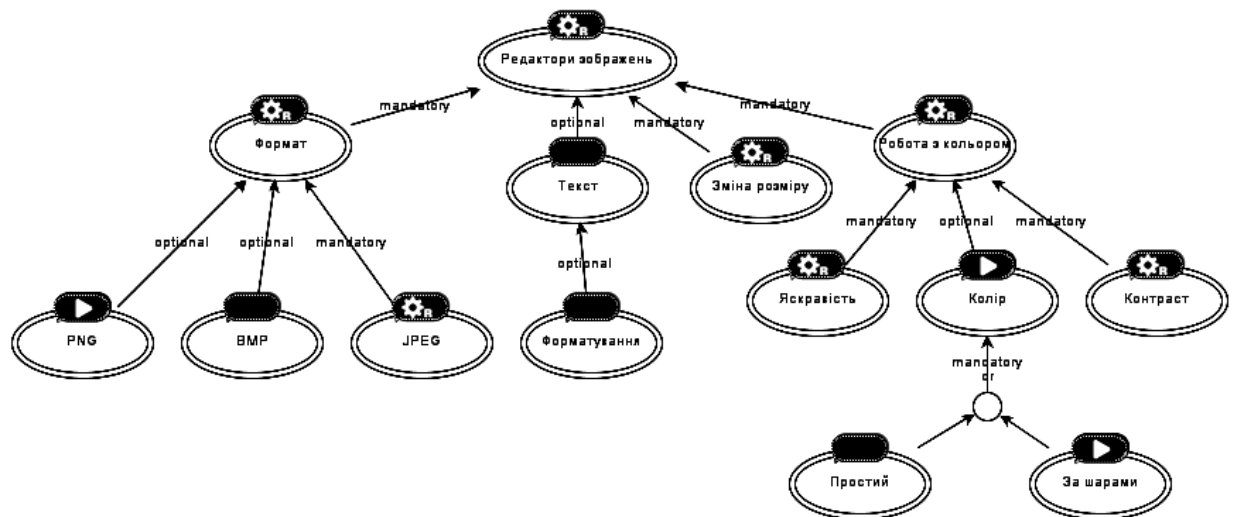


Рис. 6. Третій продукт у ЛПП

Після отримання цих даних, використовуючи формули (3) і (4), з урахуванням характеристик варіабельності кожного з вищезазначених компонентів «Текст», «Формат - PNG» та «Колір - простий» (див. їх FODA – моделі на рис. 4-6), отримуємо таке зна-

чення цього коефіцієнту:

$$RBR = (1010+1459+1308) / 2293 = 3777 / 2293 = 1.65,$$

що підтверджує доцільність їх сумісного використання в окремих продуктах цієї ЛПП.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

В роботі представлені результати порівняльного огляду функціональних можливостей сучасних CASE – засобів для моделювання характеристик варіабельності в ЛПП, мотивовано обрано метрики для кількісного визначення рівня варіабельності та експериментально досліджено можливість їх застосування для аналізу ефективності процесів розробки та подальшого використання ЛПП. Побудовані тестові моделі умовних ЛПП, проведені їх експериментальні дослідження, які показали, що за умов роз-

ширення функціональності наявних CASE – засобів шляхом застосування кількісних метрик для визначення рівня варіабельності можливо надавати практичні рекомендації щодо підвищення ефективності побудови та подальшого використання відповідних ЛПП.

Напрямок подальших досліджень є розробка програмних рішень для вдосконалення функціональності існуючих CASE – засобів з урахуванням кількісних метрик варіабельності компонентів ЛПП та проведення з їх застосуванням більшої кількості експериментальних досліджень ефективності запропонованого підходу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лавріщева К. М. Нові теоретичні засади технології виробництва сімейств програмних систем у контексті генерувального програмування: монографія. К.: Ін-т програм. систем. НАН України, 2011. 277 с.
2. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (Domain-Driven Development - DDD): Структуризация сложных программных систем. 2011. 448 с.
3. Reinhartz-Berger I. Domain Engineering: Product Lines, Languages, and Conceptual Models. Heidelberg, Springer, 2013.
4. Мартінкус І. О., Ткачук М. В., Гамзаєв Р. О. Конструювання лінійок програмних продуктів із застосуванням доменного моделювання та метрик повторного використання коду. *Системи управління, навігації та зв'язку*: зб. наук. пр. Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 3 (43). – С. 93-97.
5. Tkachuk, M., Martinkus, I., Gamzayev, R. An Integrated Approach to Evaluation of Domain Modeling Methods and Tools for Improvement of Code Reusability in Software Development. Heinrich C. Mayr, Martin Pinzger (Eds.): *INFORMATIK 2016, Lecture Notes in Informatics*. Vol. P-259: Kollen Druck+Verlag GmbH, Bonn, 2016. P. 143-156.
6. Tkachuk Mykola, Gamzaev Rustam, Martinkus Iryna. Towards Effectiveness Assessment of Domain Modelling Methods and Tools in Software Product Lines Development. *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures – International Journal of Conceptual Modeling*. Vol. 13 (2018), Germany. P. 190-206.
7. Koznov D., Novitsky I., Smirnov M. Variability Management Tools: Readiness for Industrial Use. *SPIIRAS Proceedings*. 2013. Issue 3(26). –P. 297-331.
8. Bashroush R., Garba M., Rabiser E. CASE Tool Support for Variability Management in Software Product Lines. *ACM Computing Surveys*. 50 (1). 2017. P. 1-45.
9. Yousaf N., Akram M., Bhatti A. Investigation of Tools, Techniques and Languages for Model Driven Software Product Lines (SPL): A Systematic Literature Review. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2019, 12. P. 293-306.
10. Mazo, R., Muñoz-Fernández J., Rincón-Perez L. VariaMos: An extensible Tool for Engineering Dynamic Product Lines. *Proceedings of SPLC'2015 Confegence*, July 2015, Nashville, USA. P. 374-379.
11. Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М. Основы инженерии качества программных систем. 2-е изд. К.: Академперіодика, 2007 – 672 с.
12. Zhang, T., Deng, L., Wu, J. Some Metrics for Accessing Quality of Product Line Architecture. *International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2008.

Received (Надійшла) 23.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.02.2020

### Analysis and experimental research of CASE – tools for variability modeling in software product lines development

M. Tkachuk, R. Gamzayev, O. Tovstokorenko, I. Martinkus, K. Nagorni

**Abstract.** The subject of study in the article are CASE - tools and metrics for modeling and research the variability characteristics of architectures and particular components in software product lines (SPL). **The goal** is to provide an analytical review of functionality and determination of selection criteria of the appropriate CASE - tools for modeling SPL architectures taking into account specific indicators of their quality, which are calculated on the basis of assessing their level of variability using quantitative metrics, which should provide the opportunity to draw conclusions about the effectiveness of the construction and further use of LPP. The **tasks** are: to analyze modern information sources on the research topic, to conduct a comparative analysis of several CASE - tools and to choose those to provide effective modeling of the variability characteristics in various types of SPLs, to propose metrics for their quantitative determination and conduct relevant experimental studies. The **methods** used are: structural analysis of the design features of SPL; quantitative metrics for determining the level of variability of the architecture and particular components in SPL. The following **results** were obtained: the functional capabilities of modern CASE - tools for modeling the variability characteristics in SPL were analyzed, metrics for quantitatively determining the level of variability were selected, and the possibility of their usage to analyze the effectiveness of the development processes and further utilize of SPL was experimentally investigated. The **conclusions** are: the experimental studies were conducted for testing SPL models, and they showed that under the conditions of expanding the functionality of the existing CASE-tool, it is possible to formulate practical recommendations for improving the construction efficiency and further use of the corresponding SPL by using quantitative metrics to determine their variability level. The direction of **further research** is the development of software solutions to improve the functionality of existing CASE – tools, and performance with their usage more experimental studies on effectiveness of the proposed approach.

**Keywords:** software product line, variability, architecture, component, CASE - tool, metric.

К. В. Данова, В. В. Малишева

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетові, Харків, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ЕНТРОПІЯ ЯК ПОКАЗНИК НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ПРАЦІВНИКІВ ІЗ ІНВАЛІДНІСТЮ

**Анотація. Мета.** Аналіз можливості використання інформаційної ентропії як показника, що характеризує невизначеність у прийнятті управлінських рішень стосовно працевлаштування особи, яка має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, на робоче місце. За показником інформаційної ентропії особа, яка приймає управлінські рішення, має можливість визначити необхідність впровадження організаційно-технічних рішень щодо адаптації робочого місця із урахуванням обмежень життєдіяльності працівника із інвалідністю. **Методика дослідження.** Методика ґрунтується на аналізі наявної статистичної інформації щодо причин травматизму, пов'язаного із виробництвом, на підприємствах переробної галузі, задля визначення вірогідності настання нещасного випадку за кожною групою як індивідуального ризику травмування. На базі цього визначено інформаційну ентропію. Врахування стану здоров'я осіб із інвалідністю пропонується здійснювати за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, який впливає на значення інформаційної ентропії, що надає можливість виробляти ефективні управлінські рішення щодо її зменшення та підвищення рівня охорони праці на робочих місцях працівників із інвалідністю та підприємстві у цілому. **Наукова новизна.** Полягає у розробці підходу до прийняття управлінських рішень стосовно забезпечення охорони праці працівників із інвалідністю в умовах підприємства на основі врахування їх особливих потреб за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності, що впливає на рівень інформаційної ентропії, яка відображає ефективність реалізації завдань щодо забезпечення безпеки на робочих місцях цієї категорії працівників. **Практичне значення.** Полягає у наданні особі, яка приймає управлінські рішення, інформаційної бази для визначення пріоритетних напрямів підвищення рівня безпеки на робочих місцях відповідно до потреб працівника, який має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, з метою попередження зростання рівня виробничого травматизму. Зниження ризику травмування працівників із інвалідністю сприятиме посиленню позитивного ставлення до питання працевлаштування цієї категорії населення з боку роботодавців, що надасть змогу отримати суттєвий соціально-економічний ефект на державному рівні.

**Ключові слова:** ентропія, невизначеність, ризик, працівник, інвалідність, травма, безпека.

### Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

Працевлаштування осіб із стійкими функціональними порушеннями у стані здоров'я на підприємства України є важливим соціально-економічним завданням. Низький рівень трудової зайнятості осіб із інвалідністю призводить до негативних економічних наслідків, пов'язаних із втратою робочої сили, а також соціальних проблем, викликаних низьким рівнем доходу цієї категорії населення.

Квотний принцип працевлаштування осіб із обмеженими можливостями, що запроваджений Законом України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» [1], установлює норматив робочих місць для працевлаштування осіб з інвалідністю у розмірі чотирьох відсотків середньооблікової чисельності штатних працівників облікового складу за рік, а якщо працює від 8 до 25 осіб, – у кількості одного робочого місця для підприємств, установ, організацій, у тому числі підприємств, організацій, громадських організацій осіб з інвалідністю, фізичних осіб, які використовують найману працю тощо.

Незважаючи на ці вимоги, рівень офіційного працевлаштування осіб із інвалідністю в Україні залишається вкрай низьким (близько 0,5 % від загальної чисельності осіб із інвалідністю) [2].

Основною причиною низького рівня включення осіб із інвалідністю у виробничий процес є складність у забезпеченні безпеки на робочому місці працівника із особливими потребами та високий рівень ризику, пов'язаного із виконанням трудових обов'язків цієї категорії працівників.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Закон України «Про охорону праці» зобов'язує роботодавця впроваджувати заходи щодо організації безпечних та нешкідливих умов праці на робочих місцях працівників [3]. Враховуючи високий рівень ризику, пов'язаний із виконанням працівником, який має стійкі функціональні зміни у стані здоров'я, професійних обов'язків, роботодавець прагне уникнути додаткової небезпеки та створює певні перешкоди працевлаштуванню працівника із інвалідністю або пропонує «умовну» зайнятість, за якої працівник фактично не є включеним у трудовий процес. З огляду на сучасні європейські підходи до працевлаштування осіб із інвалідністю така форма зайнятості припускається лише у тих випадках,

коли стан здоров'я працівника є особливо складним і він майже не здатний до самообслуговування. У всіх інших випадках роботодавець має шукати шляхи залучення осіб із інвалідністю на робочі місця, забезпечуючи при цьому належний рівень безпеки.

В Україні вже тривалий час зберігається високий рівень виробничого травматизму, що пов'язано із недостатньою ефективністю системи керування охороною праці, значним фізичним та моральним зносом основних фондів виробництва та низьким рівнем уваги з боку роботодавця до питань охороны праці. На рис. 1 наведено статистичні дані по підприємствах переробної галузі, що відображають

кількість потерпілих від нещасних випадків, пов'язаних із виробництвом, за групами причин згідно актів розслідування [2].

З наведених даних видно, що більшість працівників травмується з причин організаційного характеру (77-79% від загальної чисельності потерпілих).

Тобто недоліки у організації праці, а також неврахування технічних й психофізіологічних факторів у організації трудового процесу, обумовлюють настання нещасних випадків, що є пов'язаними із виробництвом, для працівників, які не мають виражених стійких функціональних порушень у стані здоров'я.

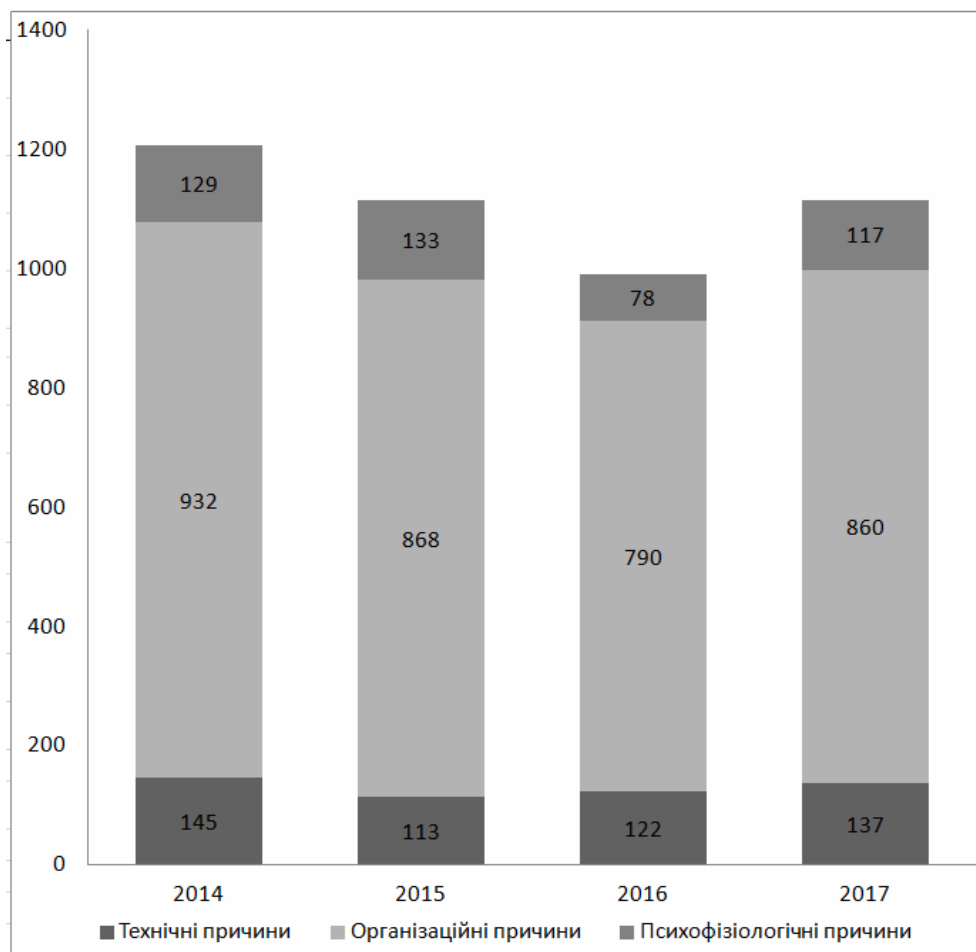


Рис. 1. Кількість потерпілих від травматизму, пов'язаного із виробництвом, на підприємствах переробної галузі України

Забезпечення безпеки осіб із інвалідністю на робочих місцях пов'язане, у першу чергу, із вирішенням питань щодо організації робочого місця та технологічного процесу із врахуванням психофізіологічних особливостей, обумовлених станом здоров'я працівника із особливими потребами.

Підвищення рівня інформативності процесу прийняття управлінських рішень щодо вибору робочого місця, виробничого навантаження та врахування особливих потреб осіб із інвалідністю дозволить знизити ризики та підвищити рівень безпеки трудових процесів.

Закордонні вчені вже тривалий час досліджують питання щодо включення осіб із обмеженими можливостями у виробничий процес. Однак при цьому необхідно враховувати, що професійна діяльність цієї категорії працівників має бути організована із врахуванням особливих вимог безпеки, обумовлених їх фізичними чи нервово-психічними обмеженнями, наявність яких підвищує ймовірність настання нещасного випадку чи аварії.

При прийомі на роботу роботодавець зацікавлений у отриманні інформації про функціональні можливості працівника із інвалідністю та його рі-



вень професійної працездатності, оскільки він має бути впевнений у тому, що працівник здатний безпечно та ефективно виконувати виробничі завдання, що йому доручатимуться [4].

Визначено, що у процесі найму на роботу працівника із особливими потребами перед роботодавцем постає низка питань, вирішення яких потребує певного інформаційного забезпечення: оцінка рівня кваліфікації та працездатності; сума витрат, необхідних на переоснащення робочого місця під потреби працівника із інвалідністю; особливості інтеграції працівника із інвалідністю та вплив на колектив; питання забезпечення безпеки на робочому місці.

Брак інформації з цих питань не дозволяє роботодавцеві організувати ефективну професійну інклюзію й безпеку та підвищує вразливість працівника із інвалідністю внаслідок впливу факторів виробничого середовища та трудового процесу [5].

Тому керівнику, який приймає рішення щодо працевлаштування особи із особливими потребами, підбору та адаптації робочого місця, важливо отримувати максимально повну інформацію у контексті трудової зайнятості, оскільки її нестача призводить до зростання ступеня невизначеності процесу прийняття управлінських рішень.

Відповідно до [6], невизначеність означає сумнів, наприклад у достовірності результатів вимірювань, що обумовлюється відсутністю точного знання щодо значення величини, що вимірюється. При використанні даного терміну у контексті теорії інформації, невизначеність характеризує ситуацію браку інформації стосовно об'єкту управлінської функції. За допомогою даного терміну стандарт [7] надає визначення одному з ключових понять у сфері безпеки – терміну «ризик», який визначено як вплив невизначеності на мету. Таким чином, поняття невизначеності тісно пов'язане із питанням безпеки як у аспекті оцінки умов праці при проведенні метрологічних вимірювань, так і у ситуації прийняття управлінських рішень в умовах недостатньої інформації щодо досліджуваного об'єкта.

**Постановка задачі.** Завданням наукової статті є дослідження рівня інформаційного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень щодо зниження ризику травматизму на робочих місцях працівників із інвалідністю.

### Викладення матеріалу та результати

Травматизм на робочих місцях, відповідно до Порядку розслідування нещасних випадків [8], визначається наступними групами причин:

1) технічні причини, що обумовлені конструкцією та експлуатаційним станом виробничого обладнання та технологічного процесу;

2) організаційні причини, що характеризуються особливостями функціонування системи управління охороною праці;

3) психофізіологічні причини, викликані впливом фізіологічних та психологічних особливостей працівника.

Група технічних причин виробничого травматизму, що, в основному, характеризується станом виробничого обладнання, засобів виробництва, транспорту та середовища, може бути записана у вигляді

$$X_1 = \{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}, \quad (1)$$

де  $x_{11}$  – конструктивні недоліки, недосконалість засобів виробництва, що можуть призвести до травмування працівника, транспортних засобів;

$x_{12}$  – невідповідності технологічного процесу, що становить небезпеку для працівника;

$x_{13}$  – незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, інженерних комунікацій, території, засобів виробництва, транспортних засобів, виробничого середовища.

Група організаційних причин включає в себе недоліки функціонування системи управління охороною праці, порушення вимог безпеки, трудової та виробничої дисципліни:

$$X_2 = \{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}, \quad (2)$$

де  $x_{21}$  – недоліки функціонування системи управління охороною праці, невикористання засобів колективного чи індивідуального захисту;

$x_{22}$  – недоліки під час проведення медичного обстеження (професійного відбору) працівника;

$x_{23}$  – недоліки навчання з питань безпеки, складання інструкцій з охорони праці;

$x_{24}$  – порушення вимог безпеки, трудової та виробничої дисципліни.

Психофізіологічні причини виробничого травматизму, пов'язані із впливом людського фактора, характеризуються як:

$$X_3 = \{x_{31}, x_{32}, x_{33}\}, \quad (3)$$

де  $x_{31}$  – незадовільні фізичні чи нервово-психічні характеристики працівника;

$x_{32}$  – алкогольне, наркотичне отруєння (сп'яніння), особиста необережність;

$x_{33}$  – незадовільний мікроклімат у колективі, протиправні дії осіб.

У разі розглядання випадків травматизму за окремими групами причин як дискретних подій, що є несумісними, ймовірність настання травми за певною причиною може бути записана у вигляді

$$P\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) = \sum_{i=1}^n p(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}{N} \quad (4)$$

де  $X_i$  –  $i$ -група причин травматизму, пов'язаного із виробництвом;

$x_{ij}$  –  $j$ -й нещасний випадок за  $i$ -ю групою;

$N$  – середньоспискова чисельність працівників за галуззю, що розглядається.

Враховуючи це та використовуючи наявні статистичні дані (рис. 1), визначимо відносну ймовірність настання нещасного випадку за кожною групою як індивідуальний ризик травмування, отримуємо такі результати:

$$\begin{aligned} p_1 &= 0,95 \cdot 10^{-4}; \\ p_2 &= 6,37 \cdot 10^{-4}; \\ p_3 &= 0,84 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Ймовірність отримати травму зростає із збільшенням ступеня інформаційної невизначеності щодо небезпек, пов'язаних із технологічним обладнанням й процесами, функціонуванням системи управління охороною праці, а також психофізіологічним станом працівника.

Інформаційна невизначеність може бути виражена через ентропію за формулою К. Шеннона, за кожною групою причин

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(X_i) \log_a p(X_i), \quad (5)$$

де  $p_i$  – ймовірність настання небажаного наслідку у вигляді травмування працівника внаслідок браку інформації для прийняття управлінського рішення щодо попередження виробничого травматизму за  $i$ -ю групою причин;

$a$  – основа логарифму, що обирається залежно від кількості можливих станів (у даному випадку розглядаються два стани: отримання чи неотримання травми працівником на робочому місці).

Враховуючи це, інформаційна невизначеність, що виражена через ентропію, щодо груп причин, що призвели до нещасних випадків, відповідно становитиме:

$$\begin{aligned} H(x_1) &= 0,00127; \\ H(x_2) &= 0,00676; \\ H(x_3) &= 0,00114. \end{aligned}$$

У випадку працевлаштування працівника із інвалідністю на певне робоче місце спостерігатиметься зростання невизначеності, що обумовлюється браком інформації щодо відповідності робочого місця, технологічного процесу, факторів оточуючого середовища та ін. особливим вимогам цієї категорії працівників, які можуть бути згруповані наступним чином:

а) ступінь відповідності виробничого обладнання та трудового процесу психофізіологічним особливостям працівника із інвалідністю (у контексті невідповідності параметрів виробничого обладнання та трудового процесу);

б) здатність системи управління охороною праці забезпечити достатність організаційних заходів по забезпеченню безпеки на робочому місці працівника із інвалідністю;

в) відповідність психофізіологічного стану працівника із інвалідністю змісту виконуваної роботи.

Інвалідність працівника, що встановлюється за висновками медико-соціальної експертизи, характеризується поєднанням категорій обмеження життєдіяльності  $u_p$ , та ступеня вираженості критерію обмеження життєдіяльності  $k_j$  [9]

$$E_{pj} = \{u_p, k_j\}, \quad (6)$$

де  $u_p$  – критерій обмеження життєдіяльності, що характеризує здатність людини до самообслуговування, пересування, орієнтації, контролю своєї поведінки, спілкування, навчання, виконання трудової діяльності згідно [10];

$k_j$  – ступінь вираженості критерію обмеження життєдіяльності (I – помірно виражений, II – виражений, III – значно виражений згідно [10]).

З метою урахування обмежень життєдіяльності працівника із інвалідністю використовує інтегральний показник функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e$ , що характеризує загальний рівень обмеження життєдіяльності [9]

$$I_e = \int_{u_1}^{u_7} f(u) du. \quad (7)$$

Аналіз складових основних причин виробничого травматизму за ф-ми (1-3) показав, що вплив функціональної обмеженості життєдіяльності на зростання рівня травматизму може очікуватися за усіма групами причин виробничого травматизму. Враховуючи це, запишемо ймовірність настання нещасного випадку за ф-ю (5) у вигляді

$$P(X) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}}{N_1 + \sum_{k=1}^p I_{e_k} N_{2k}}, \quad (8)$$

де  $N_1$  – чисельність працівників без стійких функціональних змін у стані здоров'я;

$N_{2k}$  – чисельність працівників із інвалідністю  $k$ -ї групи за інтегральним показником функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e$ .

Враховуючи те, що, згідно статистичних даних, в Україні понад 14 % населення працездатного віку мають інвалідність, та використовуючи вираз (8), визначимо ймовірність настання нещасного випадку у випадку, за якого із загальної чисельності працівників галузі 10 % мають інвалідність III групи. Приймаємо інтегральний показник функціональної обмеженості життєдіяльності  $I_e = 0,8$ . За таких умов ймовірність настання нещасного випадку із отриманням травми становитиме:

$$\begin{aligned} p_1 &= 1,03 \cdot 10^{-4}; \\ p_2 &= 6,92 \cdot 10^{-4}; \\ p_3 &= 0,94 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

В реальних умовах на підприємствах можуть бути працевлаштовані працівники не лише III, але й II групи інвалідності, що збільшує ймовірність травматизму.

Інформаційна невизначеність настання нещасного випадку, виражена через ентропію, відповідно становитиме:

$$\begin{aligned} H(x_1) &= 0,00136; \\ H(x_2) &= 0,00726; \\ H(x_3) &= 0,00126. \end{aligned}$$

Таким чином, врахування функціональних обмежень життєдіяльності працівників призвело до зростання рівня невизначеності стосовно організації безпеки праці на робочих місцях працівників із інвалідністю. При проведенні аналізу робочих місць показник ентропії дозволяє у зручній для особи, яка приймає рішення, формі отримати інформацію для вирішення питання щодо пріоритетності аналізу стану безпеки та впровадження відповідних заходів з охорони праці.

### Висновки та напрямки подальших досліджень

Внаслідок наявності хронічного захворювання, вроджених вад, нещасного випадку людина може отримати стійкі функціональні зміни у стані здоров'я. При прийнятті на роботу особи із інвалідністю

перед роботодавцем постає питання забезпечення належного рівня безпеки працівника та мінімізації ризиків, пов'язаних із виконанням працівником професійних завдань. Це може розглядатися як приклад прийняття рішення в умовах невизначеності, що істотно впливає на рівень безпеки на окремому робочому місці, у структурному підрозділі і, навіть, на рівні підприємства.

З метою визначення пріоритетності завдань щодо попередження виробничого травматизму на робочих місцях працівників із інвалідністю у статті запропоновано використовувати інформаційну ентропію як показник, що характеризує невизначеність стану безпеки на робочому місці. За значенням ентропії роботодавець може приймати обґрунтовані рішення щодо пріоритетності напрямів вдосконалення охорони праці на підприємстві.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні»: станом на 20 січ. 2018 р. / Верховна Рада України, <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.
2. Офіційний сайт Державної служби статистики України, <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Закон України «Про охорону праці»: станом на 20 січ. 2018 р., <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/875-12>.
4. Bonaccio S. (2019) The Participation of People with Disabilities in the Workplace Across the Employment Cycle: Employer Concerns and Research Evidence / S. Bonaccio, C. E. Connelly, I. R. Gellatly // Journal of Business and Psychology. – 2019. – Volume 34. – pp. 1-24.
5. Breslin F. C. Examining occupational health and safety vulnerability among Canadian workers with disabilities / F. C. Breslin, A. M. Lay, A. Jetha, P. Smith // Disability and Rehabilitation Journal. – 2018. – Volume 40, issue 18. – pp. 2138-2143.
6. Uncertainty of measurement ISO/IEC GUIDE 98-3:2008(E), <https://www.sis.se/api/document/preview/910301/>.
7. Risk management — Guidelines ISO 31000:2018, <https://pecb.com/whitepaper/iso-310002018-risk-management-guidelines>.
8. Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1232-2011-%D0%BF>.
9. Данова К.В. Функціональні обмеження осіб із інвалідністю в аспекті оцінки рівня працездатності та безпеки праці / К.В. Данова // Комунальне господарство міст. – Вип. 146. – С. 133-137.
10. Питання медико-соціальної експертизи, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1317-2009-%D0%BF/page>.

Received (Надійшла) 11.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.02.2020

### Information entropy as an indicator of indefiniteness in ensuring of safety at workplaces for disabled persons

K. Danova, V. Malisheva

**Abstract. Purpose.** Analysis of the possibility of using informational entropy as an indicator characterizing the indefiniteness in making managerial decisions about the employment of a person who has stable functional changes in the state of health at the workplace. According to the indicator of informational indefiniteness, the person who makes managerial decisions has the opportunity to determine the necessity and sufficiency of organizational and technical solutions for adapting the workplace taking into account the limitations of vital activity of an employee with a disability. **Research Methodology.** The methodology is based on the analysis of available statistical information about the causes of injuries associated with production at the enterprises of the processing industry to determine the probability of an accident for each group as an individual risk of injury. Based on this, the informational entropy is determined. It is proposed to take into account the health status of persons with disabilities by the integrated indicator of functional limitations of vital activity, which affects at the value of information entropy, and provides the ability to make effective management decisions to reduce it and increase the level of occupational safety at the workplaces of workers with disabilities and the enterprise as a whole. **Scientific novelty.** It consists in developing an approach to making managerial decisions to ensure the occupational safety of workers with disabilities at the enterprise based on taking into account their special needs using the integral indicator of functional limitations of vital activity, that affects on the level of information entropy, which reflects the effectiveness of the implementation of issues of ensuring safety at the workplaces of this category of workers. **Practical value.** It consists in providing to the decision-maker the information base for developing effective actions for selecting and adapting a workplace in accordance with the needs of an employee who has stable functional changes in his state in order to prevent an increase of the level of occupational injuries. Reducing the risk of injury of workers with disabilities will enhance the positive attitude towards the problem of employment of this category of the population by employers, and will allow to obtain a significant socio-economic effect at the state level.

**Keywords:** entropy, indefiniteness, risk, employee, disability, trauma, safety.

О. М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ ТА ЕКРАНЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Анотація.** В умовах складної електромагнітної обстановки, що формується за рахунок впливу зовнішніх та внутрішніх джерел, а також внаслідок широкого застосування бездротових систем передачі інформації, завдання, пов'язані із застосуванням екрануючих конструкцій значно ускладнюються. Зокрема, необхідність забезпечення стабільної роботи мобільного зв'язку накладає певні обмеження на коефіцієнти екранування захисних матеріалів. Це потребує визначення загальних підходів до запровадження екранування на принципах розумної достатності, враховуючи як захист людей від електромагнітних впливів, так і виробничі потреби. Встановлено, що необхідним є розроблення схеми проектування електромагнітних екранів з урахуванням складності електромагнітної обстановки. Мета роботи – розроблення загальних засад проектування екрануючих матеріалів та конструкцій з урахуванням гранично допустимих рівнів магнітних та електромагнітних полів різного походження. Обґрунтовано, що для проектування магнітних та електромагнітних екранів доцільно використати експериментальні дані щодо залежності коефіцієнтів екранування від товщини захисного матеріалу, вмісту екрануючої металеві та металовмісної субстанції у полімерній матриці тощо. Визначено коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти, електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц та геомагнітного поля композиційними металополімерними матеріалами різної товщини та характеристик. Встановлено, що оптимізація параметрів матеріалів щодо впливів полів цих трьох походжень неможлива. Наведено схему, яка може бути використана за наявності електромагнітних полів різного походження та широкого частотного спектра. Але передумовою таких робіт є проведення моніторингу електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях з визначенням амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів різного походження. Здійснення проектних та впроваджувальних робіт за розробленою схемою є найбільш доцільним підходом щодо проектування захисних матеріалів та екрануючих конструкцій. Такий підхід мінімізує витрати часу та коштів на роботи з електромагнітної безпеки.

**Ключові слова:** електромагнітне поле; електромагнітна обстановка; коефіцієнт екранування; амплітудно-частотні залежності; екрануючі матеріали.

### Вступ

Розвиток галузі розроблення та застосування матеріалів для екранування електромагнітних полів дозволяє створювати екранувальні конструкції, які ефективно захищають виробниче й побутове середовище від впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів. Але в умовах складної електромагнітної обстановки, що формується за рахунок впливу зовнішніх та внутрішніх джерел, широкого застосування бездротових систем передачі інформації, задачі, пов'язані із застосуванням екрануючих конструкцій значно ускладнюються. Зокрема, необхідність забезпечення стабільної роботи мобільного зв'язку накладає певні обмеження на коефіцієнти екранування захисних матеріалів. Це потребує визначення загальних підходів до запровадження екранування на принципах розумної достатності з урахуванням як потреб захисту людей від електромагнітних впливів, так і виробничих потреб.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість досліджень щодо створення матеріалів для екранування електромагнітних полів мають конкретне спрямування, тобто призначені для захисту від поля визначеної частоти (смуги частот) або певного джерела. Так, роботу [1] присвячено дослідженню екранування магнітного поля промислової частоти сітчастими структурами. У роботі [2] розроблено засіб захисту від впливу електромагнітних полів засобів обчислювальної техніки. У статті [3] наведено результати розроблення та дослідження захисних властивостей тканини для екранування електромаг-

нітних полів ультрависокої частоти. Більш універсальний захисний екран пропонується у роботі [4].

Застосування феромагнітних наноконструкцій дозволяє отримати прийнятні коефіцієнти екранування як магнітного поля промислової частоти, так і електромагнітного поля ультрависокої частоти. Усі розглянуті дослідження спрямовані на отримання максимальних коефіцієнтів екранування.

Але у багатьох випадках великі значення цих коефіцієнтів є надлишковими. Наприклад, напруженості магнітного поля промислової частоти майже ніколи не перевищує гранично допустимий рівень у 2-3 рази. А щільність потоку енергії обладнання мобільного зв'язку ніколи не досягає такого рівня ( $10 \text{ мкВт/см}^2$ ) у зонах можливого перебування людей. В той же час у багатьох випадках критичними є коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль, що важливо для забезпечення електромагнітної сумісності електронного обладнання [5], при цьому існує чинний міжнародний норматив [6], який забороняє зниження напруженості природного магнітного поля у виробничих умовах більше, ніж удвічі. Відомо, що майже повну напруженість геомагнітного поля у середніх широтах складає горизонтальна складова, що накладає обмеження на екранування стін приміщень. Тому розроблення захисних матеріалів та екранувальних конструкцій з них повинно бути певним чином алгоритмізоване з урахуванням усіх критичних факторів впливу на електромагнітну обстановку.

Алгоритм, наведений у [7], не враховує необхідності забезпечення мінімально допустимого сиг-

налу базових станцій мобільного зв'язку та граничного рівня геомагнітного поля.

Таким чином, необхідним є розроблення схеми проектування електромагнітних екранів з урахуванням складності електромагнітної обстановки, що потребує наявності достовірних експериментальних даних щодо коефіцієнтів екранування поверхонь різних конструкцій.

**Мета роботи** – розроблення загальних засад проектування екрануючих матеріалів та конструкцій з урахуванням гранично допустимих рівнів магнітних та електромагнітних полів різного походження.

### Виклад основного матеріалу

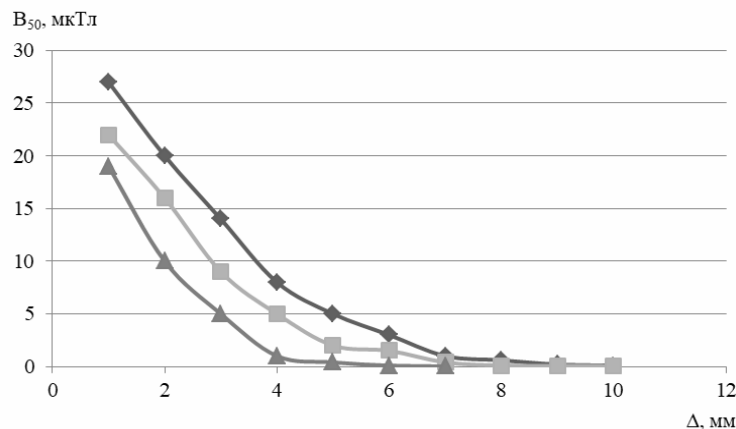
Навіть для добре досліджених з точки зору електромагнітної безпеки металевих матеріалів та наявності відповідного математичного апарату, вибір товщини екрана не можна зробити однозначним. Так, для феромагнітного матеріалу товщина стіни визначається частотою електромагнітного поля, електрофізичними й магнітними властивостями матеріалу, заданою ефективністю екранування тощо. При цьому слід врахувати наступне: зі зростанням частоти поля знижується магнітна проникність матеріалу, у феромагнітних матеріалах під впливом високочастотного магнітного поля проявляється поверхневий ефект, що потребує збільшення товщини стінки. Принциповим недоліком металевих екранів є великі коефіцієнти відбиття, що має наслідком відбиття електромагнітних хвиль у небажаних напрямках. Це небажано як з точки зору електромагнітної безпеки, так і електромагнітної сучасності обладнання.

Таких недоліків позбавлені композиційні метало-полімерні матеріали. Але розрахунковий метод раціоналізації параметрів таких матеріалів проблематичний.

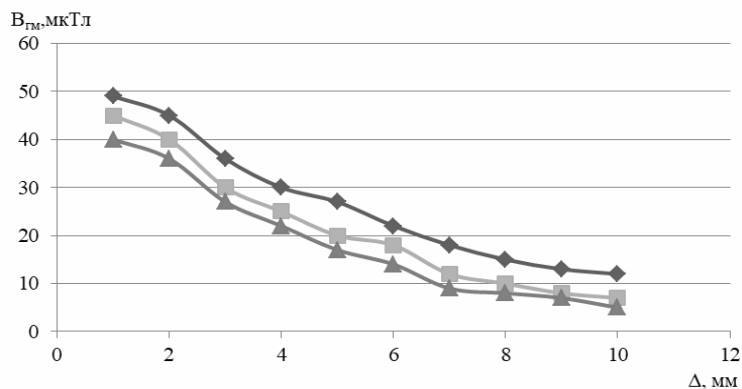
Існуючий математичний апарат, отриманий виходячи зі співвідношень електродинаміки суцільних середовищ, базується на експериментальних даних (провідність, діелектрична та магнітна проникність) і добре розроблений для екранів сферичної та циліндричної форм. Тому, для проектування магнітних та електромагнітних екранів доцільно використати експериментальні дані щодо залежності коефіцієнтів екранування від товщини захисного матеріалу, вмісту екрануючої металевої та металовмісної субстанції у полімерній матриці тощо. Було визначено коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти, електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц та геомагнітного поля композиційними метало-полімерними матеріалами різних товщин та характеристик (рис. 1).

Дані, наведені на рисунках, свідчать, що оптимізація параметрів матеріалів щодо впливів полів цих трьох походжень неможлива. У першу чергу це пояснюється тим, що магнітне поле промислової частоти має максимальне гранично допустиме значення, а геомагнітне – мінімально допустиме.

Щодо одночасного екранування магнітного поля промислової частоти та електромагнітного поля ультрависокої частоти, то виходячи з того, що для останнього існує нижня прийнятна межа інтенсивності, керуватися потрібно гранично допустимим рівнем поля промислової частоти.



а



б

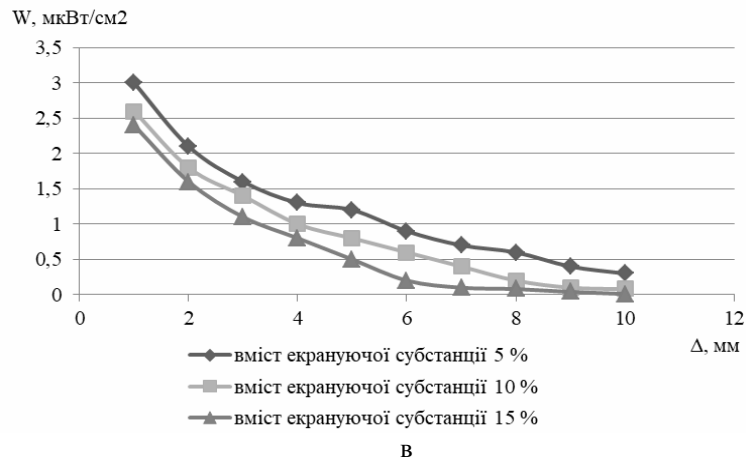


Рис. 1. Залежність ефективності екранування від товщини екрана та вмісту екрануючої субстанції: а – магнітне поле промислової частоти; б – геомагнітне поле; в – електромагнітне поле частотою 1,8 ГГц

У випадку, що відповідає даним рис. 1, вимогам щодо магнітного поля відповідає екран товщиною 8 мм та вмістом екрануючої субстанції 5 % і відповідно: 7 мм – 10 %; 5 мм – 15 %.

При цьому щільність потоку енергії електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц не знижується нижче за  $0,4 \text{ мкВт/см}^2$ .

Тому у даному випадку при обиранні параметрів захисного матеріалу слід керуватися вимогами до безпечного рівня магнітного поля та економічними міркуваннями.

Але наведені ступені екранування геомагнітного поля отримані в лабораторних умовах для суцільного екрана, який є обов'язковим для стаціонарних та квазістаціонарних магнітних полів.

У реальних умовах найбільша за модулем складова магнітного поля (біля 40 мкТл) має напрямки силових ліній геомагнітного поля з півночі на південь. Тобто за іншої орієнтації плоского екрана зниження рівня природного магнітного поля буде набагато нижчим. Таким чином, ступені екранування геомагнітного поля враховуються після визначення позиціонування екрана для екранування технічного низькочастотного магнітного поля. У випадку, що розглядається для цього достатньо застосувати матеріал завтовшки 4 мм зі вмістом екрануючої субстанції 15 % або 7 мм зі вмістом екрануючої субстанції 5 %.

Як зазначалося вище, електромагнітні випромінювання частот мобільного зв'язку ніколи не досягають максимального допустимого значення, але, як показано у [7], за щільностей потоків енергії  $0,15\text{--}0,20 \text{ мкВт/см}^2$  з боку базових станцій мобільного зв'язку різко підвищуються рівні випромінювань самих мобільних телефонів, тобто існує нижня межа, до якої можна екранувати зовнішні випромінювання.

Таким чином, можлива певна раціоналізація ефективності екрана, яка полягає у обиранні меж параметрів матеріалу, які забезпечують прийнятну електромагнітну обстановку. У таких умовах найбільш доцільним є проектування та впровадження екранування магнітних та електромагнітних полів за певною схемою (рис. 2).



Рис. 2. Схема проектування та впровадження екранування магнітних та електромагнітних полів у виробничих приміщеннях

Наведений порядок може бути використаний за наявності електромагнітних полів іншого походження та широкого частотного спектра.

Ефективність матеріалу може бути розрахована, виходячи з експериментальних даних та екстраполяцій, наведених у роботі [5]. Передумовою таких робіт є проведення моніторингу електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях з визначенням амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів різного походження.

### Висновки

1. В умовах впливу на електромагнітну обстановку у виробничому та побутовому середовищі джерел полів різного походження здійснення екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів потребує певної раціоналізації.

2. Особливістю формування електромагнітного поля та підходів до його екранування є наявність як максимального гранично допустимого рівня (магнітне поле промислової частоти), так і мінімально допустимих рівнів (геомагнітне поле, електромагнітне поле засобів мобільного зв'язку), що обумовлює можливість обирання тільки певного інтервалу захисних властивостей (параметри) екрануючих конструкцій, у межах яких показники за рівнями полів різного походження є прийнятними.

3. Найбільш доцільним підходом до проектування захисних матеріалів та екрануючих конструкцій є здійснення проектних та впроваджувальних робіт за розроблення алгоритмом. Такий підхід мінімізує витрати часу та коштів на роботи пов'язані з електромагнітною безпекою.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Grinchenko V. S. Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. Vol. 2018, Issue 4. P. 29–32. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.029>
2. Singh J. Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015. Vol. 3, Issue 10. P. 10022–10027.
3. Ахмед А.А.А., Пулко Т.А., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Гибкие многослойные конструкции экранов электромагнитного излучения. Доклады БГУИР. 2015. № 5(91). С. 95–99.
4. Glyva V. A., Podoltsev A. D., Bolibrukh B.V., Radionov A. V. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. Vol. 2018, Issue 4. P. 14–18. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>
5. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O. et. al. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Issue 5 (95). P. 10–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>
6. Подобед І. М., Глива В. А., Левченко Л. О. Шляхи вдосконалення нормативної бази з електромагнітної безпеки та магнітної сумісності технічних засобів в умовах підвищення енергонасиченості будівель і споруд. Гігієна населених місць. 2012. Вип. 28. С. 171–175.
7. Тихенко О.М. Методи захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких та вищих частот. Проблеми охорони праці в Україні. 2016. Вип. 32. С. 43–48.

Received (Надійшла) 28.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### General principles of design of electromagnetic screens and screening structures

O. Tykhenko

**Abstract.** Under the complex electromagnetic environment created by external and internal sources, as well as the widespread use of wireless information transmission systems, the issues of shielding structures application are complicated. In particular, the need to ensure the stable operation of cell communications imposes certain restrictions on the shielding factors of protective materials. This requires determination of the common approaches to reasonable screening, taking into account both the protection of people from electromagnetic exposure and production needs. It is established that it is necessary to develop the pattern of electromagnetic screens designing taking into account the complexity of the electromagnetic environment. The purpose of the work is to develop general principles for the design of shielding materials and structures, taking into account the maximum permissible impact levels of magnetic and electromagnetic fields of different origin. The use of experimental data, regarding the dependence of the shielding factors on the thickness of the protective material, the content of the shielding metal and metal-containing substance in the polymer matrix and the like, is substantiated and recommended for the design of magnetic and electromagnetic screens. The shielding factors of composite metal-polymer materials of different thickness and characteristics were determined for the industrial frequency magnetic field, electromagnetic field with a frequency of 1.8 GHz and geomagnetic field. The optimization of material parameters with respect to the effects of the fields of these three origins is defined to be impossible. The scheme which can be used in the presence of electromagnetic fields of different origin and wide frequency spectrum is presented. However, the prerequisite of such work is the monitoring of the electromagnetic environment in the production premises with the determination of the amplitude-frequency characteristics of electromagnetic fields of different origin. The design and implementation of protective materials and shielding structures based on the developed pattern is the most appropriate approach. This approach minimizes the time and expense involved in the work on electromagnetic safety.

**Keywords:** electromagnetic field; electromagnetic environment; shielding factor; amplitude-frequency dependencies; shielding materials.

О. В. Третяков<sup>1</sup>, Б. К. Гармаш<sup>1</sup>, Б. Д. Халмурадов<sup>2</sup>, Є. С. Білецька<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПРАЦІ ОКРЕМИХ КАТЕГОРІЙ ПРАЦІВНИКІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

**Анотація.** В даній статті розглянуті питання щодо аналізу принципів, методів і критеріїв оцінки ризику. Дано визначення поняття професійного ризику, як нанесення шкоди здоров'ю людини умовами професійної діяльності. Встановлено, що основним напрямком підвищення безпеки умов праці є системний підхід, заснований на аналізі та оцінці ризиків, обумовлених специфікою процесів у транспортній галузі. Виявлено об'єктивні закономірності виникнення небезпек у професійній діяльності працівників залізничного транспорту. Сучасна тенденція глобалізації світової економіки та регіональної інтеграції підвищила необхідність у співпраці між різними країнами, оскільки об'єктивно існують спільні цілі і підходи в сфері промислової безпеки та гігієни праці, необхідність взаємодії між професійною безпекою і змінами в навколишньому середовищі, а також між гігієною і продуктивністю праці. Метою такої системної політики є попередження нещасних випадків і професійних захворювань працівників в результаті виникнення небезпечних ситуацій і аварій на транспорті. **Отримано** єдиний підхід до розрахунку виробничого ризику в залежності від параметрів робочої зони з урахуванням часу перебування працюючих у зоні дії небезпечних факторів, який не потребує введення множини шкал для характеристики якості середовища. На основі алгоритму перетворення параметрів середовища в показник виробничого ризику був проведений аналіз карт умов праці за результатами атестації робочих місць регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Українська залізниця». Отримані показники інтегрального ризику свідчать про суб'єктивність оцінки фактичних умов та характеру праці згідно існуючого законодавства. Виявлено протиріччя українського законодавства світовим нормам щодо охорони здоров'я та безпеки праці для створення контрольованих умов, які мінімізують можливі наслідки шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища та трудового процесу. **Запропоновано** метод визначення рівня безпеки для працівників у робочій зоні за умов сумісної дії шкідливих факторів різних класів, який передбачає, що отримані на основі ризик-орієнтованого підходу залежності можна застосовувати для атестації робочих місць, при визначенні пріоритету щодо заходів з охорони праці з урахуванням рівня виробничого і професійного ризиків.

**Ключові слова:** транспорт, професійний ризик, виробничий ризик, шкідливий фактор, небезпечний фактор, професійна безпека та здоров'я, охорона праці, гігієнічний норматив.

### Вступ

При інтеграції в світове співтовариство, розробка і реалізація основних положень гармонізації принципів, методів і критеріїв оцінки ризику для здоров'я працівників з міжнародними підходами є необхідною умовою забезпечення соціально-економічного розвитку держави [1]. Це дозволить перейти до гармонізації гігієнічних нормативів, розроблених на базі критеріїв ризику для здоров'я, України та країн Європейського Союзу. В документах Європейської комісії підкреслюється, що науково обгрунтована оцінка ризику відіграє виняткову роль при підготовці та удосконаленні законодавства в сфері захисту прав громадян і особливо їх здоров'я [3, 4]. Особливо виділяється положення про те, що проведення оцінки ризику відповідно до міжнародно-визнаних процедур дає підставу для захисту власних прав громадян у судовому порядку [2].

Охорона праці має бути одним з найважливіших завдань соціально-економічної політики держави, а також окремого підприємства або організації. Заходи щодо поліпшення умов праці для попередження виробничого травматизму і професійних захворювань в умовах сучасного виробництва виявились неефективними. Необхідне здійснення комплексного аналізу умов праці, а також створення підсистеми управління безпекою праці на основі проектних підходів в загальній системі керування виробництвом [6]. Управління проектами з охорони

праці включає до себе планування, прийняття рішень та реалізацію заходів, які спрямовані на забезпечення безпеки, збереження здоров'я і працездатності людини безпосередньо в процесі праці [7]. Отже, маємо в наявності множини факторів виробничого середовища, які є передумовою щодо створення задачі для визначення інтегрального показника рівня безпеки для працівників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поняття «ризик» не має однозначного визначення. Відсутня загально визнана система термінів у оцінюванні ризику. Найчастіше застосовують поняття «небезпека» і «ризик». Джерелом безпеки і ризику для здоров'я людини можуть бути суспільство, навколишнє середовище і техніка разом або кожний із цих факторів окремо, тобто можна відокремити джерела безпеки і ризику природного, соціального або природно-соціального розвитку [3].

За ступенем припустимості ризик буває надмірним, гранично допустимим, таким, яким можна знехтувати [4]. Як свідчить практика, досягти абсолютної безпеки - нульового ризику, неможливо. На теперішній час найбільше поширення отримала концепція допустимого (прийнятого) ризику. Суть даної концепції полягає у створенні такого рівня безпеки, який суспільство може прийняти, тобто економічно виправдати. Допустимий ризик визначається як такий, що реально існує у певному виді діяльності, і який не утримує обізану людину від дій, пов'язаних із імовірною небезпекою. Таким



чином, можна визначити допустимий ризик, як компроміс між рівнем безпеки та реалізацією політичних, соціальних, економічних і технічних можливостей держави.

Система управління охороною праці, політика підприємства в галузі охорони праці представляє собою складний вид проектно-орієнтованої діяльності в системі «людина – машина – робоча зона». Ознаками такої діяльності можуть бути мета, тобто рівень виробничої безпеки, і певні терміни виконання (початок і закінчення), а також встановлені фінансові, матеріальні та трудові ресурси; процеси, заходи та операції, які необхідні для досягнення мети [11].

Але проекти з охорони праці мають свої відмінності. Безпека, а це цільова функція проекту, по суті, не пов'язана з прибутком від виготовлення та реалізації продукту або надання послуги. Спосіб утворення небезпечних факторів та властивості чинників шкідливого впливу є унікальним для окремого виробничого середовища або трудового процесу. Щодо умов реалізації проектів з охорони праці, то вони, спрямовані на забезпечення безпеки працівників у процесі праці.

Теоретичною базою щодо формування концепції безпеки в організаційно-технічних системах є аксіома про потенційну небезпеку, закон Вебера-Фехнера, принцип мінімуму Лібіха, закон толерантності Шелфорда, принцип Фармера [8]. Для визначення ризику скорочення тривалості життя при дії шкідливих факторів у робочій зоні підприємств беремо за основу закон Вебера-Фехнера [8]. Інші підходи оцінки ризику розглянуті в роботах [10, 11 – 13]. Рівень впливу факторів середовища на стан людей можна визначити за допомогою даних у формі залежності «доза – ефект» [10]. В охороні праці взагалі деякий продукт або послуга, що характеризуються ціною і мірою ризику, і є результатом проектів.

В основному, оцінка ризику проводиться імовірнісною характеристикою і є безрозмірною величиною від 0 до 1. Але можливе використання і частоти реалізації ризику, яка є числом випадків можливого прояву небезпеки за певний період часу. Якщо, наприклад, число випадків можливого прояву небезпеки на рік, тоді одиниці виміру ризику можуть бути такими – [1/рік] або [людей/рік].

На даний час, існують дві давно сформовані точки зору на ризик. Теоретичний ризик є першою точкою зору на ризик, яка базується на наукових і технічних оцінках. Відповідно, іншою точкою зору на ризик, яка залежить від людського сприйняття ризику, є так званий ефективний ризик [11].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Розробка методу визначення рівня небезпеки для працівників у робочій зоні за умов сумісної дії шкідливих факторів різних класів.

### Основний матеріал

Небезпеки за своїм проявом мають потенційний, тобто скритий характер. Причинами є умови, при яких реалізуються потенційні небезпеки. Зага-

лом, вони характеризують сукупність обставин, через які проявляються небезпеки, а отже викликають ті чи інші небажані наслідки або наносять шкоду. За формою шкода або небажані наслідки мають різноманітний прояв. Це травми різної важкості, захворювання, які визначаються сучасними методами, шкода довкіллю тощо. Отже, послідовність «небезпека – причини – небажані наслідки» являє собою логічний процес розвитку, що реалізує потенційну небезпеку у реальні наслідки. «Життєдіяльність людини потенційно небезпечна» - це аксіома, яка ілюструє наявність потенційних небезпек.

Об'єктом аналізу небезпек є система «людина – машина – навколишнє середовище», де об'єднуються технічні об'єкти, люди і навколишнє середовище, які взаємодіють між собою. Під потенційною небезпекою або шкідливістю виробничих процесів мають на увазі наявність небезпечних і шкідливих факторів, які діючи на людину можуть призвести до виробничої травми або професійного захворювання.

Існуючі методи визначення рівня небезпеки від сумісної дії шкідливих факторів у виробничих умовах засновані на принципі мінімуму Лібіха, але його недоліком є урахування факторів, що мають максимальний вплив [8,9]. Але існують інші фактори, які не мають перевищення допустимих нормативів, хоча теж суттєво впливають на стан здоров'я працівників. Таке протиріччя можна усунути засобом впровадження ймовірнісних оцінок рівня небезпеки виробничого середовища. Пропонується визначення рівня небезпеки у робочій зоні за допомогою функції ризику, що дозволить автоматизувати процес атестації робочих місць [10].

Формою вираження теоретичного ризику є статистичний показник, зведений до ймовірності деякої небажаної події. Надалі ймовірність такої події, деяка оцінка очікуваної шкоди об'єднуються в один показник, а отже, комбінуються набір ймовірностей ризику і шкоди або винагороди. В статистичній теорії прийняття рішень, функцію ризику оцінки  $\delta(x)$  для параметра  $\theta$ , що обчислена при деяких спостережуваних параметрах  $x$ , визначають як математичне очікування функції втрат  $L(\theta, \delta(x))$ :

$$R(\theta) = \int L(\theta, \delta(x)) \cdot f(x|\theta) dx, \quad (1)$$

де  $L(\theta, \delta(x))$  – функція втрат від параметра оцінки  $\theta$  і значення оцінки  $\delta(x)$ ;

$f(x|\theta)$  – ймовірність небажаної події.

На практиці, як правило, використовують окремі форми виразу (1). По суті, їх метою є істотне спрощення залежності, при врахуванні конкретних умов виконання оцінки ризику. Таким чином, ймовірність небажаної події можна визначити через часту реалізації небезпек:

$$P = f(x|\theta) = \frac{N(t)}{Q(x)}, \quad (2)$$

де  $N(t)$  – число небажаних подій за час  $t$ ;  $Q(x)$  – загальне число подій у системі.

Оцінки ризику у робочій зоні за умов впливу факторів середовища виконуються, як правило, із припущенням, що рівень забруднення відомий [11]. Це означає, що подія забруднення вже відбулась, тобто  $P = 1$ .

Зазвичай, для функції втрат  $L(\theta, \delta(x))$  приймають деяку вартісну міру одиниці ризику, що характеризує наслідки якої-небудь події. З точки зору роботодавця вартісна міра ризику прийматиметься такою, що дорівнює розміру п'ятирічного заробітку працівника, згідно до законодавства. Встановлення подібної вартісної оцінки може бути доречним і для інших рівнів тяжкості небажаних подій.

Відповідно до закону Вебера-Фехнера, при забрудненні атмосферного повітря в загальному випадку, має місце існування деякої функціональної залежності між рівнем забруднення, відчуттям і ризиком:

$$r = \frac{1}{k} \cdot \lg \frac{C}{C_0}, \quad (3)$$

де  $r$  – рівень ризику;  $C$  – концентрація шкідливих речовин в повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $C_0$  – найменша концентрація, при якій відчувається дія.

Якщо взяти за основу нормативні показники, які визначаються експериментально для кожної окремої речовини, можна встановити дві закріплені точки залежності (3). Виконаємо заміну  $1/k$  на  $\lambda$  для спрощення перетворень:

$$\begin{cases} 1 \cdot 10^{-6} = \lambda \cdot \lg(GDK_{CD}/C_0); \\ 0,5 = \lambda \cdot \lg(LK_{50}/C_0); \\ r = \lambda \cdot \lg(C/C_0). \end{cases} \quad (4)$$

Розв'язання системи рівнянь (4) для концентрацій забруднюючих речовин, що перевищують  $GDK_{CD}$  матиме такий вигляд:

$$\lambda = \frac{0,5 - 1 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{LK_{50}}{GDK_{CD}}}, \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{GDK_{CD}}{10^{0,5 - 10^{-6} \lg \frac{LK_{50}}{GDK_{CD}}}}$$

$$r = (0,5 - 10^{-6}) \cdot \left( \frac{\lg \frac{C}{GDK_{CD}}}{\lg \frac{LK_{50}}{GDK_{CD}}} + \frac{10^{-6}}{0,5 - 10^{-6}} \right). \quad (6)$$

$$r = \frac{0,5 - 1 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{LK_{50}}{GDK_{CD}}} \lg \frac{C}{GDK_{CD}} + 1 \cdot 10^{-6}. \quad (7)$$

Підтвердження тому, що наслідки дії хімічних факторів на людину в процесі її трудової діяльності, відповідають закону Вебера-Фехнера, знайдено у

рівняннях (5) – (7). Відмінність (6) від класичного виразу для залежності Вебера-Фехнера полягає в тому, що (6) містить вільний член  $10^{-6}$ , який характеризує верхню границю дії. Іншою відмінністю виразу (6) є введення нормування ризику в координатах  $LK_{50}$  і  $GDK_{CD}$ , яке дозволить обчислити тангенс кута нахилу лінійної залежності ризику від логарифма нормованого відносно  $GDK_{CD}$  діючої речовини. Загалом, отримана залежність (6) є узагальненням закону Вебера-Фехнера в частині дії хімічних речовин на організм людини.

Аналогічним чином визначаємо залежності ризику для шуму, іонізуючого випромінювання та електромагнітних коливань для розрахування потенційного ризику при дії різномірних факторів (табл. 1).

При оцінці рівня небезпеки основною дією є перетворення інформації про декотру властивість параметрів середовища у показники ризику. Але на цій стадії виникає складність, яка пов'язана з тим, що попередні дослідження характеру дії шкідливих речовин і інших факторів проводилися без урахування взаємного впливу факторів. Тому питання про перетворення «доза – ефект», має вирішуватися, виходячи з наявних експериментальних даних табл. 1. Таким чином, вказане перетворення може здійснюватися відносно кожної елементарної властивості з подальшим зведенням окремих показників до єдиного критерію якості системи в цілому. Але у загальному випадку, розглядаючи характер причинно-наслідкового зв'язку в послідовності «дія – відчуття – реакція», це не має принципового значення.

Далі розглянемо алгоритм перетворення параметрів середовища в показник виробничого ризику. Вирази для розрахунку потенційного ризику при дії різномірних факторів приведені в табл. 2. Вибір коефіцієнтів  $b$  відбувається для кожної діючої речовини, аналогічно коефіцієнт  $k$  – для відповідного інтервалу частот електромагнітних коливань.

Відповідно, за умов, при яких значення фактора має менше значення від прийнятного нормативного, величину ризику можна розрахувати із припущенням, що зміна його величини від значення фактора є лінійною:

$$r_i = \alpha \cdot F, \quad (8)$$

де  $\alpha = 10^{-6}/GDP$ ;  $F$  – величина фактора,  $F < GDP$ .

Надалі, проводиться розрахунок сумарного ризику в такій послідовності. Насамперед розраховуються значення величини річного ризику для кожного фактора  $r_i$ , а потім обчислюється величина інтегрального ризику:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i), \quad (9)$$

Отже, все вищенаведене свідчить про отримання єдиного підходу до розрахунку оцінки параметрів робочої зони, який не потребує введення множини шкал для характеристики якості середовища. Загалом, використання оцінки у вигляді відношення двох величин еквівалентно переходу від інтенсивності до екстенсивної характеристики впливу.

Таблиця 1 – Розрахунок потенційного ризику при дії різнорідних факторів

Параметри якості середовища	Одиниці вимірювання	Норматив прийняттого рівня	Надмірний рівень	Формула для розрахунку ризику
Хімічні речовини	мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>ср</sub> , залежить від речовини	ЛК <sub>50</sub>	$r = 10^{-6} + b \cdot \lg(C/ГДК)$
Шум	дБА	ГДР	130 дБА	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg(I/I_0)$
Іонізуюче випромінювання	мЗв рік <sup>-1</sup>	Ліміт дози, ГДР=20	> 50	$r = 10^{-6} + 0,358 \cdot \lg \frac{D_E}{ГДР}$
Електромагнітні коливання	Вт/м <sup>2</sup>	ГДЕЕ, залежить від частоти	> 500	$r = 10^{-6} + k \cdot \lg(E/ГДЕЕ)$

Таблиця 2 – Розрахунок оцінки параметрів робочої зони

№ з/п	Робоче місце, професія, цех (дільниця, відділ)	Клас умов праці	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДК), (ГДР)	Фактичне значення	Потенційний ризик, r <sub>б</sub>	Інтегральний ризик, R
1	Електрогазоварник, механічні майстерні (приміщення)	3.1	Шкідливі хімічні речовини (марганець)	0,2	0,31	0,02164	0,204081
			Пил фіброгенної дії (заліза оксид)	6	6,5	0,004434	
			Інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	до 140	223	0,182853	
2	Електрогазоварник, механічні майстерні (вулиця)	3.1	Шкідливі хімічні речовини, марганець	0,2	0,33	0,024727	0,223607
			Пил фіброгенної дії, заліза оксид	6	6,3	0,002703	
			Інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	до 140	234	0,201765	
3	Машиніст незнімної дрезини АГД 1А, механічні майстерні	3.2	Шум, дБА	80	83	0,000609	0,000609
4	Коваль ручного кування, цех механічних майстерень, кузня	3.3	Шум, дБА	75	92	0,003373	0,326984
			Інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	до 140	320	0,324706	
5	Тракторист, механічні майстерні	3.2	Пил фіброгенної дії	4	4,3	0,003834	0,005402
			Шум, дБА	80	88	0,001574	
6	Машиніст залізнично-будівельної машини ПМГ, механічні майстерні	3.2	Шум, дБА	80	85	0,001001	0,001001

Також відомо, що доза є інтегральною величиною і визначається з урахуванням часу дії. Отримані залежності при застосуванні для атестації робочих місць значно полегшать оцінку факторів виробничого середовища і трудового процесу. Також, із урахуванням взаємного впливу факторів можна визначити пріоритетність заходів з охорони праці з урахуванням рівня виробничого і професійного ризиків, уточнення рекомендацій щодо покращення умов праці.

На основі алгоритму перетворення параметрів середовища в показник виробничого ризику був проведений аналіз карт умов праці за результатами атестації робочих місць регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Українська залізниця». Отримані дані наведені у табл. 2.

Проведена оцінка умов праці свідчить про те, що робочі місця № 1, № 2, № 4 відносяться до 3.1 класу згідно [5], але показники інтегрального ризику

згідно [4] є надмірними. Робочі місця № 3, № 5, № 6 відносяться до 3.2 класу, маючи за розрахунками показники інтегрального ризику  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  і  $10^{-3}$  відповідно, тобто гранично – допустимими і вище [4]. Отже, маємо доведену суб'єктивність оцінки фактичних умов та характеру праці згідно [5]. Показники інтегрального ризику свідчать про протиріччя українського законодавства зі світовими нормами щодо охорони здоров'я та безпеки праці для створення контрольованих умов, які мінімізують можливі наслідки шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища та трудового процесу [3].

Хоча такий підхід не можна визначити як абсолютно вірний тому, що не має врахування імовірності перебування працюючого у зоні дії *i*-го небезпечного фактору. Враховуючи це, імовірність наявності *i*-го небезпечного фактору в робочій зоні можна визначити за такою формулою:

$$P_{v_i} = P_i^v \cdot P_i^p, \quad (10)$$

де  $P_i^v$  – імовірність дії  $i$ -го небезпечного фактору;  $P_i^p$  – імовірність перебування працюючого у зоні дії  $i$ -го небезпечного фактору.

Також, імовірність дії  $i$ -го небезпечного фактору та імовірність перебування працюючого у зоні його дії визначається за формулами:

$$\begin{aligned} P_i^v &= t_i^v / T_{CM}; \\ P_i^p &= t_i^p / T_{CM}, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $t_i^v$  – час дії  $i$ -го небезпечного фактору;  $t_i^p$  – час перебування працюючого у зоні дії  $i$ -го небезпечного фактору;  $T_{CM}$  – тривалість зміни.

Підставляючи дані вирази у формулу (10), отримуємо імовірність дії  $i$ -го небезпечного фактору на працюючого:

$$P_{v_i} = \frac{1}{T_{CM}^2} (t_i^v \cdot t_i^p). \quad (12)$$

При наявності 2, 3, ...  $n$  шкідливих факторів, імовірність їх дії визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} P_v(2) &= P_{v_2} + P_{v_1} - P_{v_2} \cdot P_{v_1}; \\ P_v(3) &= P_{v_3} + P_{v_2} - P_{v_3} \cdot P_{v_2}; \\ P_v(n) &= P_{v_n} + P_{v_{n-1}} - P_{v_n} \cdot P_{v_{n-1}}. \end{aligned} \quad (13)$$

На рис. 1 наведена залежність імовірності дії на працюючого  $n$  шкідливих факторів.

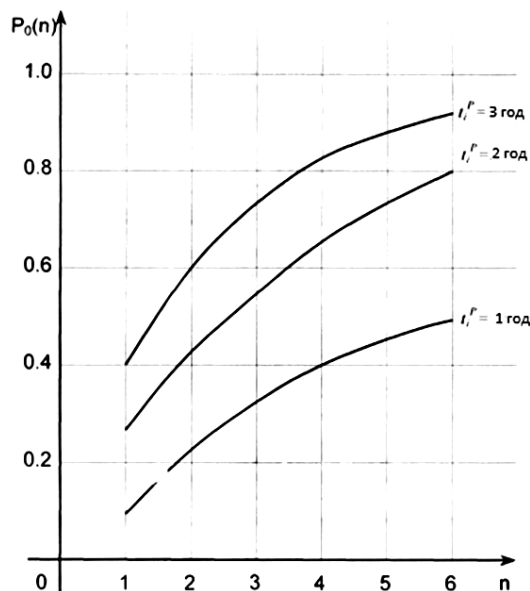


Рис. 1. Залежність  $P_0(n)$  дії  $i$ -ї чисельності шкідливих факторів при  $t_j^p = const$ .

За умови, що відома імовірність дії шкідливих факторів на працюючих, то визначення шкідливості виробничого процесу в цілому відбуватиметься наступним чином:

$$P_{nn}^0 = \frac{N_1 P_0(1) + N_2 P_0(2) + \dots + N_n P_0(n)}{N}, \quad (14)$$

де  $N_1, N_2, \dots, N_n$  – кількість працюючих, які підпадають під дію 1, 2, 3, ...  $n$  шкідливих факторів;  $P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(n)$  – імовірність дії на працюючих 1, 2, 3, ...  $n$  шкідливих факторів;  $N$  – загальна чисельність працюючих.

Отже, можна розрахувати шкідливість виробничого процесу в цілому для виробничого підрозділу регіональної філії «Південна залізниця»:

$$P_{nn}^0 = \frac{(0,96075 + 0,972244 + 0,732736 + 0,80067 + 0,751262 + 0,2809)}{6} = 0,7497603. \quad (15)$$

Імовірність дії  $j$ -го небезпечного фактору може бути визначена за формулою:

$$P_{b_j} = P_j^b \cdot P_j^p \cdot P_j^{nc}, \quad (16)$$

де  $P_j^b$  – імовірність наявності у робочій зоні  $j$ -го небезпечного фактору (речовини);  $P_j^p$  – імовірність перебування людини у зоні дії  $j$ -го небезпечного фактору(речовини);  $P_j^{nc}$  – вражаюча здатність  $j$ -го небезпечного фактору (речовини).

Імовірність наявності у робочій зоні  $j$ -го небезпечного фактору (речовини) та імовірність перебування людини у зоні дії цього фактору визначається за формулою (11). А вражаюча здатність  $j$ -го небезпечного фактору (речовини) визначається як:

$$P_j^{nc} = \frac{d_j}{D_j}, \quad (17)$$

$d_j$  – фактичний рівень (вміст)  $j$ -го небезпечного фактору (речовини);  $D_j$  – граничний рівень (вміст)  $j$ -го небезпечного фактору (речовини).

Граничний рівень (вміст)  $j$ -го небезпечного фактору (речовини) – це такий, при якому працюючі підлягають найшвидшій евакуації з небезпечної зони.

Якщо підставити у формулу (16) вирази для  $P_j^b$ ,  $P_j^p$  і  $P_j^{nc}$ , отримаємо:

$$P_{b_j} = \frac{t_j^b \cdot t_j^p \cdot d_j}{T_{CM}^2 \cdot D_j}. \quad (18)$$

Імовірність шкідливої дії  $m$  факторів визначається за формулою:

$$P_b(m) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{b_j}). \quad (19)$$

На рис 2 наведена залежність можливості дії на людину  $m$  шкідливих факторів.

Якщо відома імовірність дії шкідливих факторів на працюючих, то можна визначити шкідливість виробничого процесу в цілому:

$$P_{nn}^b = \frac{N_1 P_b(1) + N_2 P_b(2) + \dots + N_m P_b(m)}{N}, \quad (20)$$

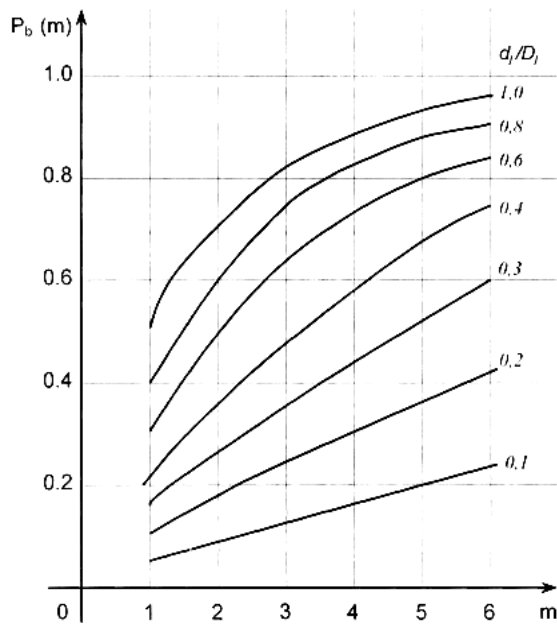


Рис. 2. Залежність  $P_b(m)$  від  $m$ -ої кількості шкідливих факторів та  $d_j/D_j$  ( $t_j^b t_j^p = \text{const}$ )

Результати проведених розрахунків кількісної оцінки потенційної шкідливості виробничих процесів на базі даних оцінки факторів виробничого середовища і трудового процесу з карт умов праці регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Українська залізниця» приведені у табл. 3:

$$P_{tm}^b = \frac{(0,294519 + 0,326391 + 0,467824 + 0,294519 + 0,339346 + 0,183665)}{6} = 0,317711. \quad (21)$$

Привертає до себе увагу той факт, що умови праці машиніста залізнично-будівельної машини ПМГ, які характеризуються інтегральним ризиком  $1 \cdot 10^{-3}$  і умови праці тракториста, які характеризуються інтегральним ризиком  $5,4 \cdot 10^{-3}$  відповідно до [5], визначені як шкідливі за класом 3.2, а умови праці електрогазозварників, які характеризуються інтегральним ризиком  $2,04 \cdot 10^{-1}$  і  $2,23 \cdot 10^{-1}$  як шкідливі по класу 3.1.

Таблиця 3 – Кількісна оцінка потенційної шкідливості виробничих процесів

№ з/п	Робоче місце, професія, цех (дільниця, відділ)	Імовірність дії на працюючого $n$ шкідливих факторів, $P_{v_i}$	Імовірність дії $j$ -го небезпечного фактору, $P_{b_j}$	Інтегральний ризик, $R$
1	Електрогазозварник, механічні майстерні (приміщення) 3.1	0,96075	0,294519	0,204081
2	Електрогазозварник, механічні майстерні (вулиця) 3.1	0,972244	0,326391	0,223607
3	Машиніст незнімної дрзени АГД 1А, механічні майстерні 3.2	0,732736	0,467824	0,000609
4	Коваль ручного кування, цех механічних майстерень, кузня 3.3	0,80067	0,294519	0,326984
5	Тракторист, механічні майстерні 3.2	0,751262	0,339346	0,005402
6	Машиніст залізнично-будівельної машини ПМГ, механічні майстерні 3.2	0,2809	0,183665	0,001001

Аналіз отриманих даних свідчить, що націленість законодавців на усунення шкідливих або небезпечних факторів виробничого середовища і трудового процесу є поверховою, а також про суб'єктивність [5] в частині визначення шкідливості виробничого процесу в цілому. На основі проведених розрахунків доведено необхідність перегляду [5] на відповідність світовим нормам охорони здоров'я та безпеки праці щодо створення контрольованих умов, які мінімізують можливі наслідки шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища та трудового процесу.

Даний підхід доцільно застосовувати у топографічному методі аналізу виробничого травматизму, який полягає у вивченні причин нещасних випадків щодо місця їхнього виникнення. Але метод дає загальну картину стану травматизму за даними про випадки, які вже сталися.

Ризик-орієнтований підхід дасть змогу на стадії імовірності виникнення попередити нещасні випадки з більшою точністю через виявлення в процесі дослідження імовірних місць зосередження травматизму.

Отже, підтверджено експериментально реальність зниження динаміки виробничого травматизму на етапі усунення вже існуючих залежностей.

### Висновки

Отримано єдиний підхід до розрахунку виробничого ризику в залежності від параметрів робочої зони з урахуванням часу перебування працюючих у зоні дії небезпечних факторів, який не потребує введення множини шкал для характеристики якості середовища. Отримані на основі ризик-орієнтованого підходу залежності можна застосовувати для атестації робочих місць, при визначенні пріоритету

щодо заходів з охорони праці з урахуванням рівня виробничого і професійного ризиків.

Призначення системи менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці полягає в тому, щоб забезпечити середовище для управління запобіганням смертельних випадків, професійних травм і шкоди для здоров'я, удосконалювати і забезпе-

чувати безпечні і здорові умови праці для своїх працівників та інших осіб, які працюють під контролем організації.

Отже, визначення небезпек і ризиків в області охорони здоров'я та безпеки праці, пов'язаних з діяльністю організації є пріоритетним завданням для інтеграції у світове співтовариство.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards. *Harmonization Project Document*. IPCS, WHO, 2010. № 8. 105 p. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44458> (last access: 7.12.2019).
2. Consumer Health and Food Safety. *COM (97) 183 final*. Communication of the EU, 1997. 35 p. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_97\\_508](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_97_508) (last access: 7.12.2019).
3. ISO 45001 Системи менеджменту охорони здоров'я і безпеки праці. Вимоги з застосування. URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (дата звернення 3.12.2019).
4. ISO 31000 Risk management. Principles and guidelines. URL: <https://risk-engineering.org/ISO-31000-risk-management/> (last access: 4.12.2019).
5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» / Наказ МОЗ України № 248 від 08 квіт. 2014 р. URL: <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення 2.12.2019).
6. Про охорону праці: Закон України від 18 лист. 2012 р. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення 27.11.2019).
7. Гогунский, В.Д. Чернега Ю.С. Управление рисками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці. *Вост.-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 1/10 (61). С. 83–85.
8. Гогунский, В.Д., Руденко С.В., Урядникова И.В. Теория и практика оценки риска здоровью от воздействия факторов внешней среды. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика* : зб. наук. пр. X міжнар. наук.-метод. конф. Київ : Центр учбової літератури, 2011. С. 170–175.
9. ДСТУ ISO 14001:2006. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2004, IDT). [Чинний від 2016-07-01]. Київ, 2006. 17 с. (Держспоживстандарт України).
10. Басиль Е.Е., Изотов С.А., Гогунский В.Д. Риск сокращения продолжительности жизни: рабочая зона. *Труды Одесского политехнического университета*. 1997. Вып. 2. С.133–135.
11. Руденко, С.В., Гогунский В.Д. Оценка экологической безопасности в проектах: монографія. Одесса : Феникс, 2006. 144 с.
12. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації. URL: <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwote/index.htm> (дата звернення 2.12.2019).
13. Гогунский, В.Д. Олех Т.М., Оборская А.Г. Практические задачи измерения качества в проектах. *Вост.-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. №1/11 (55). С. 6–8.

Received (Надійшла) 28.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

### A risk-oriented approach to determining working conditions of certain categories of the workers in transport industry

O. Tretyakov, B. Harmash, B. Khalmuradov, Ye. Biletska

**Abstract.** This article discusses the analysis of the principles, methods and criteria of risk assessment. The definition has been given to the concept of professional risk as harm to human health by the conditions of professional activity. It has been established that the main direction of improving the safety of working conditions is a systematic approach based on the analysis and assessment of risks caused by the specifics of processes in the transport industry. Objective regularities of the occurrence of hazards in the professional activities of railway workers have been identified. The current trend of globalization of the world economy and regional integration has increased the need for cooperation between countries, since objectively there are common goals and approaches in the field of industrial safety and occupational health, the need for interaction between occupational safety and environmental changes, as well as between occupational health and productivity. The purpose of such a systematic policy is to prevent accidents and occupational diseases of workers as a result of dangerous situations and transport accidents. A unified approach to calculating production risk depending on the parameters of the working area has been obtained, taking into account the time spent by hazardous factors working in the affected area, which does not require entering multiple scales to characterize the quality of the environment. Based on the algorithm for converting environmental parameters into an production risk indicator, an analysis of working conditions maps was carried out according to the results of certification of jobs at the regional branch of Southern Railway, PJSC Ukrainian Railway. The obtained integral risk indicators show the subjectivity of the assessment of actual conditions and the nature of labor in accordance with the existing legislation. The contradiction between the Ukrainian legislation and the world standards for the protection of labor health and safety for controlled conditions that minimize the possible consequences of harmful and dangerous factors in the working environment and the labor process has been revealed. A method is proposed for determining the danger level for workers in the working area under the conditions of the joint action of harmful factors of various classes. The method provides that the dependencies obtained on the basis of the risk-based approach can be used to certify jobs when determining the priority of labor protection measures taking into account the level of production and occupational risks.

**Keywords:** transport, professional risk, industrial hazard, harmful factor, unsafety factor, occupational safety and health, labor protection, hygiene standards.

В. М. Триснюк, В. О. Шумейко, Т. В. Триснюк, А. В. Курило, Ю. М. Голован, В. В. Мирончук  
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Анотація.** Стаття присвячена екологічній безпеці Карпатського регіону на основі моніторингу джерел техногенного пилового забруднення. Визначено реальні умови формування екологічної небезпеки з урахуванням вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Встановлено підсилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм в зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. **Метою** роботи є розв'язання науково-практичного завдання з управління екологічною безпекою під дією чинників техногенного пилового забруднення та розробки конкретних технічних рішень. **Об'єкт дослідження** є інформаційні технології для діагностики і оцінки стану довкілля та техногенних об'єктів. Система управління екологічною безпекою в регіоні з інтенсивним вторинним пиловим забрудненням атмосферного повітря включає комплексну систему техніко-технологічного управління екологічною безпекою в умовах інтенсивної дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Теоретичним базисом побудови зазначеної системи є сукупність принципів, розроблених на основі всебічного аналізу та узагальнення результатів попередніх теоретичних досліджень та практичного досвіду з управління екологічною безпекою на регіональному рівні. Встановлено специфічні особливості формування екологічної небезпеки при дії чинників пилового забруднення, обґрунтовано диференціацію джерел небезпеки з виділенням первинного і вторинного (стосовно основного технологічного процесу промислового виробництва) пилового забруднення атмосферного повітря. Розроблено методологію оцінки впливу на стан атмосферного повітря джерел вторинного пилового забруднення. Запропоновано методичний підхід щодо оцінки стану екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення атмосферного повітря, який базується на застосуванні модифікованого методу комплексної оцінки рівня техногенної небезпеки промислових об'єктів.

**Ключові слова:** техногенна небезпека, пилове забруднення, вторинне забруднення, атмосферне повітря, технічні рішення, екологічна безпека, захворюваність населення.

### Вступ

Серед значної кількості різновидів впливу на довкілля істотною небезпекою створює пилове забруднення атмосферного повітря, що формується як внаслідок надходження з джерел викидів на промислових підприємствах (первинне), так і шляхом фізико-хімічних процесів в місцях складування пилоподібних відходів виробництв (вторинне), серед яких особливе місце займають тонкодисперсні (< 100 мкм) відходи пилоочищення.

**Актуальність теми.** Експериментальні дослідження техногенних чинників пов'язаних із пиловим забрудненням ґрунтуються на використанні методики експертної оцінки та інформаційних технологій. Наукометричний огляд показав, що на даній території існує ряд екологічних проблем, які потребують вирішення. Аналіз попередніх досліджень дозволяє констатувати, що роль вторинного пилового забруднення у формуванні екологічної небезпеки регіону вивчається науковцями: Адаменко О.М., Архипова Л.М., Зорін Д.О., Мандрик О.

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є розв'язання науково-практичного завдання з управління екологічною безпекою під дією чинників техногенного пилового забруднення та розробки конкретних технічних рішень. **Об'єкт дослідження** є інформаційні технології для діагностики і оцінки стану довкілля та техногенних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу

Стратегія досліджень стосовно формування небезпек різного генезису оснований на визначенні міс-

ця певного виду чи підвиду екобезпеки в її ієрархічній структурі [1]. Забезпечення екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення, як правило, досягається шляхом застосування і вдосконалення пилоочисного обладнання. Побічним ефектом впровадження цих заходів є збільшення обсягів відходів, що утворюються в процесі пилоочищення. Неефективне складування значної кількості таких відходів створює загрозу вторинного забруднення атмосферного повітря. Зазначені обставини обумовлюють необхідність диференціації джерел екобезпеки з виділенням первинного і вторинного забруднення атмосферного повітря.

Первинне пилове забруднення розглядається як процес надходження пилоподібних забруднювачів в атмосферне повітря з стаціонарних (організованих та неорганізованих) та (або) пересувних джерел в межах технологічного процесу промислового виробництва [2]. Джерелами вторинного пилового забруднення є місця зосередження промислових відходів даного виробництва, на території яких можливе складування пилоподібних речовин і матеріалів, які виведено за межі основного технологічного процесу і для утилізації та рекуперації яких на цей час відсутні ефективні технології.

Неврахування джерел вторинного пилового забруднення при проведенні моніторингу стану екобезпеки (що на теперішній час спостерігається повсюди) не дає можливості об'єктивно оцінити внесок зазначеного підвиду у формування екологічної небезпеки на регіональному рівні.

Експрес-оцінка внеску джерел забруднення атмосферного повітря у формування рівня техногенної

небезпеки проводиться на основі чисельних значень показника  $T$ :

$$T = T_T K_{KM} K_P \left\{ \sum_{i=1}^N K_{ui} a_i M_i / N \right\}; \quad (1)$$

$$T = T_T K_{KM} K_P \left\{ \sum_{i=1}^N K_{ui} a_i M_i / N \right\},$$

де  $T$  – показник техногенної небезпеки, сформованої чинниками пилового забруднення атмосферного повітря;  $K_T$  – регіональний коефіцієнт господарської диференціації території;  $K_{KM}$  – коефіцієнт, що залежить від чисельності мешканців, які піддаються впливу проявів техногенної небезпеки;  $K_P$  – коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості;  $K_{ui}$  – коефіцієнт, який залежить від характеристик джерел викидів;  $a_i$  – показник, що відображає ступінь негативного впливу одиниці маси визначеного інгредієнта, що міститься у викидах в атмосферу, на навколишнє середовище;  $M_i$  – річна маса інгредієнтів, що містяться у викидах в атмосферу, т/рік;  $N$  – кількість інгредієнтів.

Градацію рангів промислових підприємств за рівнем техногенної небезпеки запропоновано проводити відповідно до значень показника  $T$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Градації техногенної небезпеки підприємств

Значення показника $T$	Рівень техногенної небезпеки підприємства	Ранг
$0 - 10^2$	Найнижчий	1
$102 - 10^3$	Низький	2
$103 - 10^4$	Підвищений	3
$> 10^4$	Високий	4

Методичний підхід до дослідження впливу чинників пилового забруднення на стан здоров'я населення полягає у тому, що надається кількісна просторово-часова характеристика проявів екологічної небезпеки на територіях, що досліджуються і здійснюється вивчення стану здоров'я населення. Захворюваність населення обраної території охарактеризовано сумарним показником  $P$  (кількість захворілих на 1 тис. населення) та індексом здоров'я населення  $H$ :

$$H = 1 - N_{\delta t} / N, F = (1 + j)^{-1} \quad (2)$$

де  $N$  – загальна чисельність обраної групи населення на території, що досліджується;  $N_{\delta t}$  – чисельність населення, захворілого за обраний період.

При аналізі проявів екологічної небезпеки використані значення середньорічних концентрацій  $C_{cp}$  інгредієнту, який контролюється та індекс техногенної безпеки  $F$ :

$$F = (1 + j)^{-1} \quad (3)$$

де  $j$  – безрозмірний нормований показник екологічної небезпеки, який у випадку негативної дії одного забруднювача на один компонент геосфери (атмосферне повітря) виражається відношенням фактичної концентрації речовини в приземному прошарку атмосфери до гранично допустимого значення цієї концентрації ( $ГДК_{M.P.}$ ).

Коефіцієнт  $F$  може приймати значення від 0 до 1 і його зростання буде вказувати на підвищення рівня техногенної безпеки.

За умов збігу у часі тенденцій зміни параметрів  $H$ ,  $F$ ,  $P$ , а також при встановленні кореляційних залежностей між ними, можна зробити висновок, що прояви екологічної небезпеки, пов'язані з присутністю даного інгредієнта в певних концентраціях, істотно впливають на розвиток аналізованої групи хвороб на обраній території. Наведені методологічні аспекти є підґрунтям для проведення експериментальних досліджень, зокрема, детального моніторингу формування, розвитку та проявів екобезпеки, сформованої чинниками техногенного пилового забруднення атмосферного повітря. На основі аналізу стану забруднення приземного прошарку атмосфери в межах зон селітебної забудови встановлено неприйнятний стан екологічної небезпеки стосовно зазначеного чинника (в середньому, по роках, концентрація пилу перевищує  $ГДК_{M.P.}$  в 1,3 рази). Визначено вклад у формування рівня небезпеки основних джерел пилового забруднення.

Системний аналіз поводження з тонкодисперсними пилоподібними відходами виробництва на промислових підприємствах в Івано-Франківській області дозволив визначити джерела вторинного пилового забруднення, основними з яких є місця складування відходів пилоочищення золи на Бурштинській ТЕС. Сумарна кількість зазначених промислових відходів, що на сьогодні вивозять у відвали, в регіоні дослідження складає 2500-3000 тонн на рік.

Бурштинська ТЕС є потужним джерелом викидів шкідливих хімічних речовин у атмосферу. Викиди з двох 250-метрових й однієї 180-метрової труб розносять пануючі в цій місцевості західні й північно-західні вітри на відстані до 100 кілометрів. У 2015 році зафіксовано викиди 191 тис. тонн шкідливих речовин – це конкретно 20,5 тис. т твердих частинок, 159,9 тис. сірчистого ангідриду, 9,4 тис. діоксиду азоту й 0,93 тис. т оксиду вуглецю (рис. 1).



Рис. 1. Викид в атмосферу шкідливих речовин з двох 250-метрових й однієї 180-метрової труби Бурштинської ТЕС в східному напрямку

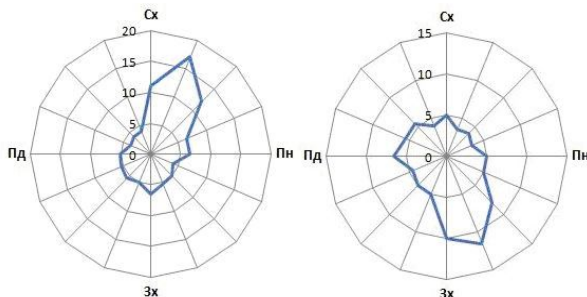


Для оцінки динаміки екосистем Карпатського регіону в умовах техногенного пилового забруднення атмосферного повітря було сформовано базу гео-даних, в яку ввійшли космічні знімки з космічних апаратів Landsat 7 (рис. 2); топографічні карти, цифрові моделі рельєфу різної деталізації.



**Рис. 2.** Тверді частинки від спалювання вугілля (зола, вугільний пил) які не вловило газоочисне обладнання, осідають у 30-кілометровому радіусі навколо станції

Оскільки техноприродні явища і процеси в переважній більшості є багатофакторними, представляють результат дії надзвичайно великого числа факторів, ступінь впливу кожного з яких на формування явища, що розглядається, повноцінно врахувати практично неможливо, то більш адекватним підходом до прогнозування екологічної небезпеки слід визнати імовірнісний підхід, що ґрунтується на побудові моделей-інтерпретацій і моделей-екстраполяцій за даними моніторингу (рядів спостережень) з використанням методів математичної статистики й теорії ймовірностей [3] (рис. 3).



**Рис. 3.** Роза вітрів та імовірнісний підхід до прогнозування екологічної небезпеки Бурштинської ТЭС

Зокрема, найпростішою і найбільш популярною математичною моделлю, яка застосовується при прогнозуванні максимальних екологічних характеристик (рівнів безпеки, забруднень компонентів довкілля) в рамках імовірнісного підходу, є модель випадкової величини [4]. Її використовують у випадках, коли дані моніторингу формують стаціонарні ряди динаміки, де зі збільшенням числа спостережень середній їх результат практично перестає бути випадковим і може бути передбаченим з великим ступенем визначеності.

Сірчистий ангідрид в атмосферному повітрі вступає в хімічні реакції з водою і вже у вигляді кислот може пролитися з дощем на землю. Наразі, викиди сірчистого ангідриду є найгострішою проблемою і не відповідають європейським нормам. Оксид вуглецю посилює парниковий ефект (рис. 4).



**Рис. 4.** Діоксид азоту Бурштинської ТЭС спричиняє смог

Для аналізу природного стану та антропогенізації досліджуваних екосистем використовувались космічні знімки з КА Landsat 7 (рис. 5).

Екологічну ситуацію не лише в санітарно-захисній зоні підприємства, а й у Бурштині, сусідній горі постійно відстежує відділ охорони навколишнього середовища ТЭС. До складу цього відділу входить санітарна лабораторія, яка контролює приземні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, а також опади і бере на аналіз проби ґрунту, ґрунтових, поверхневих та стічних вод.



**Рис. 5.** Космічний знімок КА Landsat 7 з роздільною здатністю 30 м від 18.07.2015 р.

Щорічно Бурштинська ТЭС скидає у р. Гнила Липа близько 2,11 млн. м<sup>3</sup> зворотних вод. За даними екологічного паспорту Івано-Франківської області середньорічна концентрація забруднюючих речовин (мг/дм<sup>3</sup>) за 2015 рік у Бурштинському водосховищі становила: завислі речовини – 17,0; БСК5 – 2,2; сульфати 130,0; хлориди – 21,0; азот амонійний – 0,55; нітрати – 2,9.

При комп'ютерній обробці знімків безпосередньо використовують цифрові еквіваленти яскравості, зональної яскравості. Вихідними матеріалами тематичної обробки космічних знімків є знімки різного тематичного змісту. Тому основні процедури тематичної обробки космічних знімків полягають у сегментації зображень, з метою ідентифікації площинних і лінійно-протяжних об'єктів.

Для Бурштинської ТЭС надзвичайно актуальною є проблема складування та переробки твердих відходів – паливного шлаку і золи – які залишаються після спалювання вугілля в топках ТЭС.

Результати моніторингу обумовили необхідність встановлення реальних умов формування та проявів екологічної небезпеки зазначеного підвиду з урахуванням джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря.

З метою встановлення основних характеристик раніше неврахованих джерел пилового забруднення

проводились експериментальні дослідження в лабораторних умовах та шляхом натурних спостережень. Найбільш вагомими чинниками, що впливають на кількісні показники обсягів надходження пилу з зазначених джерел забруднення, є дисперсність часток пилу, швидкість вітру, вологість атмосферного повітря, опади (у вигляді дощу і мокрого снігу).

При швидкостях вітру 7-10 м/с час, необхідний на відновлення здування пилу з поверхні місць складування, змінюється незначно і складає близько 3 годин. При відносній вологості 99% інтенсивність здування пилу зменшується на 25%, в той самий час вологість відходу збільшується в 16 разів (з 0,11 до 1,69%).

Між результатами експериментальних досліджень та розрахунків здування пилу встановлено розбіжність, яка не перевищує 20 % (рис. 3, 6).

Це підтверджує доцільність практичного використання методів, рекомендованих Держкомгідрометом, для одержання чисельних значень питомого здування пилу неорганічного з вмістом  $\text{SiO}_2 > 70\%$ .

Таблиця 2 - Техногенна небезпека промислових об'єктів з урахуванням внеску джерел вторинного пилового забруднення

Промислове підприємство	Значення показника $T$ в залежності від джерел вторинного забруднення	
	без врахування	з врахуванням
ПАТ «Івано-Франківськцемент»	772,8	1074,7
Бурштинська ТЕС	2027,3	3090,2
ПАТ Миколаївцемент»	245,1	813,9

Для оцінки впливу проявів небезпеки на стан здоров'я населення у регіоні дослідження виділено зони селітебної забудови з підвищеним рівнем концентрації сілікозонебезпечного пилу, які розміщені поблизу промислових підприємств – основних джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря. Розміри вказаних територій встановлено за результатами розрахунку розсіювання викидів на ЕОМ з використанням програмного комплексу «ЕОЛ».

Із застосуванням методу кореляційно-регресивного аналізу часових рядів на основі вивчення залежностей  $H(t)$  та  $F(t)$  (рис. 3, 6) встановлено достатньо високі значення коефіцієнтів кореляції (0,70 – 0,95) по виділених зонах.

За результатами проведених досліджень встановлено:

1. При врахуванні внеску джерел вторинного забруднення спостерігається підвищення рівня техногенної небезпеки підприємств ;

2. В зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря встановлено підсилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм.

Результати проведених досліджень є практичним підґрунтям для розробки та реалізації системи управління екобезпекою стосовно джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря у зазначеному районі.

Система управління екологічною безпекою в регіоні з інтенсивним вторинним пиловим забруд-

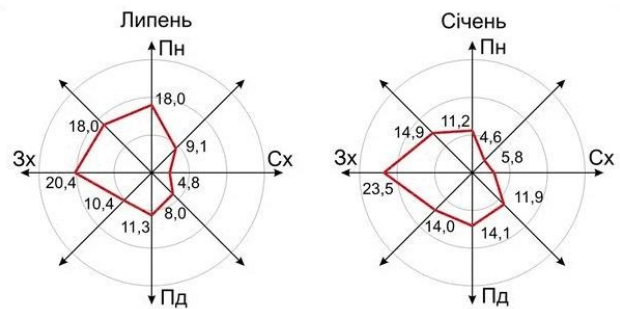


Рис. 6. Роза вітрів та розрахунок прогнозування екологічної небезпеки Бурштинської ТЕС в літній та зимовий період.

Одержані результати дозволили встановити основні характеристики (г/с, т/рік) джерел вторинного пилового забруднення в КСПР.

На основі формули 1 встановлено чисельні значення показника техногенної небезпеки  $T$  промислових підприємств КСПР з урахуванням внеску джерел вторинного забруднення (табл. 2).

ненням атмосферного повітря включає комплексну систему техніко-технологічного управління екологічною безпекою в умовах інтенсивної дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря [7, 8].

Теоретичним базисом побудови зазначеної системи є сукупність принципів, розроблених на основі всебічного аналізу та узагальнення результатів попередніх теоретичних досліджень та практичного досвіду з управління екологічною безпекою на регіональному рівні .

За результатами моніторингу формування і проявів у територіальних підприємствах підвиду екобезпеки, що досліджується, загальну систему управління екологічною безпекою деталізовано та конкретизовано стосовно регіональної доміанти підвиду екологічної небезпеки, сформованої джерелами вторинного пилового забруднення атмосферного повітря – місць складування пилоподібних відходів пилоочищення виробництв гранітного щебеню.

Результатом реалізації рішень запобігаючого характеру є тимчасове припинення надходження пилу в атмосферне повітря з джерел вторинного забруднення при несприятливих метеорологічних умовах. Результатом реалізації управлінських рішень обмежуючого характеру є встановлене за результатами інструментальних замірів зменшення на 50-60% обсягів надходження у атмосферне повітря тонкодисперсних пилоподібних забруднювачів з місць складування відходів і відповідно, рівня техногенної небезпеки зазначеного підвиду.

Реалізація управлінського рішення в регіоні досліджень дозволяє зменшити кількість зазначених відходів, що у теперішній час вивозяться у місця складування, на 2500 – 3000 т/рік й, відповідно, знизити рівень техногенного пилового забруднення атмосферного повітря.

### Висновки

Встановлено специфічні особливості формування екологічної небезпеки при дії чинників пилового забруднення, обґрунтовано диференціацію джерел небезпеки з виділенням первинного і вторинного (стосовно основного технологічного процесу промислового виробництва) пилового забруднення атмосферного повітря. Розроблено методологію оцінки впливу на стан атмосферного повітря джерел вторинного пилового забруднення. Запропоновано методич-

ний підхід щодо оцінки стану екологічної безпеки в умовах інтенсивного пилового забруднення атмосферного повітря, який базується на застосуванні:

1. Модифікованого методу комплексної оцінки рівня техногенної небезпеки промислових об'єктів – для визначення реальних умов формування екологічної небезпеки під дією чинників пилового забруднення атмосферного повітря;

2. Методу кореляційно-регресивного аналізу часових рядів – для встановлення впливу конкретних проявів екологічної небезпеки на стан здоров'я населення.

Встановлено підсилення впливу проявів екологічної небезпеки на стан захворюваності населення стосовно певних нозологічних форм в зонах безпосередньої дії джерел вторинного пилового забруднення атмосферного повітря.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко О. М. Екологічна безпека територій. Монографія / О. М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
2. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. Київ. Наукова думка. 2007. -219 с.
3. V.Trsnyuk, T. Trsnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding Centrul Universitar Nord Din Bala Mare - UTPRESS ISSN 1582-0548, №1,2018 С.61-67
4. Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. / В.М. Триснюк, А.А. Нікітін В.О. Шумейко // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. Випуск 6 (46) 2017р. – С. 102-110.
5. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188. Index Copernicus
6. Trsnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trsnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts
7. Довгий О.С.,Трофимчук О.М.,Коржнев М.М.,Яковлев Є.О.,Триснюк В.М. і інші. Моніторинг мінерально-сировинної бази України та екологічного стану територій її гірничодобувних регіонів у контексті забезпечення їх сталого розвитку. /Довгий О.С.,Трофимчук О.М.,Коржнев М.М.,Яковлев Є.О.,Триснюк В.М. і інші. – Київ.; Ніка-Центр -2019. - 148 с.
8. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188.

Received (Надійшла) 21.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.01.2020

### Ecological safety of the Carpathian region in the conditions of technogenic dust pollution atmospheric air

V. Trsnyuk, V. Shumeiko, T. Trsnyuk, A. Kurilo, J. Holovan

**Abstract.** The article is devoted to the environmental safety of the Carpathian region on the basis of monitoring of sources of man-made dust pollution. The real conditions of ecological hazard formation with consideration of secondary dust pollution of atmospheric air are determined. The influence of manifestations of ecological danger on the state of morbidity of the population in relation to certain nosological forms in the zones of direct action of sources of secondary dust pollution of atmospheric air is established. The purpose of the work is to solve the scientific and practical task of environmental safety management under the influence of man-made dust pollution and to develop specific technical solutions. The object of study is information technology for the diagnosis and assessment of the state of the environment and man-made objects. The system of environmental safety management in the region with intensive secondary dust pollution of the air includes a comprehensive system of technical and technological management of environmental safety in the conditions of intensive action of sources of secondary dust pollution of the air. The theoretical basis for the construction of this system is a set of principles, developed on the basis of a comprehensive analysis and synthesis of the results of previous theoretical studies and practical experience on environmental safety management at the regional level. The specific features of the formation of environmental hazards under the influence of dust pollution factors are established, the differentiation of sources of danger with the allocation of primary and secondary (in relation to the main technological process of industrial production) dust pollution of atmospheric air is substantiated. A methodology for assessing the impact on sources of secondary dust pollution by atmospheric air has been developed. A methodological approach is proposed to assess the state of ecological safety in the conditions of intensive dust pollution of the air, based on the application of the modified method of complex assessment of the level of man-made hazard of industrial objects.

**Keywords:** technogenic danger, dust pollution, secondary pollution, atmospheric air, technical solutions, ecological safety, population morbidity.

А. О. Зінченко<sup>1</sup>, Р. В. Пікуль<sup>1</sup>, К. А. Зінченко<sup>2</sup>, К. В. Любарчук<sup>1</sup>,  
Є. А. Юсухно<sup>1</sup>, О. М. Максименко<sup>1</sup>, Ю. М. Сокіл<sup>1</sup>, Ю. І. Риндін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

<sup>2</sup>Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД З ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Анотація.** Найбільш характерними особливостями побудови систем зв'язку військового призначення є високий ступінь апріорної невизначеності стосовно оперативної обстановки та малий обсяг вихідних даних для планування зв'язку. У таких умовах важливий правильний вибір апарату оцінки прийнятих управлінських рішень, який дозволить посадовим особам органів управління системою зв'язку бути впевненим у правильності рішень, що приймаються. Прийняття рішення на побудову системи зв'язку будь-якого рівня, як правило, включає визначення мети її функціонування, вибір показників і обґрунтування критеріїв оцінки, синтез альтернативних структур і пошук раціонального варіанту розгортання системи зв'язку. Практика бойового застосування частин та підрозділів зв'язку переконливо показала, що в теорії та практиці організації зв'язку виникла необхідність в удосконаленні науково-методичного апарату, що буде відповідати сучасним умовам функціонування систем управління та забезпечувати більш адекватну оцінку ефективності систем зв'язку, що розгортаються. В зазначеній статті авторами запропоновано методичний підхід з оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення. Запропонований підхід заснований на використанні показника доступності системи зв'язку спеціального призначення з першого разу. В ході зазначеного дослідження авторами використані основні положення теорії зв'язку, теорії завадостійкості та розвідзахищеності. Новизна запропонованого методичного підходу, на відміну від існуючих полягає в тому, що система зв'язку спеціального призначення оцінюється по узагальненому показнику доступності каналних та мережевих ресурсів системи зв'язку спеціального призначення, що є згортою часткових показників оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення. Практичне значення запропонованого методичного підходу полягає в тому, що запропонований підхід дозволяє оцінити систему зв'язку по більшій кількості часткових показників, визначити заходи щодо розгортання системи зв'язку та виробити заходи стосовно підвищення ефективності системи зв'язку спеціального призначення.

**Ключові слова:** оцінювання системи зв'язку, ефективність, завадозахищеність, розвідзахищеність, система зв'язку спеціального призначення.

### Вступ

Найбільш характерними особливостями побудови систем зв'язку спеціального призначення є високий ступінь апріорної невизначеності стосовно оперативної обстановки та малий обсяг вихідних даних для планування зв'язку. У таких умовах важливий правильний вибір апарату оцінки прийнятих управлінських рішень, який дозволить посадовим особам органів управління системою зв'язку бути впевненим у рішеннях, що приймаються.

Прийняття рішення на побудову системи зв'язку будь-якого рівня, як правило, включає визначення мети її функціонування, вибір показників і обґрунтування критеріїв оцінки, синтез альтернативних структур і пошук раціонального варіанту розгортання системи зв'язку.

Практика військ переконливо показала, що в теорії та практиці організації зв'язку виникла необхідність в розвитку існуючих підходів та науково-методичного апарату, що буде відповідати сучасним умовам функціонування систем управління та забезпечувати більш адекватну оцінку ефективності систем зв'язку, що розгортаються.

При цьому один з головних напрямків їх удосконалення та розвитку є використання нового підходу щодо визначення показників і критеріїв оцінки ефективності, що відповідають сучасним

умовам і факторам бойових дій (мети операції), а також вимогам, що висуваються до системи зв'язку зі сторони системи управління.

Відповідно до такого підходу ефективність системи зв'язку є один з показників її ролі та цільового призначення. Незважаючи на те, що система зв'язку не здійснює безпосереднього впливу на виконання поставлених завдань і нанесення противнику максимальних втрат, її роль у досягненні мети бою (операції) величезна. Для визначення цієї ролі введено поняття ефективності системи зв'язку, під яким розуміється ступінь реалізації її можливостей щодо обміну інформації в конкретних умовах обстановки [1, 5].

Розрахунок показників ефективності прямо пов'язаний з визначенням результатів рішення, що оцінюється. При цьому мають місце два варіанти:

перший пов'язаний з експериментальною перевіркою управлінських рішень, і тому визначення результату зводиться до оцінювання;

другий виникає при апріорній оцінці ефективності, коли результату поки ще немає, але його слід передбачити, внаслідок чого результати рішення визначаються методами прогнозування [5, 6].

Враховуючи зазначене, *метою зазначеної статті* є розробка методичного підходу з оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення.

### Виклад основного матеріалу

Для теорії найбільш важливий перший випадок, а для практики – другий, оскільки оцінка ефективності повинна бути першою ухваленню рішення та визначати його цінність. Стосовно системи зв'язку спеціального призначення її ефективність повинна оцінюватися на основі характеристик її властивостей. Оскільки система зв'язку спеціального призначення має безліч властивостей, перелік показників, по яких доцільно проводити оцінку якості системи зв'язку, слід обмежувати.

На практиці це означає, що оцінка якості повинна проводитися на базі не всіх, а тільки найбільш істотних показників, що визначають основні аспекти ефективності системи зв'язку спеціального призначення або її окремих елементів. Такий підхід дає можливість акцентувати увагу на головних показниках системи зв'язку, які дозволяють їй вирішувати найкраще своє основне завдання в прогнозованих умовах функціонування. Тому комплексна всебічна та об'єктивна оцінка ефективності системи зв'язку може бути здійснена за допомогою системи показників і критеріїв, що включає головний і додаткові показники по основній та часткових властивостях відповідно [1, 5, 10].

У якості основної властивості, з урахуванням її особливої значимості для спеціального призначення [10, 11], пропонується прийняти доступність системи зв'язку та одержати її залежність від інших часткових показників. Оскільки доступність системи зв'язку характеризує здатність системи військового зв'язку забезпечувати одержання органами управління (оперативним складом) необхідних їм ресурсів системи зв'язку (її видів, сервісів, послуг), мабуть, що показник доступності, з одного боку, повинен відображати просторовий аспект, а з іншого боку – враховувати кінцеву об'єктову стійкість елементів системи зв'язку в умовах комплексного впливу противника. При цьому під просторовим аспектом мається на увазі таке об'єктивне (просторове та топологічне) положення користувачів системи управління щодо елементів системи зв'язку, коли вони завжди в стані скористатися створеним нею каналним ресурсом, маючи у своєму розпорядженні штатні й додані засоби зв'язку [3, 4].

Зазначені особливості формування узагальненого показника доступності, виникають тому, що вони мають принципове значення саме для системи зв'язку спеціального призначення, повинні знайти своє відображення в відповідному удосконаленому методичному підході з оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення. Разом з тим слід розуміти, що доступність системи зв'язку залежить насамперед від структури й розміщення її елементів у операційному просторі, місцезнаходження користувачів, довжини ліній доступу, фізико-географічних умов місцевості, наявності сил і засобів зв'язку [11]. Саме тому в удосконаленій методиці для оцінки доступності системи зв'язку використаний імовірність доступу користувача до ресурсу системи зв'язку з першої спроби, що обчислюється за функціоналом [10, 11]

$$P^D = a(D, P_i^D). \quad (1)$$

Зазначений показник залежить як від кількості елементів системи зв'язку спеціального призначення, які потенційно здатні надати користувачам каналний ресурс і можуть бути використані ними з районів своєї дислокації за допомогою наявних засобів зв'язку (тобто від чисельного значення компонентів вектору доступності  $D$ ), так і від їхньої об'єктові стійкості  $P_i^D$ . При цьому кратність доступу  $i$  (можливість надання користувачеві одночасно одного, двох і більш незалежних маршрутів передачі інформації) дозволяє говорити про більш високу ймовірність одержання доступу до каналного ресурсу з першої спроби.

Оскільки смуга операційного простору спеціального призначення вимагає суцільного покриття відносно зв'язку, показник просторової доступності повинен відображати принцип “територіальної” спрямованості системи зв'язку. При такому підході просторову доступність найбільше доцільно оцінювати вектором  $D = \{d_i\}$ , компонентами якого є деякі скалярні значення  $d_i$ . Зміст скалярної величини  $d_i = 0 \dots 1$  полягає в тому, що з  $d_i$ -ої частини площі операційного простору мережа спеціального призначення радіодоступу з  $L$  елементів, здатна забезпечити будь-якому користувачеві потенційну можливість одержати необхідну частину каналного ресурсу системи зв'язку по  $l$  незалежних маршрутах:

$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_l, \dots, d_L\}, l = \overline{1, L}, \quad (2)$$

де  $L$  – загальна кількість елементів системи зв'язку, розгорнутих для забезпечення користувачів каналним ресурсом. При цьому

$$L = \sum_{k=1}^m n_k, \quad (3)$$

де  $m$  – кількість ешелонів (рівнів) у системі зв'язку;  $n_k$  – кількість елементів в  $k$ -му ешелоні (рівні).

Тут і далі під ешелонами будемо розуміти діапазон висот підняття антен станцій радіодоступу і ретрансляторів зв'язку. Для визначення в (2) компонент вектору  $D$  необхідно знайти відношення площі, з якої користувач (абонент) здатний одержати доступ до елементів системи зв'язку, до всієї площі смуги оборони спеціального призначення. Тоді

$$d_l = S_l / S_{заг}, \quad (4)$$

де  $S_l$  – площа зони радіодоступу від  $l$  елементів системи зв'язку;  $S_{заг}$  – площа операційного простору.

Оскільки просторова доступність характеризується значеннями компонентів  $\{d_{l_{\min}}\}$  вектору доступності  $D$ , їхній взаємозв'язок можна представити у вигляді коефіцієнта просторової доступності

$$K_{дост.пр} = S_l / S_{заг} \quad при \quad l = l_{\min}. \quad (5)$$

За характером своєї побудови мережа радіодоступу є зоною. Зони покриття являють собою частину території (смуги операційного простору), що з'єднані з одним з елементів мережі радіодоступу, а також зони їх перетину. Розміри цих зон залежать

від тактико-технічних характеристик радіозасобів, висот підняття їх антен, робочої частоти, заводової обстановки та інших факторів, що впливають на якість радіозв'язку [10].

Вихідним продуктом запропонованої послідовності розрахунків показника доступності системи зв'язку спеціального призначення є матриця  $A(i)$  виду  $M \times N$  (де  $M$  і  $N$  – це кількість  $d_l$ -ї частини площі по фронту та у глибину операційного простору відповідно), елементи якої  $a_{mn}(i)$  являють собою одиничну площу в прийнятому по електронній карті масштабі. У результаті розрахунків для  $i$ -го елемента системи зв'язку елементи матриці приймають значення  $a_{mn}(i) = 1$  у випадку можливого доступу користувача з  $a_{mn}(i)$ -ї ділянки площі до  $i$ -го елемента системи або  $a_{mn}(i) = 0$  у зворотному випадку [10].

Використання геопросторових даних при розрахунках доступності ресурсу системи зв'язку спеціального призначення дозволяє більш точно, ніж раніше, визначити реальну площу зони покриття кожного елемента системи зв'язку  $S_i$  відповідно до виразу

$$S_i = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \alpha_{mn}(i), \quad (6)$$

де  $M \times N = S_{заг}$  – загальна (що покривається) площа операційного простору.

Знаючи, що структура системи зв'язку складається з  $L$  елементів, що перебувають у різних взаємозв'язках, можна розрахувати вектор доступності  $D$  для всієї системи в цілому. Для цього необхідно мати  $L$  матриць  $A(i)$  для кожного  $i$ -го елемента окремого покриття  $S_i$ , що визначають по суті площі, для кожного елемента системи зв'язку. Тоді площа зони перетину не менш ніж  $l$  її елементів  $S_i$  пропонується розраховувати як

$$S_l = \bigcup_{i=1}^{C_L^l} \left( \bigcap_{1 \dots l} S_i \right), \quad (i = \overline{1, L}; l = \overline{1, L}), \quad (7)$$

де  $C_L^l$  – число комбінацій з  $L$  по  $l$  потенційно можливих кількостей, що відображає, зони перекриття кратністю  $l$ , яке може бути створене в операційній зоні майбутньої операції [11]. Таким чином, визначивши значення величин множини  $\{S_i\}$ , представляється можливим відповідно до виразів (2) і (4) знайти значення всіх компонентів вектору доступності  $D$ . Для проведення розрахунків при оцінці показника доступності та вектору  $D$  пропонується використувати наступний підхід до його обчислення.

Вихідними даними для розрахунків є: число  $L$  елементів системи зв'язку відповідної структури  $G$ ; максимальне число  $M$  рядків матриць  $A$ ; максимальне число  $N$  стовпців матриць  $A$ ; безліч матриць  $\{A\}$ , елементи яких розраховані відповідно до виразу (6), зведені в тривимірний масив даних  $A[1 \dots M, 1 \dots N, 1 \dots L]$ . Для зберігання проміжних і вихідних даних необхідно мати змінну  $S$ , лічильник кратності  $k$  і одномірний масив  $S[1 \dots k]$  [5, 10, 11].

Після введення вихідних даних визначається загальна площа операційної зони і відбувається

обнуління масиву вхідних даних. Потім послідовно перевіряються однакові елементи всіх матриць на можливість доступу. У випадку задовільної відповіді змінюється значення лічильника кратності та відповідне значення масиву  $S_k$ . Після закінчення перевірки всіх елементів проводяться розрахунки відношення відповідності площі до кратності доступу до загальної площі та вивід отриманих результатів. Вихідні дані показують, з якої частки площі операційної зони є можливість доступу до  $l$  елементів мережі зв'язку, тобто створення  $l$  незалежних маршрутів [5, 10, 11]. Отже, значення компонентів вектору доступності дозволяють зробити висновок про те, наскільки аналізований (запланований) варіант побудови системи зв'язку забезпечить доступ користувачів до її каналного ресурсу. Однак одних тільки отриманих значень компонентів вектору доступності недостатньо для того, щоб однозначно визначити необхідну кількість незалежних маршрутів доступу. В умовах комплексного впливу противника необхідно мати інформацію про прогнозовану об'єктову стійкість елементів системи зв'язку, що забезпечують доступ. Якби їхня стійкість  $P_{cmi}$  була ідеальною ( $P_{cmi} = 1, i = 1, L$ ), то для гарантованого доступу до каналного ресурсу кожному з користувачів було б досить одного абсолютно надійного маршруту до одного елемента системи зв'язку. В іншому випадку виникає цілком обґрунтоване питання про те, скільки ж у плановому до реалізації варіанті системи зв'язку необхідно створювати незалежних маршрутів, щоб забезпечити її необхідну стійкість. Розв'язати дане питання можна в такий спосіб [6, 11]. Нехай користувач, перебуваючи в певному місці операційного простору, має можливість розгорнути наявними в нього засобами  $l$  ліній зв'язку відповідно до  $l$  елементів системи зв'язку.

Також відомі значення показників об'єктової стійкості її елементів  $\{P_{cmi}\}$ . Для простоти розрахунків приймемо, що всі елементи системи зв'язку, що забезпечують доступ користувачів, рівнозначні:  $\{P_{cmi}\} = P_i^D$ . Тоді ймовірність настання події  $P_{необ}^D$ , що полягає в тому, що користувач одержить доступ до каналного ресурсу системи зв'язку, можна знайти з виразу [11]:

$$P_{необ}^D = 1 - \prod_{i=1}^l (1 - P_i^D). \quad (8)$$

Визначивши значення  $P_i^D$  й задаючись вимогою до значення показника  $P_{необ}^D$ , можна знайти мінімально число  $l_{\min}$  елементів системи зв'язку, до яких користувачеві повинен бути забезпечений доступ:

$$l_{\min} = \log_{(1-P^D)} \left[ 1 - P_{необ}^D \right]. \quad (9)$$

Визначивши мінімальний рівень кількості незалежних маршрутів для користувача в конкретних умовах впливу противника, відповідний до вимог зі стійкості системи зв'язку, оцінюються значення компонентів вектору доступності (4) і робиться обґрунто-

ваний висновок про достатність або недостатність значень даної структурної характеристики для конкретного варіанта реалізації системи зв'язку. На відміну від відомих методик [1-3, 5-7], при розрахунках просторової доступності системи зв'язку враховується об'єктова стійкість елементів, що надають доступ. Виходячи з вимог що висуваються до системи управління, кожному користувачеві, поряд з можливістю одержати просторовий доступ, повинен бути наданий необхідний (достатній) ресурс пропускної здатності системи зв'язку, який, як правило, для аналогового варіанту її практичної реалізації кількісно виражається в каналах зв'язку, а для цифрового - у швидкості передачі інформації (біт/с). Таким чином,

$$A_i = \min(B_{\text{прив}}; C_{\text{радіо}}; Z_{\text{зас}}), \quad (10)$$

де  $B_{\text{прив}}$  – канална ємність ліній прив'язки;  $C_{\text{радіо}}$  – число каналів радіодоступу (канална ємність СРД);  $Z_{\text{зас}}$  – наявність апаратури засекречування.

Для визначення показника доступності системи зв'язку доцільно ввести коефіцієнт доступності по пропускній здатності у вигляді

$$K_{\text{дост}}^{\text{ПЗ}} = \min\{V_{\text{пл}}/V_{\text{тр}}, 1\}, \quad (11)$$

де  $V_{\text{пл}}$  – планована (реалізована) швидкість передачі;  $V_{\text{тр}}$  – необхідна швидкість передачі.

Якщо значення  $K_{\text{дост}}^{\text{ПЗ}}$  по величині перевищує 1, то проводяться розрахунки резерву інформаційних можливостей мережі:

$$Q_{\text{рез}} = K_{\text{дост}}^{\text{ПЗ}} - 1. \quad (12)$$

Оскільки коефіцієнти, розраховані з використанням (5), (11), (12), відображають фізичний зміст двох різних видів доступності - просторової (по ступеню покриття території) і каналної (по показникові пропускної здатності), вимоги по яких повинні бути виконані спільно, має сенс ввести узагальнений показник ефективності системи зв'язку

$$K_{\text{СС}} = \min\{K_{\text{дост.пр}}; K_{\text{дост}}^{\text{ПЗ}}\}. \quad (13)$$

З метою підвищення обґрунтованості прийнятого розв'язку на вибір варіанту структури системи зв'язку відповідно до вимоги по її основному цільовому призначенню - обміну інформацією, а значить і доступу до неї посадових осіб органів управління, критеріальні значення узагальненого показника (13) слід встановлювати у відповідності зі ступенем задоволення потреб системи управління по пропускній здатності як головному показнику ефективності, що відображає найбільш істотну властивість системи військовому зв'язку. Структура запропонованого підходу до оцінки ефективності системи зв'язку представлено на рис. 1. Запропонований підхід до оцінки ефективності системи зв'язку вигідно й очевидно відрізняється від відомих [1-9]. Так, використовувані в цей час окремі методики оцінки ефективності системи зв'язку відображають, як правило, одне з її часткових властивостей,

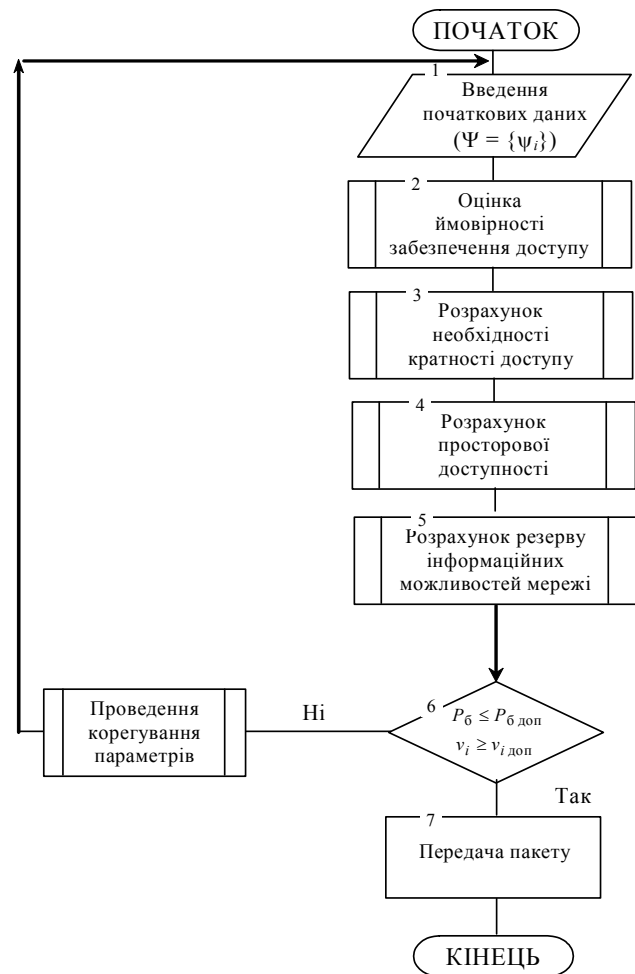


Рис. 1. Методичний підхід з оцінки ефективності функціонування системи зв'язку

наприклад розвідзахищеність [1, 5], стійкість (в аспекті структурної живучості) [6, 8] або пропуску здатність [2, 7], що з погляду системного підходу є недостатнім, оскільки окремо взяті властивості, нехай навіть істотні, але розглянуті порізно, не відображають їхнього взаємного впливу один на одного. З цієї причини оцінка ефективності системи зв'язку формально представляється різносторонньою, але не є комплексною. В удосконаленому ж підході показник доступності пов'язаний з основним показником пропускної здатності та інтегральним показником стійкості, який включає в себе часткові показники живучості, завадостійкості та надійності, що дозволяє комплексно оцінити систему зв'язку, а як наслідок, прийняти обґрунтоване рішення на її побудову.

## Висновки

1. В зазначеній статті авторами запропоновано методичний підхід з оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення. Запропонований підхід заснований на використанні показника доступності системи зв'язку спеціального призначення з першого разу. В ході зазначеного дослідження авторами використані основні положення теорії зв'язку, теорії завадостійкості та розвідзахищеності.

Новизна запропонованого підходу, на відміну від існуючих полягає в тому, що система зв'язку спе-

ціального призначення оцінюється по узагальненому показнику доступності каналних та мережевих ресурсів системи зв'язку спеціального призначення, що є згортокою часткових показників оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення.

2. Виявлені протиріччя між потребами системи управління та можливостями системи зв'язку, а також розбіжності в оцінках її прогнозованої та реальної ефективності за основними показниками можуть бути вирішені таким чином: організаційно – на основі застосування принципу системності, обґрунтування та реалізації нової територіально-розподіленої структури, що включає мережа радіодоступу та стаціонарної опорної мережі зв'язку; технічно – за рахунок переоснащення системи технічно досконалими засобами зв'язку з наданням переваги використанню засобів зв'язку вітчизняного виробництва; методологічно – за допомогою вдосконалення мето-

дичних підходів з оцінки її ефективності та розробки науково-обґрунтованих рекомендацій її практичної реалізації та формуванню структури системи зв'язку, що відповідає сучасним і перспективним вимогам до управління військами.

3. Практичне значення запропонованого методичного підходу полягає в тому, що запропонований підхід дозволяє оцінити систему зв'язку по більшій кількості часткових показників, визначити заходи щодо розгортання системи зв'язку та виробити заходи стосовно підвищення ефективності системи зв'язку спеціального призначення. При цьому слід шукати не оптимальне, а раціональне рішення між необхідною ефективністю та прийнятною вартістю.

**Напрямок подальших досліджень** є розробка науково-методичного апарату оцінки ефективності системи зв'язку спеціального призначення.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боговик, А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. - 184 с.
2. Yakhno, I., Malyk, O., Hatsenko, S., Shyshatskiy, A., Pikul, O. Method of assessment of information availability of radio inflammation sources by devices of radioelectronic recognition. Advanced information systems. 2019. Vol. 3, No. 1. pp. 98-103. DOI: [doi: 10.20998/2522-9052.2019.1.16](https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.16)
3. Гурський Т. Г., Степаненко, Є.О., Шишацький, А. В. Оцінка граничної дальності зв'язку на сучасних радіо- та радіорелейних лініях. Зб. наук. праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. № 1. 2019. С. 6-17.
4. Дмитриев, В. И. Средства и комплексы подвижной радиосвязи. - СПб.: ВАС, 2007. – 268 с.
5. Ермишян, А. Г. Сызранцев, Г. В., Дыков, В. В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах. СПб.: ВАС, 2006. – 220 с.
6. Исаков, Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. СПб., 2009. 400 с.
7. Леонovich, Г. А., Калинин, В. М. Методика расчета зоны покрытия станции радиодоступа подвижных абонентов связи тактического звена управления. Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2004. № 4 (5). С. 56-61.
8. Семашко, Ю. А. Калинин, В. М.. Проблемные аспекты и инновационные концепции управления войсками (силами) и организация связи в сетевых операциях. Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. 2012. № 1 (34). С. 27-36.
9. Shyshatskiy, A., Zhuk, O., Prokopenko, Ye., Dolina, M. Method of hierarchical management by channel and network resources of military radio communication systems. Системи озброєння і військова техніка. 2017. № 4. С. 129-136.
10. Шишацький А. В., Лукова-Чуйко, Н. В., Жук, П. В. Аналіз наукових і технологічних рішень з розподілу каналних ресурсів систем військового радіозв'язку. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 1. С. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.08>.
11. Голубцов, С. Г., Пылинский, М. В. Повышение доступности системы связи в тактическом звене управления за счет совершенствования ее структуры. Наука и воен. безопасность. 011. № 1 (29). С. 51-56.

Надійшла (received) 20.12.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 12.02.2020

#### Special purpose communication system methodological approach

A. Zinchenko, R. Pikul, K. Zinchenko, K. Liubarchuk, E. Yusukhno, A. Maksymenko, Yu. Sokol, Yu. Rindin

**Abstract.** The most characteristic features of building military communications systems are a high degree of a priori uncertainty regarding the operational situation and a small amount of input data for communications planning. In such circumstances, it is important to choose the right apparatus for evaluating managerial decisions that will allow officials of the governing bodies of the communication system to be confident in the correctness of the decisions made. Making a decision to build a communication system at any level, as a rule, includes determining the purpose of its functioning, selecting indicators and substantiating assessment criteria, synthesizing alternative structures and finding a rational option for deploying a communication system. The practice of the combat use of communication units and subunits has convincingly shown that in theory and practice of organization of communication there is a need to improve the scientific and methodological apparatus, which will correspond to modern conditions for the functioning of control systems and provide a more adequate assessment of the effectiveness of communication systems, are unfolding. In this article, the authors proposed a methodological approach to assess the effectiveness of a special-purpose communication system. The proposed approach is based on the use of the accessibility indicator of a special-purpose communication system the first time. In the course of this study, the authors used the basic principles of communication theory, the theory of noise immunity and security protection. The novelty of the proposed methodological approach, in contrast to the existing ones, is that a special-purpose communication system is evaluated by a generalized indicator of the availability of channel and network resources of a special-purpose communication system, which is a convolution of particular indicators for evaluating the effectiveness of a special-purpose communication system. The practical significance of the proposed methodological approach lies in the fact that the proposed approach allows us to evaluate the communication system by more private indicators, to determine measures for the deployment of the communication system and to develop measures to increase the efficiency of the special-purpose communication system.

**Keywords:** communication system assessment, efficiency, noise immunity, communication system for special purposes.



S. Kovalevskii

Kharkiv National University named after Air Force. Ivan Kozhedub, Kharkov

## STUDY OF DETECTION AND RADAR STEALTH PINPOINT AIR OBJECTS

**Abstract.** The subject study of the article is to identify radar stealth and pinpoint aerial objects used in the national economy during their operation. The article is research process efficiency in detecting radar stealth and pinpoint aerial objects. The problem to be solved – justification of technical solutions and their implementation in practice of detecting radar stealth and pinpoint air objects will improve efficiency in their radar detection by applying detection device using stealth and pinpoint lights overhead objects used in the national economy, which is offered. The article reviewed: promising ways to improve the detection of small aircraft and stealth objects of the simultaneous use of its properties and effective surface scattering algorithm using optimal processing signals reflected stealth and pinpoint objects in the air and block diagram using backlight stealth and pinpoint multiple objects overhead space-spaced transmitter block diagram detection device using the backlight stealth and pinpoint multiple objects overhead space-spaced transmitters, which corresponds to one volume and one separate speed channel being developed. Conclusion: The proposed technical solutions should be used as the modernization of existing radars and in creating advanced radar designs.

**Keywords:** subtle and pinpoint Air facilities, the effective surface scattering algorithm for optimal signal processing.

### Introduction

**Formulation of the problem.** Considering the importance of stealth and pinpoint aerial objects in the economy in recent years has increased the need to study traditional methods of determining efficiency of small and inconspicuous air objects that will help determine the number of radar stations, in order to reduce power consumption and, consequently, to reduce the cost of creating and maintaining regular radar field. Resolving the contradiction between the tendency to reduce radar visibility stealth and pinpoint aerial objects and features of existing radars on their detection requires the development of new alternative and non-traditional methods of radar stealth and pinpoint overhead objects, confirming the relevance of research and application.

**Analysis of the literature.** Principles and organizational framework radar described in the literature [1 - 14]. Evaluating the effectiveness of the use of diversity reception of signals in radar observation stations upon detection of small air objects brought in [15]. Method of increasing the detection zone of small objects in the air radar observation stations set out in the theses of the report [16].

The question of improving the efficiency of detection of small objects overhead by combining methods Injection and diversity reception of signals contained in the theses of the report [17]. The basic principles of the use of modern radar world explored in [18]. At the same time remain open issues related to solving the contradiction between the tendency to reduce radar visibility stealth and pinpoint aerial objects and features of existing radars on their detection.

**The article** is a research process efficiency in detecting radar stealth and pinpoint targets.

### Core material

Currently, promising ways to improve the detection of small and inconspicuous air facilities are [15]:

- the use of energy sources other radiation modes and implementing diversity reception;

- the use of resonant reflection properties of electromagnetic waves and subtle air of small objects when using wavelengths that are comparable to the size of the object;

- the benefits of diversity reception.

The use of multiposition radar system compared to the radar Injection [18] together with certain shortcomings have several advantages. As a Multi-transmitter radar can be used as a special (characteristics of the classical radar) and unconventional (external) transmitter that is not part of the system. With this construction system provides minimal energy consumption for the system.

At present the existing radar systems performing detection of stealth and pinpoint aerial objects in the field of illumination sources other radio and take advantage of diversity reception. As such sources are used transmitters broadcasting systems, cellular and others. In order to detect stealth aircraft and pinpoint objects with simultaneous use of its properties and effective surface scattering is necessary to provide a radar implementing their detection algorithm with its irradiated multiple transmitters. For this radar processing channels need to implement echo signals caused by the radiation of their own and third-party transmitters [7]:

- channel processing the echo signals reflected from stealth and pinpoint aerial objects at its irradiation transmitter, which combined with receivers (using properties effective surface scattering);

- channels of processing the echo signals reflected from stealth and pinpoint aerial objects at its irradiation transmitters are spaced (using properties effective surface scattering).

For processing the echo signals from each transmitter in the reception center must implement separate processing channels. The signals emitted by transmitters spaced, in general, can be incoherent with each other. As shown [7], the fluctuation amplitude of the reflected signals in monostatic and bistatic modes correspond to different distributions, so independent.

Algorithm for optimal processing signals reflected stealth and pinpoint objects in the air and regime should be based on the principle of non-coherent summing results agreed with appropriate compensation processing time and frequency shifts that would allow radar, to improve the quality of detection of small and inconspicuous air objects to realize multi incoherent detection method of union channels. This can be done by using additional outside sources of radiation. That is not possible without the improvement and implementation of multi-detection method stealth and pinpoint aerial objects incoherent union channels. Consider this method using radiation else.

Determines that while in stealth aircraft and pinpoint objects in the field of radiation transmitting multiple positions reflected from it echo signals at the location of the receiving position can be represented as:

$$Y_k(t, \vec{\lambda}) = \{S_{1k}(t, \vec{\lambda}_1), \dots, S_{ik}(t, \vec{\lambda}_i), \dots, S_{Nk}(t, \vec{\lambda}_n)\} \quad (1)$$

where  $Y_k(t, \vec{\lambda})$  - the combined signal to the receiving position at the location, which is caused by signals reflected from stealth and pinpoint aerial objects located in the k-th separate volume;  $S_{ik}(t, \vec{\lambda}_i)$  - and the second type of signal due and th transmitter and reflected by stealth and pinpoint aerial objects located in the k-th separate volume;  $\vec{\lambda}$  - vector informative parameters total signal composed of vectors  $\vec{\lambda}_i$ ;  $\vec{\lambda}_i$  - vector informative parameters of the echo signal and the second type;  $i=1, 2, \dots, N$  - the number of types of signals due to the number of gear positions, irradiated stealth and pinpoint aerial objects.

Each signal  $S_{ik}(t, \vec{\lambda}_i)$  which is part of the total signal (1) at the location of the receiving positions are mutually uncorrelated and can be accepted and processed according to individual receiving channels. Therefore, to enable processing of the entire set of signals  $Y_k(t, \vec{\lambda})$ , Reception center should consist of a combination of certain processing channels. Each receiving channel operates algorithm [8]:

$$Z_{ik} = \int_0^T \{Y_k(t, \vec{\lambda}) - D_{ik}(t, \vec{\lambda}_i)\} X_{ik}(t, \vec{\lambda}_i) dt \quad (2)$$

where  $Z_{ik}$  - the result of coordinated processing the echo signal and the second type received from stealth and pinpoint aerial objects located in the k-th separate volume;  $Y_k(t, \vec{\lambda})$  - the combined input signal at the output of the receiver, which is reflected by stealth and pinpoint aerial objects located in the k-th separate volume;  $D_{ik}(t, \vec{\lambda}_i)$  - standard grade component input, which is formed at the exit barriers for the equalizer and Channel processing and for the first separate volume;

$X_{ik}(t, \vec{\lambda}_i)$  - Expected (reference) signal and the second type for k-th separate volume.

Optimal aggregate processing signals, which is based on the principle of non-coherent summing results

coherent processing echo signals in the receiving channels and generates corresponding likelihood ratio has the form [7]:

$$L_1 = \sum_{i=1}^m \frac{A_{i1}^2}{N_i^2} |\tilde{Z}_i|^2, \quad (3)$$

and 
$$L_2 = \sum_{i=1}^m \frac{1}{N_i} |\tilde{Z}_i|^2 \quad (4)$$

where  $L_1, L_2$  - likelihood ratio of weak and strong signals, respectively;  $A_{i1} = P_i/P_1$  - the ratio of average power signals in the i-th and the first channel;  $N_i$  - sided power spectral density of white noise in the i-th channel;  $Z_i$  - the result of coherent processing of received signals in the i-th channel;  $m$  - number of non-coherent processing channels.

Optimal treatment (2), (3), (4) which provides detection of small and subtle air of irradiation facilities with multiple transmitters is reduced to a coherent processing received echo signals quadratic detection in each channel processing and weight summing outputs of detectors all channels. The weights depend on the signal / noise ratio and noise spectral density in the channels of processing. While processing channels are in a reception center, but emitters probing signals that cause the echo signals corresponding processing channels, separated in space. Thus, the echo signals reflected from one stealth and pinpoint air conditioned facilities and probing signals emitted from spatially separated positions, the receptionist positions will have different time delays and Doppler frequency. Therefore incoherent summation according to (3) or (4) must be implemented for each separate volume radiolokatsinoyi station prior to compensation of time delay and Doppler frequency for each reception channel to a separate volume radiolokatsinoyi station. With this in mind, the expressions (3) and (4) take the form:

$$L_1(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa) = \sum_{i=1}^m \frac{A_{i1}^2(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)}{N_i^2(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)} |\tilde{Z}_i(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)|^2 \quad (5)$$

and

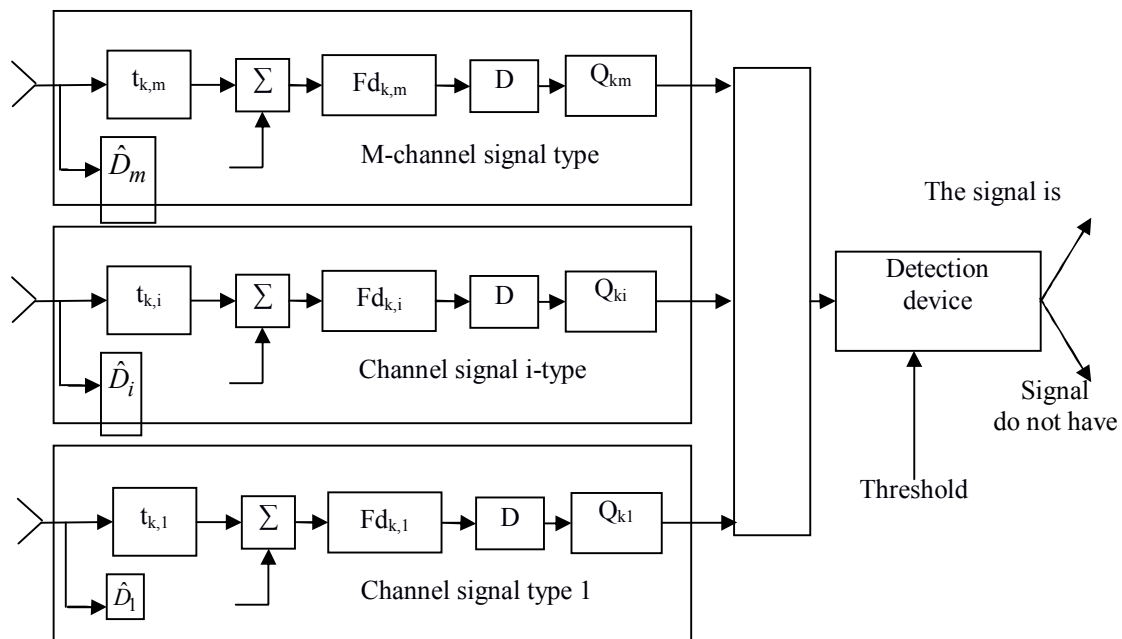
$$L_2(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{N_i(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)} |\tilde{Z}_i(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)|^2, \quad (6)$$

where  $L_1(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)$ ,  $L_2(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)$  - likelihood ratio of weak and strong signals in the k-th separate volume coordinates  $(d_k, \beta_k, \varepsilon_k)$  and for the first Doppler frequency  $F\partial_\kappa$  respectively;  $d_k, \beta_k, \varepsilon_k$  - range, azimuth and elevation responsible for th separate volume station;  $F\partial_\kappa$  - Doppler frequency, which is responsible for th separate channel Doppler frequency;  $A_{i1}(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_\kappa)$  - the ratio of average signal power

in the  $i$ -th and the first channel for the  $k$ -th separate volume and for the first Doppler frequency resolution station;  $N_i(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_k)$  - sided power spectral density of white noise in the  $i$ -th channel element, which is responsible for th separate volume and for the first opler frequency resolution station;  $\tilde{Z}_i(d_k, \beta_k, \varepsilon_k, F\partial_k)$  - the result of coherent processing of received signals in the  $i$ -th channel element, which is responsible for th separate volume and for the first Doppler frequency resolution station. As seen from expressions (2), (3), (4) each receiving channel and signal-type must be multi-in range (time delay) and speed (Doppler frequency).

Each channel compensation range operation erformed pereshkodovyh signals and channels formed

Fd1\_i speed ... Fdm\_i. The output of the high-speed amplitude detection channels after forming coherent processing results echo signal and the second type received from the software, which is a  $k$ -th separate volume for  $k$ -th speed channel ( $Z_{ik}$ ). Results coherent processing the echo signals arriving at the weighted summation. The weights ( $Q_{ki}$ ) are formed for each signal-type and each channel  $k$ -th distance and speed. The input adder come outputs of each channel signal and the second type, which correspond to the eponymous eponymous separate volume and channel speed. Some structural diagram of the device detection using stealth and pinpoint lights overhead objects more space-spaced transmitters that meets the eponymous separate volume and speed channel shown in Fig. 1.



**Fig. 1.** Block diagram of the detection device using the backlight stealth and pinpoint multiple objects overhead space-spaced transmitters, which corresponds to one volume and one separate speed channel

As shown in Fig. 1, the construction of the radar system consists of a receiving and transmitting multiple positions, the optimal detection device is multi-channel. Signals receiving channels are aligned to the delay according to the delay values  $tk1 \dots tkm$ , which is caused by the different distances between the receiving and transmitting positions. Aligned to delay signals are coherent Doppler processing and filtering ( $Fdk1 \dots Fdkm$ ), detected and summed with weights ( $Qk1 \dots Qkm$ ). The coefficients depend on the signal / noise ratio in the channel processing.

The output of the adder gained through the signal (calculated likelihood ratio) is fed to a threshold device, which is compared with the threshold value depends on the selected detection criteria (minimum average risk, minimax, Neyman-Pearson, ideal observer, etc.). depending on exceeding or not exceeding the threshold decision on the presence or absence of stealth and inpoint aerial objects in the  $k$ -th separate volume and speed  $k$ -th channel.

### Conclusions

1. The paper identified ways to improve detection of subtle and objects.
2. To identify and pinpoint subtle objects in the air radar stations by using radiation sources is necessary to ensure third-party reception processing coherent echo signals outside sources, differences in compensation for the delay and Doppler frequency relative volume separate radar, incoherent weighted summation.
3. In evaluating the performance of small and detect stealth aircraft objects using third-party sources of radiation necessary to consider the nature of the fluctuations of the amplitude of the echo signals resulting from the properties and effective surface scattering stealth and pinpoint aerial objects.
4. The proposed technical solutions should be used as the modernization of existing radars and in creating advanced radar designs.

## REFERENCES

1. Klimchenko V.I., Kukobko S.V., Tyutyunnik V.A., Byelavin A.V. Potential RTI radar to detect operational-tactical and tactical unmanned aerial vehicles. New technologies - to protect airspace: Abstracts reported. 13 Science. Conf. Hark. nat. Univ Air Force them. John Kozhedub (Kharkov 12-13 apr. 2017). H. : HNUPS, 2017. P. 210.
2. Kuzmin SZ Tsyfrovaya radiolocation. Introduction to the theory. K. : Publishing "KVITS." 2000. 428 p.
3. Radioelectronic systems: Fundamentals and building a theory. Directory / ed. Y.D. Shyrman. - 2nd ed. - Moscow: Radiotechnics, 2007. - 512 p.
4. Farina, A., F. Studer Tsyfrovaya obrabotku radyolokatsyonnoy information. Soprovozhdenye purposes. M. : Radio and omunication, 1993. 320 p.
5. Blyahman AB, IA Runov Effective Bystatycheskaya Square and scattering detection for objects in the radiolocation lumen. Radiotechnics and Electronics. 2001. T. 46. № 4. P. 424-432.
6. Blyahman AB, Myakynkov AV Рындык AG .. Measurement coordinate goals in trehkoordinatnyh bystatycheskyh with radar detection "in the lumen." Radiotechnics and Electronics. 2006. №4. P. 422-427.
7. Chernyak V. Mnohopozytysonnaya radiolocation. M. : Radio and communication. 1993. 416 p.
8. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>
9. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
- 10/ Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136. – DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020083>
11. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", Advanced Information Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
- 13/ Kuchuk G, Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
14. Kuchuk G, Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies. Zilina, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>*
15. Kowalewskii S. Evaluating the effectiveness of the use of diversity reception of signals in radar observation stations air the detection of small objects. Weapons systems and military equipment. Science journal. 2015. number 3 (43). S.89-92.
16. Kowalewski S.M., Tyutyunnik V.A., Hudov G.V. Method of increasing the detection zone of small objects in the air radar observation stations, radar troops. *New technologies - to protect airspace: Abstracts reported. 12 Science. Conf. Hark. Univ Air Force them. John Kozhedub (Kharkov 13-14 apr. 2016). H. : Hoopes, 2016. P. 187.*
17. Kowalewskii S.M., Hudov G.V., Lishchenko S.M. Improved detection of small objects overhead by combining methods Injection and diversity reception of signals. Creation and modernization of armament and military equipment in modern terms: Abstracts reported. 16 nauk.-Tech. Conf. (Chernihiv 8-9 sep. 2016). Chernigov: DNVTS, 2016 S. 128-130.
18. Griffiths HD From a Different Perspective: Principles, Practice and Potential of Bistatic Radar. International Conference on Radar. (Adelaide, Australia, 3-5 September 2003). Adelaide, 2003 R. 1-7.

Received (Надійшла) 11.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

**Дослідження виявлення радіолокаційними станціями малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів**

С. М. Ковалевський

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є виявлення радіолокаційними станціями малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів, що використовуються в народному господарстві в процесі їх експлуатації. **Метою статті** є дослідження процесу підвищення ефективності радіолокаційних станцій при виявленні малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів. **Задача, що вирішується**, – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику виявлення радіолокаційними станціями малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів дозволять підвищити ефективності радіолокаційних станцій при їх виявленні шляхом застосування приладу виявлення при використанні підсвічування малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів, що використовуються в народному господарстві, якій пропонується. В статті розглядається: перспективні шляхи підвищення ефективності виявлення малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів із одночасним використанням властивостей його бістатичної та моностатичної ефективної поверхні розсіювання, використання алгоритму оптимальної обробки сигналів, які відбиті малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів в моностатичному та бістатичному режимах, структурна схема виявлювача при використанні підсвічування малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів декількома просторово-рознесеними передавачами структурна схема приладу виявлення при використанні підсвічування малопомітних та малорозмірних повітряних об'єктів декількома просторово-рознесеними передавачами, яка відповідає одному роздільному об'єму та одному швидкісному каналу, що розробляється. **Висновки:** запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих радіолокаційних станцій, так і при створенні перспективних зразків радіолокаційних станцій.

**Ключові слова:** малопомітні та малорозмірні повітряні об'єкти, ефективна поверхня розсіювання, алгоритм оптимальної обробки сигналів.

V. Krasnobayev, S. Koshman

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine

## CONTROL AND CORRECTION OF DATA ERRORS IN A RESIDUE CLASS

**Abstract.** The **subject** of the research in the article is the methods of control and correction of single errors of integer data are presented in the residue class (RC), which allows to increase the efficiency of using RC when building computer systems and components. The **purpose** of the article is to develop a method for correcting single data errors in RC. **Tasks:** to study the code structures presented in RC to determine the possibility of control and correction of data errors; to investigate the effect of RC properties on data control and correction operations; to develop a method for correcting single data errors in RC. **Research methods:** methods of analysis and synthesis of computer systems, number theory, coding theory in RC. The following **results** are obtained. An analysis of the correcting capabilities of codes in RC showed the high efficiency of using non-positional code structures, which is due to the presence of primary and secondary redundancy in such structures. The article presents a method for correcting one-time data errors in RC. Examples of detecting and correcting data errors in RC code are given, which confirms the theoretical results obtained. **Conclusions.** Studies have shown that the use of codes in RC makes it possible to build an effective system for monitoring and correcting data errors with the introduction of minimal code redundancy. That is, when certain conditions are met, the introduction of one control base allows not only monitoring, but also correction of single data errors.

**Keywords:** non-positional code structure, residue classes, positional numeral systems, minimum code distance, error-control coding, data control and correction.

### Introduction

In general, in order to verify, diagnose and correct errors a code structure requires a certain error-correcting capability. In this case, code is required to be introduced to data duplication, i.e. information redundancy should be implemented. All of the above fully refers to a non-positional code structure (NCS) in residue classes (RC) [1-3]. For each random RC the amount of redundancy  $R = M_0 / M$  uniquely determines correction capability of a non-positional error-correcting code. Error correcting codes in RC can have any given values of minimum code distance (MCD)  $d_{\min}^{(RC)}$ , which depends on the value of redundancy  $R$ . The acquainted theorem [1-2] establishes a link between error-correcting code redundancy  $R$ , the value of MCD  $d_{\min}^{(RC)}$ , and the amount of RC check bases  $k$ .

Error-correcting code has MCD values  $d_{\min}^{(RC)}$  in case when the degree of redundancy  $R$  is not less than the product  $d_{\min}^{(RC)} - 1$  of RC bases.

On the one hand we get

$$R \geq \prod_{i=1}^{d_{\min}^{(RC)} - 1} m_{q_i},$$

but on the other hand

$$R = M_0 / M = \prod_{i=1}^{n+k} m_i / \prod_{i=1}^n m_i = \prod_{i=1}^k m_{n+i}.$$

In this case, it's correct to state that

$$d_{\min}^{(RC)} - 1 = k,$$

or

$$d_{\min}^{(RC)} = k + 1. \quad (1)$$

There are two approaches to solve the problem of providing NCS with all required error-correcting properties in RC.

The first approach. If the requirements for error-correcting properties of NCS are known, for example, depending on amount of errors being detected  $t_{\det.}$  or corrected  $t_{cor.}$  required information redundancy  $R$  should be introduced, using the amount of  $k$  or the value  $\{m_{n-k}\}$  of check bases. Redundancy  $R$  determines minimum code distance  $d_{\min}^{(RC)}$  of NCS in RC. Then, according to the error-control coding (ECC) theory for an ordered ( $m_i < m_{i+1}$ ) RC we have that

$$t_{\det.} \leq d_{\min}^{(RC)} - 1, \quad (2)$$

$$t_{\det.} \leq k; \quad (3)$$

$$t_{cor.} \leq \left[ \left( d_{\min}^{(RC)} - 1 \right) / 2 \right], \quad (4)$$

$$t_{cor.} \leq \lceil k/2 \rceil. \quad (5)$$

The second approach. For a given NCS

$$A_{RC} =$$

$$= (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel \dots \parallel a_{n+k})$$

(for a given value  $k$ ) its error-correcting capabilities (determined by the  $d_{\min}^{(RC)}$  value) of RC code are defined by the expressions (3) and (5).

Note that, if an ordered RC is extended by adding  $k$  check bases to  $n$  information modules, then MCD  $d_{\min}^{(RC)}$  of the error-correcting code is increased by the value  $k$  (see expression (1)).

The values of  $d_{\min}^{(RC)}$  can be also increased by decreasing the number  $n$  of information bases, i.e. by transitioning to less accurate calculations. It's clear that in RC between error-correcting  $R$  properties of error-control codes and calculation accuracy  $W$  inverse proportion exists. The same computer can perform arithmetical calculations or any other math operations both

with high  $W$  accuracy but a low error-correcting  $R$  capability and with lower  $W$  accuracy, but with a higher capability  $R$  of error detection and correction in order to verify, diagnose and correct data faults, as well as to demonstrate higher data processing performance (the time to execute basic operations is inversely proportional to  $n$  information bases in RC) [2-4].

**The purpose** of the article is to develop a method for correcting single data errors in RC.

**The main part**

Now we'll analyze the process of single-error correcting data capability in RC given the minimal information redundancy by introduction of a single ( $k=1$ ) check base.

In this case, according to the error control coding theory in RC [1, 5], MCD is equal to the value

$$d_{\min}^{(RC)} = k + 1.$$

If  $k=1$ , then MCD is  $d_{\min}^{(RC)} = 2$ , which, according to the general error control coding theory, ensures any single-error detection (an error in one of the residues  $a_i$  ( $i = \overline{1, n+1}$ )) in NCS.

In general, just as in the positional numeral system (PNS), the process of data error correction in RC consists of three stages.

The first stage – data checking (correctness or incorrectness verification of the initial number  $A_{RC}$ ). On the second stage diagnosing the false  $\tilde{A}_{RC}$  number (detection of a single corrupted residue  $\tilde{a}_i$  of the number  $\tilde{A}_{RC}$  to the base  $m_i$  in RC). And, finally, on the third stage correcting the invalid residue  $\tilde{a}_i$  to its true value  $a_i$  of the number, i.e. correcting false  $\tilde{A}_{RC}$  number (getting the correct number  $A_{RC} = \tilde{A}_{cor}$ ).

The degree of information redundancy  $R$  (code error-correcting property) is estimated by the value of MCD  $d_{\min}^{(PNS)}$ . As previously noted, the value of MCD is defined by the ratio  $d_{\min}^{(RC)} = k + 1$ , where  $k$  is the amount of check bases in an ordered RC.

Let's start with the NCS

$$A_{RC} = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel \dots \parallel a_{n+k})$$

in RC having a minimal ( $k=1$ ) additional information redundancy. In this situation it's considered that

$$d_{\min}^{(RC)} = 2.$$

According to the error control coding theory in PNS if the minimum code distance is granted to be

$$d_{\min}^{(PNS)} = 2,$$

a single error in a code structure is ensured to be detected. In PNS a single error is understood as a corruption of a single information bit, for instance  $0 \rightarrow 1$  or  $1 \rightarrow 0$ . In order to correct this single error it's required to ensure the condition, when

$$d_{\min}^{(PNS)} = 3.$$

Contrary to PNS, a single error in RC is understood as a corruption of a single residue  $a_i$  modulo  $m_i$ . Inasmuch as the residue  $a_i$  of the number  $A_{RC}$  modulo  $m_i$  contains  $z = \{\lceil \log_2(m_i - 1) \rceil + 1\}$  binary bits, then it's formally correct to be considered that if

$$d_{\min}^{(RC)} = 2 \quad (k=1)$$

is within limits of a single residue  $a_i$ , an error cluster can be detected in RC, with its length not exceeding  $z$  binary bits. However, in RC, as it is shown in literature [1, 2, 6], there are some cases when a single error can be corrected while

$$d_{\min}^{(RC)} = 2.$$

In the light of specific features and properties of NCS representation in RC an error-correcting capability given

$$d_{\min}^{(RC)} = 2$$

can be explained in the following manner.

1. A single error in PNS and in RC are different concepts, as it was shown before. With that being said, MCD  $d_{\min}^{(PNS)}$  for PNS and  $d_{\min}^{(RC)}$  for RC has different meaning and measure.

2. Existing (implicitly) intrinsic (natural, primal) information redundancy in NCS, being stored in residues  $\{a_i\}$  due to their forming procedure, has a positive effect (from the perspective of increasing data jam-resistance, transfer and processing reliability) that kicks in only with the presence of a subsidiary (artificial, secondary) information redundancy.

An artificial information redundancy in NCS is being introduced by using (additionally to  $n$  information bases)  $k$  check bases in RC. A distinguishing feature of RC is its significant display of the intrinsic information redundancy only if the subsidiary one is also present, due to introduction of check bases.

3. As shown in [6-8], error control code in RC with mutually prime bases has the MCD value of  $d_{\min}^{(RC)}$  only if the information redundancy level is not less than the product of any  $d_{\min}^{(RC)} - 1$  bases of a given RC.

The availability and interaction of primary and secondary redundancies during the subsidiary tests (time redundancy usage) of error-correcting process, which may provide a single-error error-correcting capability in RC, while  $d_{\min}^{(RC)} = 2$  (given  $k=1$ ).

Indeed, according to the expressions (3) and (5) for an ordered RC following conclusions can be made: with a single ( $k=1$ ) check base  $m_{n+1}$  in RC, the NCS

$$A = (a_1 \parallel a_2 \parallel \dots \parallel a_{i-1} \parallel a_i \parallel a_{i+1} \parallel \dots \parallel a_n \parallel a_{n+1})$$

can have several values of  $d_{\min}^{(RC)}$ . In this case, it depends on the value of check residue  $m_{n+1}$ . If, for every

different RC modulus condition  $m_i < m_{n+1}$  ( $i = \overline{1, n}$ ) is met, then conclusion can be made that  $d_{\min}^{(RC)} = 2$ , as according to the expression (1), and  $t_{\det.} = 1$ , according to the expression (2). If the condition  $m_i \cdot m_j < m_{n+1}$  ( $i, j = \overline{1, n}; i \neq j$ ) is met across the totality of  $\{m_i\}$  information bases for a random modulus pair, then

$$d_{\min}^{(RC)} = 3 \text{ and } t_{\det.} = 2.$$

Thus, for the NCS in RC given  $k = 1$ , the MCD  $d_{\min}^{(RC)}$  can vary, depending on the value of RC check base  $m_{n+1}$ . Assume, RC is given information bases  $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7$  and moreover  $m_k = m_{n+1} = m_5 = 11$ . In this case error verification of any single corrupted NCS residue can be ensured.

Number representation specificity in RC in some cases allows not only to detect an error, but to find a place of its occurrence with the use of a single check base, which would be impossible to do in the PNS, utilizing existing methods of detecting and correcting errors.

Let's assume, that in the corrupted ( $\tilde{A} \geq M$ ) number

$$\tilde{A} = (a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{i-1} \| \tilde{a}_i \| a_{i+1} \| \dots \| a_n \| a_{n+1})$$

the error

$$\tilde{a}_i = (a_i + \Delta a_i) \bmod m_i$$

is verified to be present in the residue  $a_i$  modulo  $m_i$ .

We'll take a look at the ratio, which makes it possible to correct an error in a given residue  $\tilde{a}_i$  [1].

It's clear that:

$$\tilde{A} = (A + \Delta A) \bmod M_0 \quad (6)$$

Basing on that the error magnitude can be equated to

$$\Delta A = (0 \| 0 \| \dots \| 0 \| \Delta a_i \| 0 \| \dots \| 0 \| 0),$$

then the correct ( $A < M$ ) number  $A$  can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} A &= (\tilde{A} - \Delta A) \bmod M_0 = \\ &= [(a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{i-1} \| \tilde{a}_i \| a_{i+1} \| \dots \| a_n \| a_{n+1}) - \\ &\quad - (0 \| 0 \| \dots \| 0 \| \Delta a_i \| 0 \| \dots \| 0 \| 0)] \bmod M_0 = \\ &= [a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{i-1} \| (\tilde{a}_i - \Delta a_i) \bmod m_i \| a_{i+1} \| \dots \\ &\quad \dots \| a_n \| a_{n+1}] \bmod M_0. \end{aligned}$$

We'll quantify the value of  $A$ . Inasmuch number  $A$  is correct, i.e. is contained in numerical interval  $[0, M)$ , then the following inequality will be fulfilled:

$$A = (\tilde{A} - \Delta A) \bmod M_0 < M. \quad (7)$$

Basing on the value of the error  $\Delta A$  is equal to

$$\Delta A = \Delta a_i \cdot B_i,$$

then the inequality (7) will be expressed as:

$$\begin{aligned} \tilde{A} - \Delta a_i \cdot B_i - r \cdot M_0 &< M \text{ or} \\ \tilde{A} - \Delta a_i \cdot B_i - r \cdot M_0 &< M_0 / m_{n+1} (r = 1, 2, 3, \dots), \\ \tilde{A} - (\tilde{a}_i - a_i) \cdot B_i - r \cdot M_0 &< M_0 / m_{n+1}, \\ \tilde{A} - (a_i - \tilde{a}_i) \cdot B_i - r \cdot M_0 &< M_0 / m_{n+1}, \\ (a_i - \tilde{a}_i) \cdot B_i &< M_0 / m_{n+1} - \tilde{A} + r \cdot M_0, \\ a_i - \tilde{a}_i &< (M_0 / m_{n+1}) / B_i - \tilde{A} / B_i + r \cdot M_0 / B_i, \\ a_i &< \tilde{a}_i + (M_0 / m_{n+1}) / B_i - \tilde{A} / B_i + r \cdot M_0 / B_i. \end{aligned} \quad (8)$$

Since the orthogonal base of RC module  $m_i$  takes the form of  $B_i = \bar{m}_i \cdot M_0 / m_i$ , then the expression (8) shows up as:

$$\begin{aligned} a_i &< \tilde{a}_i + (m_i + r \cdot m_i \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i \text{ or} \\ a_i &< \tilde{a}_i + m_i (1 + r \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i. \end{aligned} \quad (9)$$

Inasmuch as the value of the residue  $a_i$  is a natural number, then the value of

$$m_i (1 + r \cdot m_{n+1}) / (\bar{m}_i \cdot m_{n+1}) - \tilde{A} / B_i,$$

as shown in the expression (9), should be an integer.

Thus, taking an integral part of the last ratio, the formula for correcting error in the residue  $\tilde{a}_i$  of the number  $\tilde{A}$  will be:

$$a_i = (\tilde{a}_i + [m_i \cdot \frac{(1 + r \cdot m_{n+1})}{(\bar{m}_i \cdot m_{n+1})} - \tilde{A} / B_i] \bmod m_i). \quad (10)$$

We'll have a look at the examples of error correction in RC.

Example №1. Perform data verification of the number

$$A_{RC} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$$

and correct it if required, when RC was given information  $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_5 = 7$  and check  $m_k = m_5 = 11$  bases.

Thereby,

$$M = \prod_{i=1}^n m_i = \prod_{i=1}^4 m_i = 420$$

and

$$M_0 = M \cdot m_{n+1} = 420 \cdot 11 = 4620.$$

Orthogonal RC bases  $B_i$  ( $i = \overline{1, n+1}$ ) and their weights are equal

$$B_1 = (1 \| 0 \| 0 \| 0 \| 0) = 1540, \bar{m}_1 = 1;$$

$$B_2 = (0 \| 1 \| 0 \| 0 \| 0) = 3465, \bar{m}_2 = 3;$$

$$B_3 = (0 \| 0 \| 1 \| 0 \| 0) = 3696, \bar{m}_3 = 4;$$

$$B_4 = (0 \| 0 \| 0 \| 1 \| 0) = 2640, \bar{m}_4 = 4;$$

$$B_5 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 1) = 2520, \bar{m}_5 = 6.$$

I. Data verification of  $A_{RC} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$ . According to the control procedure [1] the value will be defined as:

$$\begin{aligned} A_{PNS} &= \left( \sum_{i=1}^{n+1} a_i \cdot B_i \right) \bmod M_0 = \left( \sum_{i=1}^5 a_i \cdot B_i \right) \bmod M_0 = \\ &= (0 \cdot 1540 + 0 \cdot 3465 + 0 \cdot 3696 + 0 \cdot 2640 + \\ &+ 5 \cdot 2520) \bmod 4620 = (5 \cdot 2520) \bmod 4620 = \\ &= 12600 \bmod 4620 = 3360 > 420. \end{aligned}$$

Thus, in the process of data verification it was evaluated, that

$$A_{RC} = 3360 > M = 420.$$

In this case, with the possibility of only single errors appearing, conclusion is made that the number in question  $\tilde{A}_{3360} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$  is incorrect ( $3360 > M = 420$ ).

In order to correct the number  $\tilde{A}_{3360} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$  data is required to be verified first, i.e. corrupted residue  $\tilde{a}_i$  has to be detected. Once done, the true value of the residue  $a_i$  modulo  $m_i$  needs to be defined, whereupon the corrupted residue  $\tilde{a}_i$  should be corrected.

II. Data diagnosing of  $\tilde{A}_{3360} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$ . According to the mapping method [1, 2], possible projections  $\tilde{A}_j$  of the number  $\tilde{A}_{3360} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$  are:

$$\tilde{A}_1 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5), \tilde{A}_2 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5),$$

$$\tilde{A}_3 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5), \tilde{A}_4 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$$

$$\text{and } \tilde{A}_5 = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 0).$$

Computational formula for the values  $\tilde{A}_{jPNS}$  of PNS number projections is written as [1]:

$$\tilde{A}_{jPNS} = \left( \sum_{i=1, j=1, n+1}^n (a_i \cdot B_{ij}) \right) \bmod M_j. \quad (11)$$

According to the expression (11) we'll compute all the values of  $\tilde{A}_{jPNS}$ . Once done, we will make  $(n+1)$  comparison of the  $\tilde{A}_{jPNS}$  numbers to the number  $M = M_0 / m_{n+1}$ . If there are any numbers not being contained in the informational numeric interval  $[0, M)$ , which contains  $k$  correct numbers (i.e.  $\tilde{A}_k \geq M$ ), among  $\tilde{A}_i$  projections, then conclusion is made that these  $k$  residues of the number  $A$  are not corrupted. Only the residues among the rest  $[(n+1) - k]$  number  $\tilde{A}_{RC}$  residues can be false.

The set of and the totality of the quotient  $B_{ij}$  orthogonal bases are shown in Table 1 respectively.

Table 1 – The totality of the quotient orthogonal RC bases

$B_{ij}$	$i$	1	2	3	4
$j$					
1		385	616	1100	980
2		385	231	330	210
3		616	693	792	672
4		220	165	396	540
5		280	105	336	120

Now then (Table 1):

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{1PNS} &= \left( \sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i1} \right) \bmod M_1 = (0 \cdot 385 + 0 \cdot 616 + \\ &+ 0 \cdot 1100 + 5 \cdot 980) \bmod 1540 = 280 < 420. \end{aligned}$$

Arriving at conclusion, that the residue  $a_1$  of the number  $\tilde{A}_1$  is possibly a corrupted residue  $\bar{a}_1$ ;

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{2PNS} &= \left( \sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i2} \right) \bmod M_2 = (0 \cdot 385 + 0 \cdot 231 + \\ &+ 0 \cdot 330 + 5 \cdot 210) \bmod 1155 = 1050 > 420. \end{aligned}$$

Hence, the residue  $a_2$  is ensured being not corrupted;

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{3PNS} &= \left( \sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i3} \right) \bmod M_3 = (0 \cdot 616 + 0 \cdot 693 + \\ &+ 0 \cdot 792 + 5 \cdot 672) \bmod 924 = 588 > 420. \end{aligned}$$

Deduced, the residue  $a_3$  is ensured being not corrupted;

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{4PNS} &= \left( \sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i4} \right) \bmod M_4 = \\ &= (0 \cdot 220 + 0 \cdot 165 + 0 \cdot 369 + 5 \cdot 540) \bmod 660 = 60 < 420. \end{aligned}$$

Conclusion: the residue  $a_4$  modulo  $m_4$  of the number  $\tilde{A}_4$  is possibly a corrupted residue  $\bar{a}_4$ .

$$\tilde{A}_{5PNS} = \left( \sum_{i=1}^4 a_i \cdot B_{i5} \right) \bmod M_5.$$

Since  $M_5 = M = 420$ , the residue  $\bar{a}_5$  of the check module  $m_k = m_5$  will be always among the totality of possibly corrupted residues  $\bar{a}_i$  of RC number.

Overall conclusion. During data diagnosing of  $\tilde{A} = (0 \| 0 \| 0 \| 0 \| 5)$  in NCS, the residues  $a_2 = 0$  and  $a_3 = 0$  were ensured not being corrupted. The residues to the bases  $m_1, m_4$  and  $m_5$  might be corrupted, i.e. the residues  $\bar{a}_1 = 0, \bar{a}_4 = 0$  and  $\bar{a}_5 = 5$ .



In this case it's required to correct the residues  $\bar{a}_1$ ,  $\bar{a}_4$  and  $\bar{a}_5$ .

III. Correcting data errors  $\tilde{A}_{3360} = (0\|0\|0\|0\|5)$ . According to the acquainted [1] expression:

$$a_i = \left( \bar{a}_i + \left[ \frac{m_i \cdot (1+r \cdot m_{n+1})}{m_{n+1} \cdot \bar{m}_i} - \frac{\tilde{A}}{B_i} \right] \right) \bmod m_i \quad (12)$$

we will correct possibly  $\bar{a}_1$ ,  $\bar{a}_4$  and  $\bar{a}_5$  corrupted residues  $a_1$ ,  $a_4$  and  $a_5$ , where  $r = 1, 2, 3, \dots$

It turns out that:

$$\begin{aligned} a_1 &= \left( \bar{a}_1 + \left[ \frac{m_1 \cdot (1+r \cdot m_{n+1})}{m_{n+1} \cdot \bar{m}_1} - \frac{\tilde{A}}{B_1} \right] \right) \bmod m_1 = \\ &= \left( 0 + \left[ \frac{3 \cdot (1+r \cdot 11)}{11 \cdot 1} - \frac{3360}{1540} \right] \right) \bmod 3 = 1; \\ a_4 &= \left( \bar{a}_4 + \left[ \frac{m_4 \cdot (1+r \cdot m_{n+1})}{m_{n+1} \cdot \bar{m}_4} - \frac{\tilde{A}}{B_4} \right] \right) \bmod m_4 = \\ &= \left( 0 + \left[ \frac{7 \cdot 12}{11 \cdot 4} - \frac{3360}{2640} \right] \right) \bmod 7 = 0; \\ a_5 &= \left( \bar{a}_5 + \left[ \frac{m_{n+1} \cdot (1+r \cdot m_{n+1})}{m_{n+1} \cdot \bar{m}_{n+1}} - \frac{\tilde{A}}{B_5} \right] \right) \bmod m_{n+1} = \\ &= \left( 5 + \left[ \frac{11 \cdot (1+11)}{11 \cdot 6} - \frac{3360}{2520} \right] \right) \bmod 11 = 0. \end{aligned}$$

With accordance to the computed residues  $a_1 = 1$ ,  $a_4 = 0$  and  $a_5 = 0$  we are correcting (recovering) the corrupted number  $\tilde{A}_{3360} = (0\|0\|0\|0\|5)$ , i.e. the corrected number becomes  $\tilde{A}_{cor.} = (1\|0\|0\|0\|5)$ .

To validate corrected data, as according to the acquainted [1] expression, we'll define the value of the number  $\tilde{A}_{cor.} = (1\|0\|0\|0\|5)$  in the following way:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{cor.} \cdot PNS &= \left( \sum_{i=1}^5 a_i \cdot B_i \right) \bmod M_0 = (a_1 \cdot B_1 + a_2 \cdot B_2 + \\ &+ a_3 \cdot B_3 + a_4 \cdot B_4 + a_5 \cdot B_5) \bmod M_0 = (1 \cdot 1540 + \\ &+ 0 \cdot 3465 + 0 \cdot 3696 + 0 \cdot 2640 + 5 \cdot 2520) \bmod 4620 = \\ &= 14140 \bmod 4620 = 280. \end{aligned}$$

Thus  $280 < M = 420$ , the number  $\tilde{A}_{280} = (1\|0\|0\|0\|5)$  is correct.

In order to validate correctness of the number  $\tilde{A}_{3360}$  we'll make a computation and comparison of the values to the correct residues  $a_2 = 0$  and  $a_3 = 0$ . In this case they are

$$a_2 = \left( 0 + \left[ \frac{4 \cdot (1+11)}{11 \cdot 3} - \frac{3360}{3465} \right] \right) \bmod 4 = 0$$

and

$$a_3 = \left( 0 + \left[ \frac{5 \cdot (1+11)}{11 \cdot 4} - \frac{3360}{3696} \right] \right) \bmod 5 = 0.$$

The resulted computations  $a_2 = 0$  and  $a_3 = 0$  of the residues modulo  $m_2$  and  $m_3$  in RC verified correctness of the corrupted number  $\tilde{A}_{3360} = (0\|0\|0\|0\|5)$ . Thus, the original number  $\tilde{A}_{RC} = (0\|0\|0\|0\|5)$  is corrupted  $\tilde{A}_{3360}$ , wherein the single error  $\Delta a_1 = 1$  occurred modulo  $m_1$ . This error made the correct number  $A_{280}$  being corrupted  $\tilde{A}_{3360}$ .

In order to verify if the correct number  $A_{280}$  is true, subsidiary tests on the process of corruption and correction of the number  $A_{280}$  modulo  $m_1 = 3$  are required. The amount of possible  $N_{CC}$  incorrect (corrupted)  $\tilde{A}_{RC}$  codewords (if only a single error occurred) for each correct  $A_{RC}$  number are

$$N_{CC} = \sum_{i=1}^{n+1} m_i - (n+1).$$

Test results have shown that corruption of the residue  $a_1$  modulo  $m_1 = 3$  of the correct number  $A_{280}$  can produce only two incorrect numbers:  $\tilde{A}_{3360} = (\tilde{0}\|0\|0\|0\|5)$  and  $\tilde{A}_{1820} = (\tilde{2}\|0\|0\|0\|5)$ . This points to the fact that the corrected number  $A_{cor.} = A_{280} = (1\|0\|0\|0\|5)$  is both correct (is contained in the interval  $[0, 420)$ ) and true. The trueness of the resulted number  $A_{280} = (\hat{1}\|0\|0\|0\|5)$  is confirmed by the fact that the single error  $\Delta a_1 = 2$  to the base  $m_1 = 3$  converts  $(\tilde{A} = (A + \Delta A) \bmod M_0 = (1\|0\|0\|0\|5) + (2\|0\|0\|0\|0) = [(1+2) \bmod 3\|0\|0\|0\|5] = (\tilde{0}\|0\|0\|0\|5))$  this number to the unique incorrect number  $\tilde{A}_{3360} = (\tilde{0}\|0\|0\|0\|5)$ .

Example №2. Assume, the correct number is  $A_{280} = (1\|0\|0\|0\|5)$  and assume that  $\Delta a_1 = 1$ . In this case

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= (A + \Delta A) \bmod M_0 = (1\|0\|0\|0\|5) + (1\|0\|0\|0\|0) \\ &= [(1+1) \bmod 3\|0\|0\|0\|5] = (\tilde{2}\|0\|0\|0\|5). \end{aligned}$$

This RC number is relevant to the number 1820 in PNS, i.e. the number  $\tilde{A}_{1820}$  is incorrect. We'll correct the number  $\tilde{A}_{1820}$  now.

Data diagnosing should be made ahead of correcting the number  $\tilde{A}_{1820}$ . To do this we'll map projections  $A_j$  ( $j = \overline{1, 5}$ ) of the number  $\tilde{A}_{1820} = (2\|0\|0\|0\|5)$  first. Resulted RC code structures are:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 &= (0\|0\|0\|0\|5), \quad \tilde{A}_2 = (2\|0\|0\|0\|5), \\ \tilde{A}_3 &= (2\|0\|0\|0\|5), \quad \tilde{A}_4 = (2\|0\|0\|0\|5), \quad \tilde{A}_5 = (2\|0\|0\|0\|0). \end{aligned}$$

All the projections of  $\tilde{A}_{jPNS}$  are:

$$\tilde{A}_{1PNS} = (5 \cdot 980) \bmod 1540 = 280 < 420 = M ;$$

$$\tilde{A}_{2PNS} = 1925 \bmod 1155 = 770 > 420 = M ;$$

$$\tilde{A}_{3PNS} = 4592 \bmod 924 = 896 > 420 = M ;$$

$$\tilde{A}_{4PNS} = 3140 \bmod 660 = 500 > 420 = M ;$$

$$\tilde{A}_{5PNS} = 560 \bmod 420 = 140 < 420 = M .$$

Inasmuch as  $\tilde{A}_{2PNS}$ ,  $\tilde{A}_{3PNS}$  and  $\tilde{A}_{4PNS} > 420$ , the conclusion is made that the residues  $a_2 = 0$ ,  $a_3 = 0$  and  $a_4 = 0$  of the number  $\tilde{A}_5 = (2 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 5)$  are not corrupted. Only the residues  $a_1$  and  $a_5$  can be corrupted  $\bar{a}_1 = 2$  and  $\bar{a}_5 = 5$ .

We obtain, that:

$$a_1 = \left( \bar{a}_1 + \left[ \frac{m_1 \cdot (1 + r \cdot m_{n+1})}{m_{n+1} \cdot \bar{m}_1} - \frac{\tilde{A}}{B_1} \right] \right) \bmod m_1 =$$

$$= \left( 2 + \left[ \frac{3 \cdot (1 + 11)}{11 \cdot 1} - \frac{1820}{1540} \right] \right) \bmod 3 =$$

$$= (2 + [3, 27 - 1, 18]) \bmod 3 = 4 \bmod 3 = 1 .$$

Hence, the corrected residue modulo  $m_1$  is  $a_1 = 1$ .

In a like manner the residue  $a_5 = 5$ . Applying the results  $a_1$  and  $a_5$  the corrupted number

$$\tilde{A}_{1820} = (\tilde{2} \parallel 0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 5)$$

is corrected. As a final result the corrected number is

$$A_{280} = (1 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 0 \parallel 5) .$$

### Conclusions of research

Contrary to PNS (positional numeral system), arithmetic RC (residue class) codes feature additional correcting properties. Thus, NCS (non-positional code structure) involves both intrinsic and subsidiary information redundancies, that in some cases results in allowing to correct single errors in RC, while MCD is  $d_{\min}^{(RC)} = 2$ . However, correcting single errors requires performing subsidiary tests of data checking, i.e. time redundancy usage, additionally to information redundancy. Examples of specific implementation of a single error correcting procedures were introduced, that prove reviewed method is possible to be implemented in order to correct data errors in RC.

### REFERENCES

1. Akushskii, I. Ya., Yuditskiy, D.I. (1968), *Arithmetic in the residual classes*, Sov.radio, 440 p.
2. Krasnobayev, V., Kuznetsov, A., Lokotkova, I., and Dyachenko, A. (2019), "The Method of Single Errors Correction in the Residue Class," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*.
3. Tariq Jamil (2013), *Complex Binary Number System. Algorithms and Circuits*. India: Springer. 83 p.
4. Ananda Mohan (2016), *Residue Number Systems*. Birkhäuser Basel. 351 p.
5. Chervyakov, N. I. "Residue-to-binary conversion for general moduli sets based on approximate Chinese remainder theorem", *International Journal of Computer Mathematics*. 2017. T. 94, №. 9. C. 1833-1849.
6. Kasianchuk, M., Yakymenko, I., Pazdriy, I. and Zastavnyy, O. (2015), "Algorithms of findings of perfect shape modules of remaining classes system," *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, Lviv, pp. 316-318. doi: 10.1109/CADSM.2015.7230866.
7. Krasnobayev, V. A., Koshman, S. A. and Mavrina, M. A. (2014), "A method for increasing the reliability of verification of data represented in a residue number system" *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 50, Issue 6, pp. 969-976.
8. Krasnobayev, V. A., Yanko, A. S. and Koshman S. A. (2016), "A Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 52, Issue 1, pp. 145-150, January.

Received (Надійшла) 11.01.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.02.2020

### Контроль та корекція помилок даних у класі лишків

В. А. Краснобаєв, С. О. Кошман

**Анотація.** Предметом дослідження у статті є методи контролю та корекції одноразових помилок цілочислових даних, які представлені у класі лишків (КЛ), що дозволяє підвищити ефективність використання КЛ при побудові комп'ютерних систем і компонентів. **Метою** статті є розробка методу корекції одноразових помилок даних у КЛ. **Завдання:** провести аналіз кодових структур представлених у КЛ для визначення можливості контролю та корекції помилок даних; дослідити вплив властивостей КЛ на проведення операцій контролю і корекції даних; розробити метод корекції одноразових помилок даних в КЛ. **Методи дослідження:** методи аналізу та синтезу комп'ютерних систем, теорія чисел, теорія кодування у КЛ. Отримані наступні **результати.** Аналіз коригувальних можливостей кодів у КЛ показав високу ефективність використання непозиційних кодових структур, яка обумовлена наявністю в таких структурах первинної і вторинної надмірності. У статті представлено метод виправлення одноразових помилок даних у КЛ. Наведено приклади виявлення та виправлення помилок даних у коді КЛ, що підтверджує отримані теоретичні результати. **Висновки.** Проведені дослідження показали, що використання кодів у КЛ дає можливість побудови ефективної системи контролю та корекції помилок даних при введенні мінімальної кодової надмірності. Тобто, при виконанні певних умов, введення однієї контрольної основи дозволяє не тільки проводити контроль, а й виконувати корекцію одноразових помилок даних.

**Ключові слова:** непозиційних кодова структура, клас відрахувань, позиційна система числення, мінімальна кодова відстань, завадостійке кодування, контроль і корекція даних.

А. О. Москаленко<sup>1</sup>, Г. В. Сокол<sup>2</sup>, Ю. В. Глуховець<sup>1</sup>, В. В. Варич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Полтавський інститут бізнесу ПВНЗ «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», Полтава, Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ З АДАПТАЦІЄЮ ПО ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ДОСКОНАЛИХ ДВІЙКОВИХ МАТРИЦЬ

**Анотація.** Предметом дослідження є методи та моделі формування сигналів адаптивних видів модуляції. **Мета:** забезпечення високої пропускної здатності та спектральної ефективності, для даних умов розповсюдження радіохвиль, шляхом використання запропонованої моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. **Результати досліджень.** В роботі представлено результати аналізу напрямів розвитку та основних властивостей безпроводових мереж передачі даних. Встановлено, що лише у разі забезпечення комплексу розглянутих властивостей, безпроводова мережа може виконувати своє функціональне призначення – забезпечувати доставляння повідомлень у необхідному обсязі й із заданою якістю. Розглянуто принципи реалізації методів адаптивної модуляції в перспективних засобах бездротового зв'язку. Використання адаптивної модуляції дозволяє забезпечити найкращу пропускну здатність для даних умов розповсюдження радіохвиль, розглянута в роботі схема адаптивної модуляції дозволить звести ймовірність виникнення помилки в передачі до мінімуму. Запропоновано математичну модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Розглянуто основні принципи функціонування пристрою управління моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. **Висновки та область застосування результатів досліджень.** Запропонована математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Використання запропонованих сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць дозволить забезпечити високу пропускну здатність та спектральну ефективність, для даних умов розповсюдження радіохвиль, перспективних радіоінтерфейсів.

**Ключові слова:** мережі безпроводового зв'язку, модуляція циклічним зсувом коду, адаптивна модуляція, досконалі двійкові матриці.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відповідно до [1] основними напрямками розвитку телекомунікацій в Україні є: створення сучасних широкосмугових мультисервісних транспортних мереж на основі єдиних протоколів, сумісних з інтернет-протоколами; розвиток широкосмугового абонентського доступу з використанням перспективних технологічних рішень; прискорення запровадження радіотехнологій рухомого зв'язку та використання систем абонентського радіодоступу; модернізація та розвиток спеціальних телекомунікаційних мереж для задоволення потреб національної безпеки та оборони держави – мереж Державної системи урядового зв'язку, національної системи конфіденційного зв'язку, спеціальної позаміської мережі зв'язку, мереж Воєнної організації держави; забезпечення мереж рухомого телефонного зв'язку за допомогою поступового переходу до мереж наступних поколінь з конвергенцією інформаційних, мультимедійних, телекомунікаційних та комп'ютерних технологій і послуг; інше.

Під час передачі даних безпроводовими каналами виникає багато труднощів, пов'язаних із впливом природних, промислових та навмисних завод (шумова загорджувальна завада, шумова завада в частині смуги, завада у відповідь, полігармонійна завада, комбінована завада тощо). Тому, для забезпечення розвитку перерахованих напрямів виникає необхідність у пошуку нових підходів щодо організації передавання інформації в мережах без проводового зв'язку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі функціонування на безпроводовій мережі (як загального користування, так і спеціального призначення) та її елементи впливають різні фактори, що порушують її нормальну роботу. Вони призводять до порушення роботи ліній зв'язку, фізичного виходу з ладу елементів безпроводових мереж, інших негативних наслідків, у результаті чого вони переходить до такого стану, за якого вона не може забезпечувати процес доставки повідомлень (або не в змозі забезпечити цей процес за заданими параметрами). Таким чином, мережа повинна мати здатність протистояти впливам, які порушують її роботу, що забезпечується властивістю стійкості [2-8]. Важливо відзначити, що, лише маючи необхідну стійкість, безпроводова мережа може забезпечити задану своєчасність зв'язку, стійкість і безперервність управління.

Крім того, під час функціонування доставляння повідомлень може порушуватися не тільки факторами, що безпосередньо впливають на роботу системи зв'язку в цілому. В цих умовах мережа повинна мати здатність адаптації до всіх змін як зовнішніх, так і внутрішніх факторів, особливо структурних змін, що визначаються тим, за якими показниками мережа має властивість мобільності [2-8].

На підставі викладеного, можна зробити висновок, що тільки у разі забезпечення розглянутих вище властивостей, безпроводова мережа може виконувати своє функціональне призначення – забезпечувати доставляння повідомлень у необхідному обсязі й із заданою якістю.

**Мета статті.** Враховуючи це, метою статті є забезпечення високої пропускної здатності та спектральної ефективності, для даних умов розповсюдження радіохвиль, шляхом використання запропонованої моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

**Реалізація методів адаптивної модуляції в перспективних засобах безпроводового зв'язку**

Принцип динамічної адаптивної модуляції полягає у наступному. На передавачі відбувається аналіз параметрів каналу передачі інформації. Потім

передавач автоматично адаптує схему модуляції для отримання максимальної швидкості передачі інформації для даних умов.

Варіант практичної реалізації даного підходу представлений на рис. 1. Приймально-передавальний пристрій, що реалізований на обчислювальному пристрої, приймає вхідний сигнал від вузла, якому необхідно передати інформацію. Образ вхідного сигналу відомий завчасно. Цей вхідний сигнал оброблюється на узгодженому фільтрі, в результаті чого формується співвідношення сигнал/шум. При оцінюванні даного співвідношення в приймально-передавальному пристрої здійснюється вибір порядку модуляції вихідного сигналу.



Рис. 1. Варіант схеми адаптивної модуляції

Використання адаптивної модуляції дозволяє забезпечити найкращу пропускну здатність для даних умов розповсюдження радіохвиль. Така схема адаптивної модуляції дозволить звести ймовірність виникнення помилки в передачі до мінімуму.

**Математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць**

У загальному вигляді модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць (ДДМ) представлена на рис. 2.

Генератор ДДМ формує двовимірну досконалу двійкову матрицю розмірністю  $n \times n$ , де  $n$  – кількість елементів у стовбцях і рядках матриці.

Порядок синтезу досконалих двійкових матриць розмірністю  $n \times n$  приведено в [9].

У пристрої формування алфавіту сигналів відбуваються два перетворення:

- двовимірні циклічні зсуви синтезованої досконалої двійкової матриці розмірністю  $n \times n$ ;
- перетворення отриманих матриць в одновимірні послідовності.

Двовимірні циклічні зсуви синтезованої досконалої двійкової матриці розмірністю  $n \times n$  відбуваються послідовно по рядках і стовпцям матриці [10, 11].

Порядок циклічної перестановки досконалої двійкової матриці по стовпчиках і рядках представлено на рис. 3.

На рис. 4 наведено приклад циклічної перестановки матриці розмірністю  $4 \times 4$ .



Рис. 2. Модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі ДДМ

За результатами циклічних перестановок матриці розмірністю  $n \times n$  можна отримати  $n^2$  циклічних перестановок.

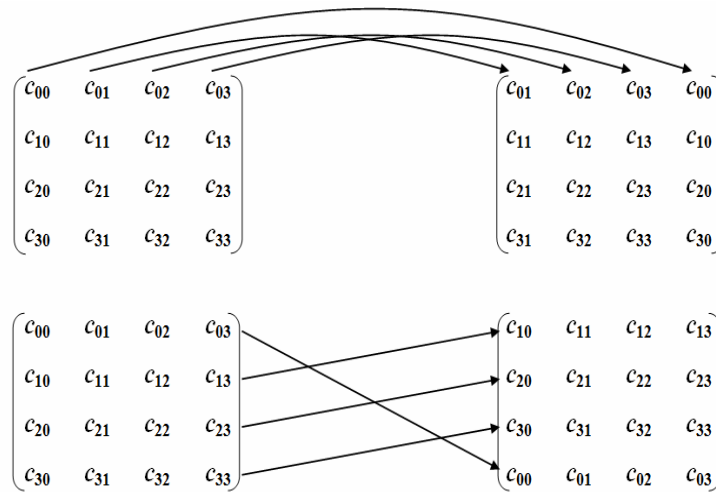


Рис. 3. Порядок циклічної перестановки ДДМ по стовпчиках і рядках

C <sub>00</sub>	C <sub>01</sub>	C <sub>02</sub>	C <sub>03</sub>
C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>
C <sub>20</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>
C <sub>30</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>

Рис. 4. Приклад циклічної перестановки матриці розмірністю 4 × 4

Тобто, для приведеного прикладу (рис. 4) отримано  $4^2 = 16$  циклічних перестановок.

Далі відбувається перетворення отриманих матриць в одновимірні послідовності [10, 11]. Ця процедура відбувається шляхом розгортання матриці по рядках. На рис. 5 приведенний приклад розгортання матриці 4 × 4 по рядках

Далі,  $n^2$  отриманих одновимірних послідовностей записуються у запам'ятовуючий пристрій (рис. 2).

В пристрої управління, в залежності від оціненого рівня співвідношення сигнал/шум, приймається рішення про швидкість передавання інформації.

Для прикладу, приведеного на рис. 2, сформовано 16 кодових послідовностей розмірністю 16 біт кожна.

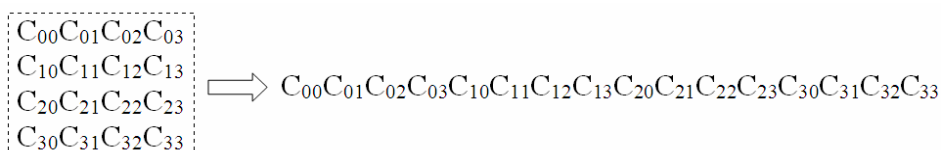


Рис. 5. Приклад розгортання матриці 4 × 4 по рядках

Максимальна швидкість передавання інформації для даного випадку складає:

$$V_{\max} = \log_2 N / (\tau \cdot N), \quad (1)$$

де  $\tau$  – протяжність чипа;  $N$  – довжина послідовності розширення спектру сигналів;  $V$  – швидкість передавання інформації.

Мінімальна швидкість передавання інформації для даного випадку складає (2):

$$V_{\min} = \frac{1}{\tau \cdot N}. \quad (2)$$

Для наведеного вище прикладу, максимальна і мінімальна швидкості передаванні інформації відповідно складуть:

$$V_{\max} = \frac{\log_2 N}{\tau \cdot N} = \frac{\log_2 16}{\tau \cdot 16} = \frac{4}{\tau \cdot 16} = \frac{1}{\tau \cdot 4} \text{ біт/с};$$

$$V_{\min} = \frac{1}{\tau \cdot N} = \frac{1}{\tau \cdot 16} \text{ біт/с}.$$

При високому співвідношенні сигнал/шум, вхідний потік інформаційних біт розбивається на четвірки біт. Кожній, із 16 можливих варіантів, четвірки відповідає одна із 16 кодових послідовностей алфавіту сигналу. У відповідності до четвірки інформаційних біт, що надійшли, в пристрої управління обирається суворо закріплена кодова послідовність і здійснюється її передавання.

При зменшенні рівня співвідношення сигнал/шум, до наперед заданої межі, вхідний потік інформаційних біт розбивається на трійки біт.

Кожній, із 8 можливих, трійці біт відповідає дві кодові послідовності із алфавіту сигналів. Відповідні кодові послідовності для кожної трійки є унікальними і не повторюються.

У відповідності до прийнятої трійки інформаційних біт, пристрій управління обирає дві кодові послідовності і здійснює їх послідовне передавання. При подальшому зменшенні рівня співвідношення сигнал/шум, до наступної наперед заданої межі, вхідний потік інформаційних біт розбивається на двійки біт. Кожній, із 4 можливих, двійці біт відповідає три кодові послідовності із алфавіту сигналів. Відповідні кодові послідовності для кожної двійки є унікальними і не повторюються. У відповідності до прийнятої двійки інформаційних біт, пристрій управління обирає три кодові послідовності і здійснює їх послідовне передавання. При подальшому зменшенні рівня співвідношення сигнал/шум, алгоритм роботи пристрою управління зберігається.

### Висновки

Запропонована математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання

інформації на основі досконалих двійкових матриць. Швидкість передавання інформації для даних сигналів лежить в діапазоні

$$\frac{1}{\tau \cdot N} \leq V \leq \frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}.$$

Використання запропонованих сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць дозволить забезпечити високу пропускну здатність та спектральну ефективність, для даних умов розповсюдження радіохвиль, перспективних радіоінтерфейсів.

Напрямок подальших досліджень є розробка порядку кореляційної обробки запропонованих сигналів, дослідження завадостійкості, структурної та енергетичної скритності сигналів з адаптацією по швидкості передачі інформації на основі досконалих двійкових матриць.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р. № 316-р.
2. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам / Кловский Д.Д. – М.: Связь, 1969. –375 с.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л.Е. –М.: Радио и связь, 1985. –384 с.
4. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Варакин Л.Е. –М.: Советское радио, 1978. –304 с.
5. Теплов Н.Л. Теория передачи сигналов / Теплов Н.Л. –М.: Воениздат, 1976. –424 с.
6. Біла книга 2010: оборонна політика України / Під ред. Центру Разумкова. К.: МО, 2009. 120 с.
7. Указ президента України «Воєнна доктрина України» № 555/2015 від 24 вересня 2015 р.
8. Рудик В.В. Напрями та проблеми створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройними силами України / В.В. Рудик // Наука і оборона. – 2006. – № 1. – С. 35 – 37.
9. Гепко І.А. Синтез совершенных двоичных решеток /И.А. Гепко // Радиоелектроника (Изв. высш. учебн. заведений). – 1998. –Т.41. – №6 – С. 13-21.
10. Shefer O. Analysis of efficiency of the bioinspired method for decoding algebraic convolutional codes / S. Panchenko, S. Prykhodko, S. Kozelkov, M. Shtompel, V. Kosenko, O. Shefer, O. Dunaievska / Eastern-European Journal of Enterprise echnologies 2/4 ( 98 ) 2019.
11. Гепко І.А. Новый класс ортогональных кодов для телекоммуникационных систем CDMA и метод их корреляционного приема, минимизирующий вычислительную сложность цифрового сигнального процессора /И.А. Гепко, А.А.Москаленко// Зв'язок. – 2007. - № 6. – С. 33-39.
12. Гепко І.А. Свойства ортогональных сигналов с прямым расширением спектра на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма их корреляционной обработки /И.А. Гепко, А.А.Москаленко// Радиоелектроника (Изв. вузов). – 2008. – № 1-2. – С. 49-60.

Received (Надійшла) 27.01.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2020

### Mathematical model of signal generation with adaptation speed of information based on perfect binary matrices

A. Moskalenko, G. Sokol, Y. Gluhovets, V. Varich

**Abstract.** Methods and models of signal generation of adaptive modulation types are the subject of the study. **The purpose** is providing high bandwidth and spectral efficiency for these radio wave propagation conditions by using the proposed signal generation model with adaptation rate information based on perfect binary matrices. **Research results.** The paper presents the results of an analysis of the development directions and basic properties of wireless data networks. It is established that only in case of providing the complex of the considered properties, the wireless network can fulfill its functional purpose - to provide delivery of messages in the required volume and with the set quality. The principles of the implementation of adaptive modulation methods in advanced wireless communications are discussed. The use of adaptive modulation allows to provide the best bandwidth for these radio wave propagation conditions, the adaptive modulation scheme discussed in this paper will minimize the probability of a transmission error. A mathematical model of signal generation with adaptation in the speed of information transfer based on perfect binary matrices is proposed. The basic principles of operation of the control device of the model of signal generation with adaptation on the speed of information transfer on the basis of perfect binary matrices are considered. **Conclusions and scope of research findings.** A mathematical model of signal generation with adaptation in the speed of information transfer based on perfect binary matrices is proposed. The use of the proposed signals with adaptation in the speed of information transmission on the basis of perfect binary matrices will allow to provide high bandwidth and spectral efficiency, for these conditions of propagation of radio waves and perspective radio interfaces.

**Keywords:** wireless networks, loopback modulation, adaptive modulation, perfect binary matrices.

І. Ш. Невлюдов, Б. О. Малик, О. В. Токарева, В. В. Невлюдова

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТОВОЛОКОННИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

**Анотація.** Волоконно-оптичні системи є одним з найбільш перспективних напрямків при розробці фізичної основи інформаційного простору. При реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає необхідність узгодження оптоелектронних компонентів з різними поперечними перетинами випромінюючих і приймаючих областей і різними числовими апертурами. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового і багатомодового волокон або випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів. Одним з методів такого узгодження є створення каскадних волокон, в яких лінзове волокно і кілька ділянок градієнтних волокон інтегровано в одномодове волокно. **Предметом** дослідження є технології елементів волоконно-оптичних систем передачі. **Метою** даної роботи є створення компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку, що дозволяють підвищувати ефективність вводу випромінювання від джерела в оптичних світловод, зокрема одномодовий. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних **завдань**: розглянути фактори, що впливають на втрати енергії при генерації і вводу випромінювання джерела в оптичне волокно, а також розробити і впровадити систему узгоджуючих елементів і дати послідовність дій для ефективного вводу випромінювання джерела в одномодове волокно. **Висновки.** Запропонована технічна і технологічна реалізація процесу робить можливим вводити більшу потужність в оптоелектронні лінії передачі інформації, що підвищує ефективність вводу випромінювання до 20 дБ. Визначення точності розташування сполучної площини в пристроях узгодження та взаємного розміщення випромінювачів та оптичного волокна дає можливість знизити втрати в з'єднанні до 0,1 дБ, передавати інформацію з більшою надійністю на більші відстані без регенерації і зберегти працездатність волоконно-оптичної системи в умовах впливу механічних, кліматичних і радіаційних факторів.

**Ключові слова:** оптичне волокно; випромінювач; потужність; ефективність передачі.

### Вступ

Для підвищення ефективності оптоволоконних ліній передачі необхідно компенсувати втрати оптичної енергії шляхом підвищення потужності генераторів, чутливості приймачів, підвищення ефективності вводу випромінювання високопотужних джерел в оптичне волокно, особливо одномодове, збільшення відношення сигнал/завада. Необхідно оптимізувати теоретично обґрунтовані втрати шляхом розрахунку взаємодії випромінювання з матеріалами і конструкціями оптичних волокон [1-3].

### Теоретичне обґрунтування

Коефіцієнт вводу випромінювання в волокно обмежується такими факторами (рис. 1):

- обмеженням поверхневого припустимого кута  $\theta_{кр}$  внутрішнім поверхневим відбиттям;
- Френелівське відображення від поверхні розділу повітря - напівпровідник;
- поглинанням поміж точкою генерації випромінювання та випромінюючою поверхнею: фотон з енергією, більшою за ширину забороненої зони  $E_g$  може збудити електрон у зоні провідності, при цьому фотон самопоглинається.

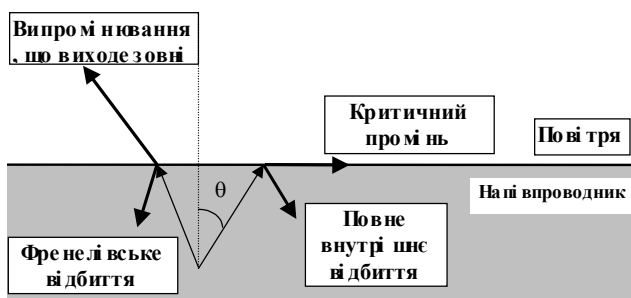


Рис. 1. Світловий потік джерела випромінювання

Отже, відстань до поверхні має бути скорочена, однак біля поверхні багато вільних «пасткових» рівнів, які змінюють безвипромінювальний час життя та знижують внутрішню квантову ефективність.

Світловий потік визначається інтегруванням потужності, що випромінюється в одиницю тілесного кута в напрямку під кутом  $\theta$  до нормалі до його поверхні  $I = I_0 \cos \theta$ .

$$\Phi_0 = \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0. \quad (1)$$

Частина світлового потоку джерела випромінювання, що потрапляє в оптичне волокно обмежена числовою апертурою волокна  $NA = \sin \phi_{кр}$  та визначається інтегралом:

$$\Phi = \int_0^{\phi_{кр}} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0 \sin^2 \phi_{кр} = \Phi_0 \cdot NA^2$$

де  $\phi_{кр}$  – апертурний кут волокна.

Отже, ефективність вводу у волокно дорівнює

$$\Phi/\Phi_0 = NA^2. \quad (2)$$

Коефіцієнт ефективності виводу випромінювання з джерела з урахуванням критичного кута  $\theta_c$ .

Світловий потік випромінювання в одиничному куті у напрямку  $\theta$  відносно нормалі до поверхні:

$$\Phi_0 = 2 \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = 2\pi I_0.$$

Доля загальної потужності, обмежена кутом  $\theta_c$ .

$$f = \frac{1}{2\pi I_0} \int_0^{\theta_c} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \frac{1}{2} \sin^2 \theta_c = \frac{n_0^2}{2n^2}.$$

Якщо розглянути приклад використання для випромінювача арсеніду галію при  $n = 3,7$  та  $n_0=1$   $f=0,036$  то при малих  $\theta < \theta_c$  за рахунок Френелівського відбиття частина енергії  $R$  відбивається, отже при перпендикулярному падінні проходить частина  $t$ .

$$t = 1 - R = 4n_0n / (n_0 + n)^2 = 4n / (1 + n)^2, \quad (3)$$

якщо  $n_0=1$ . При більш похилих променях частина енергії що випромінюється, змінюється мало і дорівнює нулю, якщо  $\theta_c = 0$ . Отже, коефіцієнт ефективності виводу за рахунок Френелівського обмеження для GaAs  $t = 0,67$ . Цей коефіцієнт може бути збільшений за рахунок просвітлення, при цьому ідеальне значення дорівнює  $(n_0n)^{1/2}$ , коли  $t$  прямує до 1. Просвітлення зазвичай виконується такими матеріалами:

- корунд  $n = 1,76$ ;
- окисел кремнію  $n = 1,9$ ;
- нітрид кремнію  $n = 2,0$ .

Загальний коефіцієнт передачі має вираз:

$$f \cdot t = 2/n(1+n)^2 = 0,24. \quad (4)$$

Отже, ефективність виводу випромінювання за межі кристала джерела (зовнішня квантова ефективність):

$$\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t, \quad (5)$$

а ефективність вводу у волокно:

$$\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2.$$

$\eta_{вол}$  для волокна с  $NA = 0,17$ , джерела GaAs з  $f \cdot t = 0,024$  та  $\eta_{внутр} = 0,5$  становить  $\eta_{вол} = 0,00035$ .

Загальна потужність, яка генерується в джерелі випромінювання:

$$\Phi_{внутр} = \eta_{зовн} \cdot e^{-1} \cdot E_{фотона} \quad (6)$$

при струмі  $I = 100$  мА, енергії фотона  $E_{фотона} = 1,4$  еВ,  $\Phi_{внутр} = 70$  мВт, а оптична потужність, яка випромінюється у повітря:

$$\Phi_{пов} = \eta_{зовн} \cdot e^{-1} \cdot E_{фотона} = 1,74 \text{ мВт},$$

де  $\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t$ .

Потужність, яка потрапляє в оптичне волокно:

$$\Phi_{вол} = \eta_{вол} \cdot e^{-1} \cdot E_{фотона} = 49 \text{ мкВт},$$

де  $\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2$ .

### Експериментальне впровадження

При реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає завдання узгодження оптоелектронних компонентів і волокон з різними поперечними перетинами випромінюючої і приймаючої області та різними числовими апертурами. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового і багатомодового волокон або випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів [4, 5].

Наприклад, при використанні лазерного діода для передачі великої потужності через одномодове волокно необхідне узгодження полів, що генеруються діодом і виникають в пов'язаному з ним одномодовому волокні. Доводиться погоджувати параметри електромагнітних коливачів і, отже, геометричних параметрів елементів. Одним з варіантів системи для

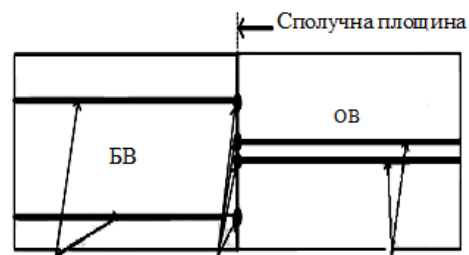
узгодження полів можуть бути волокна, в яких приймальне волокно спеціальної форми і ділянки градієнтних багатомодових волокон інтегровані в одномодове волокно [7-9]. При виготовленні узгоджуючої секції у вигляді клиноподібного багатомодового оптичного волокна послідовно зрощують два відрізки багатомодових градієнтних оптичних світловодів і одномодового волоконного світловоду [2, 6].

В даний час втрати при з'єднанні можуть становити 0,03 дБ. Для знаходження сполучної площини в волокні необхідно використовувати мікроскопи з високою роздільною здатністю. Для оцінки місця розташування сполучної площини спостереження проводяться під мікроскопом зі збільшенням 360X. Однак відстань між волокном і об'єктивом в мікроскопах з високою роздільною здатністю дуже мала.

У виробництві каскадного волокна, процедура сколювання вимагає великого простору, в якому відстань між волокном і лінзою пристрою контролю повинно бути більше 4 см. Отже, метод визначення положення сполучної площини з великою робочою відстанню (> 40 мм) і з низьким збільшенням (<8X) контрольної системи є ключем до поліпшення процесу виготовлення каскадних волокон [2].

Запропонований метод контролю дозволяє здійснити знаходження положення сполучної площини. Для спостереження використовується непрямий метод із застосуванням явища інтерференції для визначення площини з'єднання. Наступні розрахунки і моделювання дозволяють ідентифікувати місце розташування стику. В реальності темні лінії при складанні світла через багатомодове волокно складають близько 3 мкм, що залежить від площини фокусування і розташування, а темні лінії при проходженні світла через одномодове волокно, як правило, становлять близько 1 мкм. Таким чином, можна просто використовувати темні лінії, щоб визначити сполучну площину, якщо дозвіл контрольного обладнання більше ширини темної лінії в 1 мкм. Як правило, ПЗС-датчики з 8-кратним збільшенням лінзи можуть мати дозвіл зображення вище, ніж 1 мкм. Цього достатньо для контролю.

При великих робочих відстанях контролю явище світлової інтерференції впливає на зображення, що робить спостереження темних ліній скрутним. Інтенсивності і кількість інтерференційних смуг в цих двох секціях волокна будуть різними. Таким чином, сполучну площину можна знайти шляхом спостереження істотних відмінностей в інтерференції між двома ділянками волокна (рис. 2).



Темні лінії БВ Точки темних ліній Темні лінії ОВ

Рис. 2. Темні лінії в одномодовому і багатомодовому волокнах для визначення сполучної площини



Інтерференційна картина моделюється на основі параметрів інтерференційних смуг [9]. Для знаходження положення смуг використовується метод трасування променів. Всі промені світла починаються з однієї початкової площини і, нарешті, досягають фокальної площини. Після виходу з освітлювача, промені світла будуть паралельними, поки вони не торкнуться зовнішнього краю волокна.

Геометричні розміри узгоджуючих елементів та їх взаємне розміщення підтримуються при виготовленні та експлуатації. При потребі визначення і забезпечення розмірів окремих складових узгоджуючого пристрою та їх взаємне розміщення (з точністю до мікрметрів) пропонуються шляхи досягнення такої точності і технологія виготовлення пристрою в цілому.

Виготовлення узгоджуючої секції оптичного волокна [10], полягає в тому, що у клиноподібного багатомодового оптичного волокна, яке отримують послідовно зрощуючи два відрізки багатомодових градієнтних оптичних світловодів різних видів і одномодового волоконного світловоду визначають межу розділення між різними ділянками з'єднаних оптичних волокон. Цю межу визначають за допомогою проєкції на двохкоординатний фотоелектричний прилад зображення картини, що являє собою суперпозицію електромагнітних хвиль оптичного діапазону. Картина утворюється при проходженні через оптичні волокна паралельних світлових променів, які взаємодіють між собою. Така картина однозначно відображає розподіл енергії відповідно до оптичних та геометричних параметрів волокон. Після цього сигнал з фотоелектричного приладу у вигляді матриці значень сигналу з кожного елементу приладу опрацьовують для визначення межі розділу між волокнами.

Після визначення місця розподілу між волокнами та утворення наскрізного сколу, зазвичай, не визначається відносно положення джерела випромінювання і узгоджуючої секції, яке забезпечує максимальну кількість енергії, що передається від джерела в лінію передачі.

Для оптимізації коефіцієнту передачі необхідно вирішити задачу визначення відносного положення джерела випромінювання (наприклад напівпровідникового лазера) і узгоджуючої секції, яке забезпечує максимальну кількість енергії, що передається від джерела в лінію передачі. Завдяки тому, що на вхід узгоджуючої секції подається оптичне випромінювання від джерела випромінювання, що може переміщатися на однаковій відстані по координатах. Визначення оптимального відносного положення джерела і узгоджуючої секції забезпечує максимальну кількість енергії, що передається від джерела в лінію передачі.

Технологічно узгодження можна реалізувати наступним чином. Після визначення місця з'єднання відрізків оптичних волокон 1-БГС1 та 2 – БГС2 (рис. 3) (наприклад, за допомогою зварювання) утворюють наскрізний скол для подальшого з'єднання з 3- ОВС. На вхід узгоджуючої секції подається оптичне випромінювання (наприклад напівпровідникового

лазера) 4, який може переміщатися на однаковій відстані ( $R$ ) по координаті в площині  $p$ - $n$  переходу (рис. 4, а), в перпендикулярній площині  $p$ - $n$  переходу на відстані ( $R$ ) (рис. 4, б), а також при переміщенні джерела випромінювання по відстані ( $L$ ) в площині  $p$ - $n$  переходу (рис. 4, в). При цьому визначається відносно положення джерела випромінювання і узгоджуючої секції, яке забезпечує максимальну кількість енергії, що передається в лінію передачі. Джерело випромінювання 4 переміщається відносно узгоджуючої секції з допомогою приводу 5 та трьохкоординатного столу 6. Інформація з фотоприймача 7 опрацьовується мікроконтролером 8, який керує приводом переміщення джерела випромінювання та вираховує оптимальне відносно положення джерела випромінювання та узгоджуючої секції [12-14].

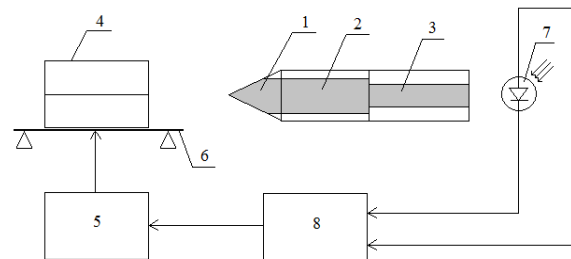
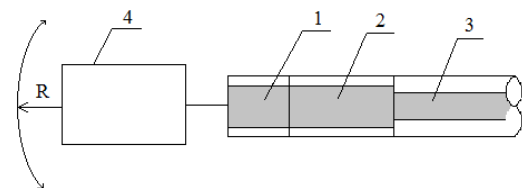
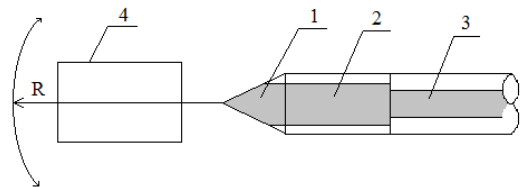


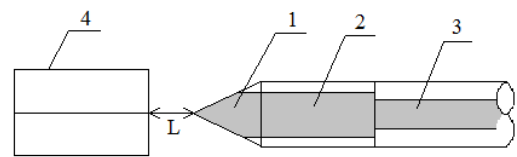
Рис. 3. Визначення місця з'єднання відрізків оптичних волокон



а – переміщення в площині  $p$ - $n$  переходу



б – переміщення в перпендикулярній площині  $p$ - $n$  переходу



в – переміщення по відстані

Рис. 4. Визначення відносного положення джерела випромінювання і узгоджуючої секції

## Висновки

В представленій роботі проведено дослідження технології елементів волоконно-оптичних систем передачі, а саме створення компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку, що дозволяють підвищити ефективність вводу випромінювання від джерела в оптичних світловод, зокрема одномодовий. Було розглянуто фактори, що впливають на втрати енергії при генерації і вводу випромінювання джерела в оптичне волокно, а також розроблено і впроваджено

систему узгоджуваних елементів. Надано послідовність дій для ефективного вводу випромінювання джерела в одномодове волокно.

При виконанні роботи досліджено фактори, що впливають на параметри вводу випромінювання в волокно та запропоновано конструкцію резонансної системи для формування потоку електромагнітного випромінювання найбільш придатного для вводу в одномодове волокно, а також запропоновано послідовність дій для визначення найкращого взаєморозташування випромінювача та волокна.

В роботі обґрунтовано використання методу підвищення ефективності вводу випромінювання потужних джерел в оптичні волокна. Запропонована

технічна і технологічна реалізація процесу робить можливим вводити більшу потужність в оптоелектронні лінії передачі інформації, що підвищує ефективність вводу випромінювання до 20 дБ.

Окрім вищенаведеного варто відзначити, що визначення точності розташування сполучної площини в пристроях узгодження та взаємного розміщення випромінювачів та оптичного волокна дає можливість, в даний час, знизити втрати в з'єднанні до 0,1 дБ і передавати інформацію з більшою надійністю на більшій відстані без регенерації. Це, в свою чергу, дасть змогу зберегти працездатність волоконно-оптичної системи в умовах впливу механічних, кліматичних і радіаційних факторів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pachnicke S. Fiber-Optic Transmission Networks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
2. Govind P. Agrawal. Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
3. Ivanov A. Fiber Optics: Components, Communications Systems, Measurements. M.: Syrus Systems, 1999.
4. Косенко В.В., Кучук Н.Г. Моделирование технической структуры информационно-телекоммуникационной сети на основе конкретной реализации информационной структуры. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип.9 (146). С. 167-171.
5. Косенко В.В., Артюх Р.В., Роговой А.И. Вариантный синтез иерархии структур инфокоммуникационной сети. *Системи управління навігації та зв'язку*. Полтава. 2017. Випуск 4 (44). С. 60-63.
6. Bass M., Van Stryland E.W. Fiber Optics Handbook: Fiber, Devices, and Systems for Optical Communications. McGraw-Hill Professional, 2002.
7. Patent G02B 6/22 "Monomode Optical Fibre", 2001.
8. H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi "Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism," in J. Lightw. Technol., vol. 20, no. 8, 2002, pp. 1545-1548.
9. Филипенко, А.И., Малик Б.А., Селенкова Н.П., Гончар В.В. Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. №3/5(57). С.28-31.
10. I Sh Nevliudov, AI Filipenko Method of the Interferential Images Analysis During Testing of Quality Parameters of Fiber-Optical Components Surface / *News of Engineering Sciences Academy of Ukraine: Mechanical engineering and progressive technologies*, 2004, № 24, p. 81-87
11. И.Ш. Невлюдов, А.И. Филипенко, Б.А. Малик Методология и оборудование контроля параметров компонентов волоконно-оптических систем передачи информации / *Прикладная радиоэлектроника: сб. АН Прикладной радиоэлектроники*, 2002, №1. – с. 51-56.
12. B. Malyk, O. Tokarieva, S. Malyk-Zamorii "Optical fiber structures performance enhancement under the conditions of ionizing radiation high power levels," in *Problems of Atomic Science and Technology*, no. 2 (114), 2018, pp. 13-18.
13. Patent UA115811 "Method for optical fibers matching section manufacturing", 2017.
14. Patent UA122687 "Method for optical fibers matching section manufacturing", 2018.

Received (Надійшла) 22.01.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2020

### Increasing the efficiency of fiber optic communication channels

I. Nevlyudov, B. Malik, O. Tokareva, V. Nevlyudova

**Abstract.** Fiber optic systems are one of the most promising areas in the development of the physical basis of the information space. When implementing fiber-optic communication lines, it is often necessary to match the optoelectronic components with different cross sections of the emitting and receiving regions and various numerical apertures. A variant of this task may be the connection of single-mode and multimode fibers or emitters and photodetectors with fibers of various types. One of the methods of such matching is the creation of cascading fibers in which the lens fiber and several sections of the gradient fibers are integrated into a single-mode fiber. **The subject** of the study is the technology of elements of fiber-optic transmission systems. **The objective** of this work is to create components of fiber-optic communication lines that can improve the efficiency of inputting radiation from a source into an optical fiber, in particular single-mode. To achieve this goal, it is necessary to solve the following **tasks**: to consider the factors affecting the energy loss during generation and input of radiation from a source into an optical fiber, as well as to develop and implement a system of matching elements and give a sequence of actions for efficient input of radiation from a source into a single-mode fiber. **Conclusion:** during the work, the factors affecting the parameters of the radiation input into the fiber were investigated and the design of the resonant system for the formation of the electromagnetic radiation flux most suitable for input into the single-mode fiber was proposed, and a sequence of actions was proposed to determine the best relative position of the emitter and the fiber. The paper considers the problem and reasonable ways to increase the efficiency of radiation input into an optical fiber by using a resonator and studying the optimal conditions for the mutual arrangement of the fiber and the source. The proposed technical and technological implementation of the process makes it possible to introduce large power into the optoelectronic information transmission lines, which increases the efficiency of radiation input up to 20 dB. Determining the accuracy of the location of the connecting plane in the matching devices and the relative position of the emitters and the optical fiber can reduce the loss in the connection to 0.1 dB, transmit information with greater reliability over long distances without regeneration and maintain the operability of the fiber-optic system under mechanical, climatic and radiation factors.

**Keywords:** optical fiber; emitter; power; transmission efficiency.

О. А. Серков<sup>1</sup>, К. А. Трубочанінова<sup>2</sup>, Б. О. Лазуренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>2</sup> Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ВИНИКНЕННІ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД

**Анотація.** Предметом вивчення є процеси забезпечення безпроводової завадостійкої передачі дискретної інформації на ґрунті надширокопосмугових сигналів з високою інформаційною ємністю. **Мета** – розробка рекомендацій щодо забезпечення електромагнітної сумісності надширокопосмугової системи зв'язку при передачі дискретних повідомлень каналом зв'язку з адитивним гаусовим шумом. **Задача** – забезпечення усталеної та надійної роботи надширокопосмугової системи зв'язку в умовах внутрішньосистемних завад. Використані **методи**: методи аналітичного, імітаційного моделювання та цифрового кодування сигналів. Отримані наступні **результати**. Показано, що випадкові зміни енергії та автокореляційної функції прийнятих надширокопосмугових сигналів в потоці бітів інформації є причиною виникнення внутрішньосистемних завад. У свою чергу це викликає збільшення бітової похибки та деградацію імовірнісних характеристик системи зв'язку. Отримані характеристики бітової похибки свідчать про високий рівень прихованості та електромагнітної сумісності надширокопосмугової системи зв'язку при передачі дискретних повідомлень в каналі зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом. Причому, за умов використання некратних затримок кодуємих імпульсів в процесі кодової спектральної модуляції, отримуємо імовірність бітової похибки на рівні  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  при суттєво менших одиницях відношення сигнал/шум. **Висновки.** Використання технології надширокопосмугових сигналів дозволяє здійснити безпроводову приховану передачу інформації з малою потужністю випромінювання на швидкості 1-2 Мб/с з імовірністю похибки на біт менш, ніж  $10^{-5}$ . Таким чином система надширокопосмугового радіозв'язку з кодовою модуляцією в передавачі та спектральною обробкою в приймачі має високу завадостійкість, що дозволяє здійснювати надійну передачу цифрової інформації при появі внутрішньосистемних завад.

**Ключові слова:** рухомий зв'язок; завадостійкість; спектральна обробка; кореляція.

### Вступ

Розвиток технологій мобільних пристроїв, локальних мереж (WLAN) та стрімке зростання Internet викликає все більш зростаючу потребу у збільшенні ємності мобільних мереж. Однак існуючі технології не мають змоги задовольнити нових потреб по ємності мереж та швидкості передачі [1-4].

В реальних системах рухомого зв'язку точна інформація про характеристики каналу зв'язку недоступна. За наявності в каналі шумів і замирань сигналу, параметри каналу можуть змінюватися частіше, ніж часовий інтервал між сусідніми пілот-сигналами.

Під час прийому та передачі інформації в системах рухомого зв'язку багатопроменеве розповсюдження сигналу справляє суттєвий вплив на прийнятий сигнал, що ускладнює його подальшу обробку та вимагає більше обчислювальних ресурсів.

Зменшити обчислювальну складність та підвищити точність оцінювання здатні алгоритми, які ґрунтуються на послідовній багаторазовій обробці прийнятого сигналу, який отримано за один інтервал спостереження та використані при оцінці не тільки енергії пілот-сигналів, а також енергії інформаційних сигналів. Існуючі алгоритми екстраполяції не здатні із необхідною точністю апроксимувати обчислені значення параметрів каналу на всі інформаційні часові інтервали, що викликає значну похибку оцінювання та характеризує дисперсію похибки оцінювання.

Суттєво покращити спектральну ефективність і завадостійкість системи, у порівнянні з традиційними системами, здатна технологія надширокопосмуго-

вого зв'язку, яка полягає у передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти [5-7].

### Аналіз технічних рішень

Широкопосмужність системи визначає не абсолютна величина ширини використаної смуги частот, а співвідношення спектру повідомлення, який визначено швидкістю отримання інформації, та шириною спектра сигналу. Нехай  $\Delta F$  є шириною спектру повідомлення,  $W$  – ширина спектру сигналу, а  $T$  – тривалість сигналу. Добуток  $B = WT$  є базою сигналу. Зазвичай для широкопосмугових систем  $W \gg \Delta F$  та  $B \gg 1$ . Розширюючи смугу частот із  $\Delta F$  до  $W$  виникає можливість збільшення швидкості передачі інформації, укорочуючи передані сигнали з величини  $T \cong 1/\Delta F$  до  $T_1 \cong 1/W$ , причому  $T_1 \ll T$ . Таким чином до переданого сигналу вводять деяку надмірність, величину якої визначає коефіцієнт розширення спектру  $K_f = W/\Delta F$ . Саме наявність цієї надмірності визначає такі властивості надширокопосмугових систем, як можливість переборення явища багатопроменевості, усталеність до завад, та можливість ефективного використання спектру під час використання переважаного частотного діапазону та цифрової обробки сигналу.

Для безліцензійного використання надширокопосмугових (НШС) сигналів пристроями в Євросоюзі виділені діапазони 6 – 8 ГГц у США – 3,1 – 10,6 ГГц [8,9]. Дозволені смуги частот для організації НШС зв'язку у різних країнах світу наведено на рис. 1.

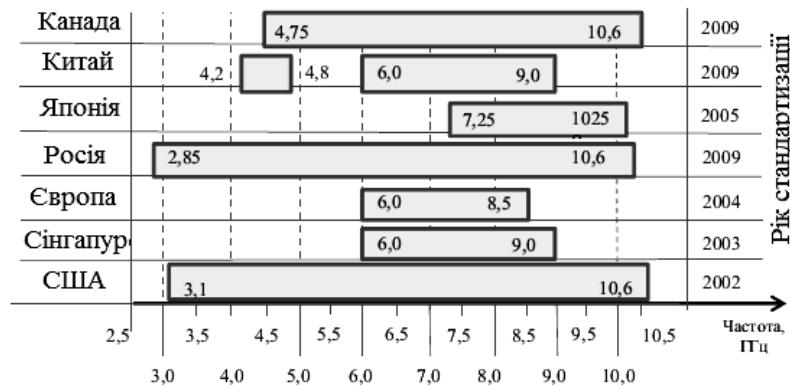


Рис. 1. Дозволені смуги для організації НШС зв'язку у різних країнах світу

Зменшенню інтерференції між усіма системами зв'язку, які працюють в НШС спектрі частот, сприяє обмеження їх потужності: 41,3 дБм/МГц в США та Євросоюзі. Для конкретних застосувань розроблені шаблони дозволених потужностей в смузі пропускання НШС систем. Вид шаблонів також залежить від країни застосування.

### Оцінка впливу завад на якість відновлення інформації

Згідно теорії потенціальної завадостійкості [10] характеристики інформаційного сигналу залежать від відношення подвійної енергії сигналу  $E$  до спектральної щільності потужності шуму  $N_0$  та складає величину:

$$Q = 2E/N_0 = 2q_0B,$$

де  $q_0 = E/T/(N_0W)$  – відношення середньої потужності сигналу  $P_{C0} = E/T$  до потужності шуму  $P_{N0} = N_0W$  на вході приймача, а  $B = WT$  є базою сигналу.

Розподіл інформаційного біту тривалістю  $T$  на елементи, тривалістю  $\tau$ , які мають таку ж амплітуду, що і інформаційний біт, дозволяють отримати сигнал тривалістю  $T$  із смугою  $W \sim 1/\tau$  при значенні бази  $B \gg 1$ . Число елементарних імпульсів (чипів) в інформаційному біті визначається як  $N = T/\tau$ . При цьому можливість розділення перекритих у часі сигналів пов'язана з наявністю у кореляційній функції прийнятих сигналів єдиного можливого максимуму значної амплітуди і ширини порядку  $\tau_{\text{эфф}} \cong 1/W \cong \tau$ , що є піком спектральної щільності потужності. Такий вигляд кореляційної функції мають відрізки шуму із смугою  $W$  і детерміновані сигнали, які після обробки в кореляційному приймачі приймають вигляд імпульсу тривалістю  $\tau$  з амплітудою  $NS$ , де  $S$  – амплітуда елементарного імпульсу послідовності. Максимальні бокові пелюстки кореляційної функції, які визначають небажаний вплив на правильний прийом сигналу, мають амплітуди порядку  $\sqrt{NS}$ . За умов достатньо великого значен-

ня  $N$ , наприклад, понад 100, ці пелюстки значно менші за головний максимум [6]. При інтерференції повністю некогерентних НШС сигналів спектральна щільність модулюється гармонічною функцією в залежності від частоти  $f$  з масштабом періодичності, який дорівнює

$$\delta f_{10}(t) = 1/T_{10}.$$

Потужність сумарного НШС сигналу  $z_{10}(t)$  визначає його дисперсія  $\sigma_z^2$  що дорівнює подвійної потужності  $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$  опорного сигналу  $n(t)$  за умов повної некогерентності опорного та затриманих інформаційних сигналів.

Компаратор здійснює порівняння інформаційних кореляційних піків із зсувом  $T_1$  чи  $T_0$ , вилучає з них найбільший за величиною кореляційний пік, що відповідає переданому біту «1» чи «0». Таким чином здійснюють однозначне відновлення переданої бінарної інформації.

Вплив зовнішньої завади в каналі зв'язку супроводжується зростанням випадкових викидів для автокореляційної функції в області інформаційних піків  $2\sigma_n^2 R_n(\tau - T_{10})$  із зсувом,  $\tau = T_{10}$  що призведе до збільшення похибки при відновленні переданої бінарної інформації [11-13].

За результатами спектральної обробки під час надходження кожного біту інформації визначають квадратурні компоненти для комплексної автокореляційної функції, модуль якої обчислюється як середнє квадратичне значення від дійсної та уявної частин. Випадкову оцінку для модуля автокореляції  $|\hat{R}_r(\tau)|$  визначаємо у вигляді суми середнього значення  $\bar{m}_r(\tau)$  та флуктуаційної компоненти  $\tilde{\mu}_r(\tau)$ :

$$|\hat{R}_r(\tau)| = \bar{m}_r(\tau) + \tilde{\mu}_r(\tau).$$

За результатами усереднення за великим ансамблем ( $K = 10^5$ ) незалежних реалізацій  $r(t)$  прийнятого сигналу визначаємо:

– середнє значення:

$$\bar{m}_r(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |\hat{R}_r^{(k)}(\tau)|,$$

дисперсію флуктуацій:

$$\sigma_{\mu}^2(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [\mu],$$

коефіцієнт взаємної коваріації для флуктуаційної компоненти  $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10})$  в місці розташування інформаційного піку із затримкою  $T_{10}$  та бокових викидів  $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10} + \tau)$ , зсунутих на час  $(T_{10} + \tau)$ :

$$G_{\mu}(T_{10}, T_{10} + \tau) = \frac{1}{G_{\mu}(T_{10})G_{\mu}(T_{10} + \tau)} \frac{1}{K \sum_{k=1}^K [\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10} + \tau)]}.$$

Коефіцієнт взаємної коваріації показує ступень статистичної залежності для флуктуацій модулю автокореляції в місці розташування  $T_{10}$  інформаційного піку та на місці  $(T_{10} + \tau)$  зсунутих бокових викидів [14].

Передача інформації на ґрунті НШС сигналів в каналі з адитивною гаусовою завадою здійснювалася для визначення імовірності похибки на біт (BER) в залежності від співвідношення (SNR) потужності прийнятого сигналу до потужності зовнішньої завади в каналі при різних затримках  $T_1$ ,  $T_0$  інформаційних сигналів. Нехай спектри потужності, сумарних НШС сигналів, які надходять під час передачі двійкових символів, обчислені за кінцевий час  $T = 1$  мкс, дорівнюють тривалості біту інформації, та є випадковими функціями. Смуга частот складає  $\Delta F = 1,0$  ГГц, та час когерентності  $\tau \approx 1/\Delta F = 1$  нс. Під час передачі двійкового символу «1» затримка сигналу складає  $T_1 = 9$  нс. Тоді період спектральної модуляції буде дорівнювати  $\delta f_1 = 1/T_1 = 111$  МГц. При передачі «0» затримка сигналу складає  $T_0 = 6$  нс, а період спектральної модуляції буде складати  $\delta f_0 = 1/T_0 = 167$  МГц.

Імовірність похибки визначалася статистикою хибних рішень при багаторазовому виконанні незалежних експериментів по передачі двійкових бітів в каналі з адитивною гаусовою завадою. При зсуві на кратний час  $\tau = jT_0 = 12; 18; 24$  нс ( $j=2,3,4$ ) спостерігаються статистично значимі піки для середнього значення  $\bar{m}_r(\tau)$  (рис. 2) та середньо квадратичного відхилення  $\sigma_{\mu}(\tau)$  (рис. 3). Вони перевищують у декілька разів сусідні бокові викиди цих функцій при некрatних зсувах  $\tau = jT_0$ . Затримка сигналу складає  $T_0 = 6$  нс. При цьому слід зазначити аномально великі піки для стандартного відхилення  $\sigma_{\mu}(\tau)$  при кратних зсувах  $\tau = jT_0 = 12; 18; 24$  нс. Коефіцієнт взаємної коваріації при зсуві на час інформаційної затримки  $\tau = T_0 = 6$  нс за рахунок

резонансу зростає по амплітуді у десятки разів, стає негативним та дорівнює

$$G_{\mu}(T_0, 2T_0) = -0,49.$$

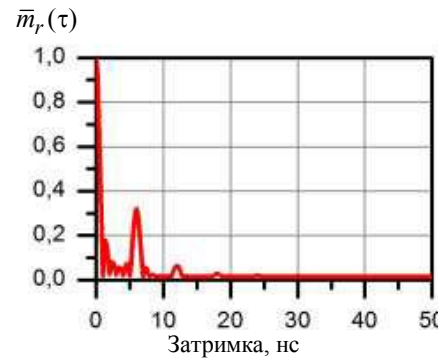


Рис. 2. Залежність  $\bar{m}_r(\tau)$  від зсуву  $\tau$

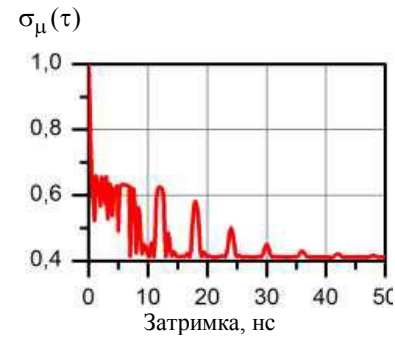


Рис. 3. Залежність  $\sigma_{\mu}(\tau)$  від зсуву  $\tau$

За результатами чисельного моделювання (рис. 4) визначено ефект потужної антикореляції для флуктуаційної компоненти  $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10})$  модуля автокореляції в місці розташування інформаційного піку із зсувом  $T_0 = 6$  нс та бокових викидів із подвоєним зсувом  $2T_0 = 12$  нс.

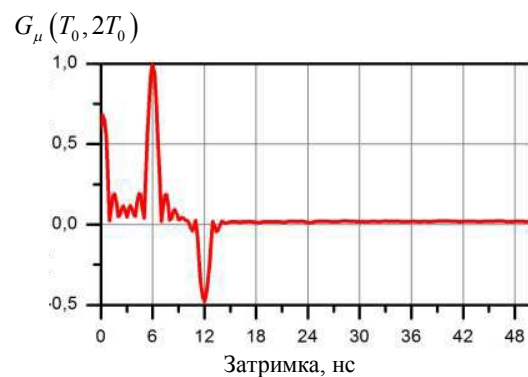


Рис. 4. Залежність  $G_{\mu}(T_0, 2T_0)$  від зсуву  $\tau$

Аномально великі флуктуації для модуля автокореляції  $|\hat{R}_r(\tau)|$  при кратних зсувах  $\tau = jT_0$  ( $j=2,3,4$ ) та сильна антикореляція

$$G_{\mu}(T_0, 2T_0) = -0,49$$

між флуктуаціями із кратними зсувами призводять до появи додаткових внутрішньосистемних завад, що робить суттєвий вплив на достовірність передаваної бінарної інформації в системі НШС зв'язку.

На рис. 5 наведені результати чисельного експерименту щодо залежності імовірності похибок від SNR – відношення сигнал/шум при різних швидкостях передачі бітів інформації  $C = 1$  Мб/с, 2 Мб/с, 5 Мб/с, 10 Мб/с. Усі залежності розраховано для НШС сигналу зі смугою частот  $\Delta F = 1,0$  ГГц.

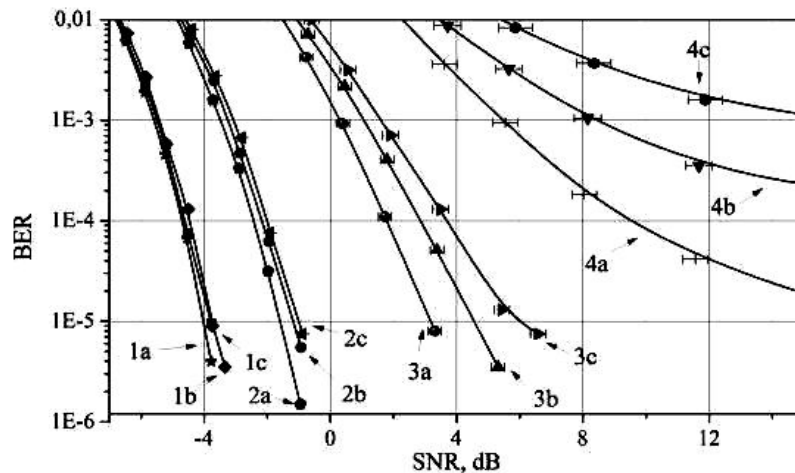


Рис. 5. Залежності імовірності похибки BER від співвідношення сигнал/шум в каналі при різній швидкості передачі: 1 –  $C=1$  Мб/с.; 2 –  $C=2$  Мб/с.; 3 –  $C=5$  Мб/с.; 4 –  $C=10$  Мб/с.); а – некратні, с – кратні затримки

З підвищенням швидкості передачі бітів при фіксованій смузі  $\Delta F$  частот спостерігають зсув вправо BER - залежностей так, що імовірність похибки зростає. Характеристики, що позначено буквою **a**, відповідають обранню некратних затримок  $T_0 = 6нс$ ,  $T_1 = 9нс$  нс. Характеристики, що позначено буквою **b**, відповідають затримкам з подвійною кратністю  $T_0 = 6нс$ ,  $T_1 = 12нс$ , а **c** - з потрійною кратністю  $T_0 = 6нс$ ,  $T_1 = 18нс$ . Кратність затримок (залежності **b**, **c**) призводять до збільшення похибки прийому бітів та зсуву вправо BER – залежностей. Із збільшенням швидкості передачі бітів від 1 Мб/с до 10 Мб/с (залежності 1 – 4) різке зростання бітової похибки за рахунок некратних затримок. Подвійна та потрійна кратність затримок  $T_1$  та  $T_0$ , викликає деградацію імовірносних характеристик для систем зв'язку. При цьому залежності незначно зсуваються за SNR відношенням на величину 0,3 – 0,5 дБ при малій бітовій швидкості  $C = 1-2$  Мб/с, та імовірності похибки  $BER=10^{-5}$ . Велика деградація імовірносних характеристик НШС системи зв'язку виникає за рахунок кратності затримок при великій швидкості передачі бітів  $C = 5-10$  Мб/с. У цьому випадку BER – залежності суттєво зсуваються вправо по SNR відношенням на величину 3 – 6 дБ за тією ж імовірністю похибки  $BER=10^{-5}$ . Таким чином завадостійкість НШС системи зв'язку значно підвищується за наявності некратних затримок в процесі кодової спектральної модуляції.

### Аналіз

Із аналізу імовірносних характеристик виходить, що при швидкості передачі бітів  $C = 1-2$  Мб/с залежності 1a та 2a знаходяться в області негативних SNR від -4 до -1 дБ. При цьому імовірність біто-

вої похибки складає величину  $BER = 10^{-5}-10^{-6}$ . За таких умов здійснюється передача інформації в цифрових системах зв'язку. Таким чином в НШС системі зв'язку здійснюють надійну передачу інформації в умовах внутрішньосистемних завад з високою завадозахищеністю та прихованістю.

### Висновки

Використання технології НШС сигналів дозволяє здійснити безпроводову приховану передачу інформації з малою потужністю випромінювання на швидкості 1-2 Мб/с з імовірністю похибки на біт менш, ніж  $10^{-5}$ .

Показано, що випадкові зміни енергії та автокореляційної функції прийнятих НШС сигналів в потоці бітів є причиною виникнення внутрішньосистемних завад. У свою чергу це викликає збільшення бітової похибки та деградацію імовірносних характеристик системи зв'язку.

Розраховані характеристики бітової похибки свідчать про високий рівень прихованості та електромагнітної сумісності надширокосмугової системи зв'язку при передачі дискретних повідомлень в каналі зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом. Причому, за умов використання некратних затримок в процесі кодової спектральної модуляції, отримуємо імовірність бітової похибки на рівні  $10^{-5} - 10^{-6}$  при суттєво менших одиниці відношеннях сигнал/шум.

Отримані результати дозволяють обґрунтовано обирати найкращі значення затримок в процесі кодової модуляції інформаційних бітів НШС сигналу та оцінювати співвідношення сигнал/шум при заданих імовірностях бітової похибки.

Таким чином, система НШС радіозв'язку з кодовою модуляцією в передавачі та спектральною обробкою в приймачі має високу завадостійкість,

що дозволяє здійснювати надійну передачу цифрової інформації в умовах виникнення внутрівісностемних завад.

### Вдячність

Цю роботу було частково профінансовано Європейським Союзом у контексті проекту «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers

and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-SBHE-SP) за програмою ERASMUS+. Підтримка Європейською Комісією створення цієї роботи не означає повного схвалення її змісту, який віддзеркалює лише погляди авторів. Комісія не може нести відповідальності за будь-яке використання інформації, яку розміщено в цій роботі.

### REFERENCES

1. Соколова М.В. *Сверхширокополосная беспроводная связь: история и перспективы развития*. - Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. -2008. -С-50-55.
2. Аджемов С.С., Соколова М.В., Урядников Ю.Ф., Штыркин В.В. Сверхширокополосная связь — результат развития технологий широкополосного доступа. — Электросвязь, 2006. — №2. — с. 18-23
3. Serkov, A. (2017). Noise-like signals in wireless information transmission systems / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, G. Churyumov, Issam Saad // *Advanced Information Systems*. – 2017. – Vol. 1, №2 – P. 33 – 39, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06>.
4. Serkov, O. A. (2019). On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication Systems / O. A. Serkov, G. I. Churyumov // *Applied Radio Electronics*. – Kharkiv: KHNURE, 2017. – Vol. 16 № 3, 4. – P. 117-121.
5. Serkov, A. (2019). Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev and W. Nannan // *10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, 2019, pp. 25-28. doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770039 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8770039&isnumber=8770005>
6. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. (1986). *Теория передачи сигналов*, - М.: Радио и связь, 1986. – 304 С.
7. Wi-Fi/WiMAX Настоящее и будущее широкополосного доступа, — Мобильные телекоммуникации, апрель 2006. [Электронный ресурс]– Режим доступа: [http://www.mobilecomm.ru/wp-content/uploads/pdf/magazine/2006/mtk\\_04-2006.pdf](http://www.mobilecomm.ru/wp-content/uploads/pdf/magazine/2006/mtk_04-2006.pdf)
8. Serkov A., Trubchaninova K., Mezitis M. (2019) Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals // *Advanced Information Systems*. - 2019. – Vol.3, No.4. pp. 33-38, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.04>.
9. Рішення Федеральної комісії по зв'язку (FCC) США № FCC 02-48 від 14/02/2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf). – Дата доступу :31.12.2019.
10. Котельников В.А. *Теория потенциальной помехоустойчивости*. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 151 с
11. Калинин В.И., Радченко Д.Е., Черепенин В.А. Внутрисистемные помехи при передаче информации на основе СШП шумовых сигналов // 24-я Межд. Крымская конф. (СгМиСо'2014). Севастополь: Вебер, 2014, Т.1, с.221-222.
12. Калинин В.И., Радченко Д.Е., Черепенин В.А. Вероятностные характеристики цифрового канала передачи информации на основе непрерывных шумовых сигналов со спектральной модуляцией // *Радиотехника*, 2015, №8, С. 84-94.
13. Huffman D.A.Q. The synthesis of linear sequential coding networks. *Information theory*. Acad. Press, New, 1956. P. 77 – 95.
14. Valery Kalinin, Andrey Panas, Vladimir Kolesov, Vladimir Lyubchenko. Ultra Wideband Wireless Communication on the Base of Noise Technology // XVI Inter. Conf. on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2006, Poland, Krakow, 2006, Conf. Proc., Vol. 2, pp. 615-618.

Received (Надійшла) 27.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2020

### A method of providing interference immunity to mobile communication in the case of intra-system interference

A. Serkov, K. Trubchaninova, B. Lazurenko

**Abstract.** The subject of the study is the process of providing wireless noise-resistant transmission of discrete information based on ultra-wideband signals with high information capacity. **The goal** is to develop recommendations for ensuring electromagnetic compatibility of an ultra – wideband communication system when transmitting discrete messenger over a communication channel with additive Gaussan noise. **The task** is to ensure stable and reliable operation of an ultra – wideband communication system in the condition of intra-system interference. **Methods used:** methods of analytical & imitative modeling and digital coding of signals. **The following results** are obtained. It is shown that random changes in the energy and autocorrelation functions of received ultra-wideband signals in the information bit stream are the cause of intra-system interference. In turn, this causes an increase in bit error and degradation of the probabilistic characteristics of communication systems. The obtained characteristics of the bit error indicate a high level of secrecy and electromagnetic compatibility of the – wideband communication system when transmitting discrete messages over the communication channel with additive Gaussan noise. Moreover, when using non-aliquot delays of coding pulses in the process of code spectral modulation, we obtain the probability of a bit error at a level of  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$  with a significantly smaller unit signal-to-noise ratio. **Conclusion.** The use of ultra – wideband signal technology allows wireless cover transmission of information with low radiation power at speed 1-2 Mb/s with a probability of error per bit of at least of  $10^{-5}$ . Thus, the system of ultra – wideband radio communication system with a code modulation at the transmitter and spectral processing at the receiver has high noise immunity, which allows reliable transmission of digital information in the event of intra-system interference.

**Keywords:** mobile communication; noise immunity; spectral processing; correlation.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аросланкін О. О.	7	Ковба М. В.	54	Рагулін С. В.	41
Бабкін Ю. В.	36	Ковцур К. Г.	59	Рак С. Є.	33
Балакірева С. М.	15	Комаров Д. В.	15	Риндін Ю. І.	132
Бережний А. О.	3	Кононов В. Б.	33	Рій В. Б.	54
Білецька Є. С.	120	Копашинський С. А.	36	Руденко З. М.	97
Бороздін М. К.	12	Кошель Т. А.	79	Руденко О. А.	97
Буркун Я. Р.	21	Кошман С. О.	141	Рудницька Ю. В.	93
Варич В. В.	147	Краснобаєв В. А.	141	Рудницький В. М.	101
Гасвський С. В.	15	Крижанівський І. М.	3	Рудницький С. В.	93
Гамзаєв Р. О.	105	Курило А. В.	127	Самокіш А. В.	7
Гармаш Б. К.	120	Кучук Н. Г.	86	Серков О. А.	155
Главчев М. І.	63	Кушнерук Ю. І.	33	Серпухов О. В.	36
Главчева Ю. М.	63	Лада Н. В.	93	Сірик Т. О.	68
Глуховець Ю. В.	147	Лазуренко Б. О.	155	Сокіл Ю. М.	132
Голован Ю. М.	127	Любарчук К. В.	132	Сокол Г. В.	147
Гончаров А. Г.	21	Макогон О. А.	36	Тарасенко О. П.	68
Гороховатський В. О.	68	Максіменко О. М.	132	Тимко А. Ю.	50
Губа С. М.	36	Малик Б. О.	151	Тимочко О. І.	7
Данова К. В.	111	Малишева В. В.	111	Тихенко О. М.	116
Денисенко О. В.	45	Мартінкус І. О.	105	Ткачук М. В.	105
Дзюба В. А.	101	Мирончук В. В.	127	Товстокоренко О. Т.	105
Дружинін Є. А.	27	Москаленко А. О.	147	Токарева О. В.	151
Єрмілова Н. В.	21	Нагорний К. А.	105	Третьяков О. В.	120
Зажома В. М.	93	Невлюдов І. Ш.	151	Триснюк В. М.	127
Запорожченко А. П.	68	Невлюдова В. В.	151	Триснюк Т. В.	127
Зеленюх О. М.	50	Непочатов С. С.	12	Трубчанінова К. А.	155
Зінченко А. О.	132	Несторенко К. С.	41	Улько С. І.	74
Зінченко К. А.	132	Одарущенко О. Б.	97	Федоров В. Ю.	59
Ісаков О. В.	36	Одарущенко О. М.	97	Халмурадов Б. Д.	120
Ічанська Н. В.	74	Пинчук М. В.	50	Шарабайко О. М.	41
Кислиця С. Г.	21	Пікуль Р. В.	132	Шумейко В. О.	127
Кійко С. Г.	27	Примаченко Н. О.	12	Юсухно Є. А.	132
Клімов О. П.	36	Прохоров О. В.	27	Явтушенко В. О.	15
Ковалевський С. М.	137	Птиця Н. В.	59		

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (59)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Льїна*

Свідцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 28.02.2020. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 20,0. Тираж 120 прим. Зам. 228-20  
 Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30  
 Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
 Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
 Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34  
 e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)